



16+



Научно-технический журнал
Издается с 2013 года.

Выходит четыре раза в год.

№ 4 (52), 2025

Дата выхода в свет

30.12.2025

Главный редактор

Ильичев В.А. академик РААСН, д-р техн. наук, проф.,
НИУ МГСУ, г. Москва, РФ

Заместители главного редактора:

Колчунов В.П. академик РААСН, д-р техн. наук, проф.,
НИУ МГСУ, г. Москва, РФ

Бакаева Н.В. советник РААСН, д-р техн. наук, проф., НИУ МГСУ,
г. Москва, РФ

Шубенков М.В. академик РААСН, д-р арх., проф., МАРХИ,
г. Москва, РФ

Редакционная коллегия

Акимов П.А. академик РААСН, д-р техн. наук, проф., НИУ МГСУ,
г. Москва, РФ

Акимкин Е.М. канд. социал. наук, Федеральный научно-иссле-
довательский социологический центр РАН, г. Москва, РФ

Сапрыкина Н.А. чл.-корр. РААСН, д-р арх., проф., МАРХИ,
г. Москва, РФ

Енин А.Е. советник РААСН, канд-т арх., проф., ВГТУ, г. Воронеж,
РФ

Емельянов С.Г. чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф., ЮЗГУ,
г. Курск, РФ

Бок Т. д-р техн. наук, проф., Мюнхенский технический универ-
ситет, г. Мюнхен, Германия

Брандль Х. д-р техн. наук, проф., Венский технический универ-
ситет, г. Вена, Австрия

Ткачев В.И. д-р арх., проф., НИУ МГСУ, г. Москва, РФ

Гордон В.А. д-р техн. наук, проф., ОГУ им. И.С. Тургенева,
г. Орел, РФ

Данилина Н.В. д-р техн. наук, чл.-корр. РААСН, НИУ МГСУ,
г. Москва, РФ

Егоров В.А. канд. с.-х. наук, доцент, БГТУ, г. Брянск, РФ

Казарян А.Ю. д-р иск., академик РААСН, НИУ МГСУ,
г. Москва, РФ

Леденев В.И. д-р техн. наук, проф., Тамбовский государственный
технический университет г. Тамбов, РФ

Лисеев И.К. д-р филос. наук, проф., Институт философии РАН,
г. Москва, РФ

Николов Н.Д. иностранный член РААСН, д-р техн. наук, проф.,
Болгарская академия наук, г. София, Болгария

Осипов В.И. академик РАН, д-р техн. наук, проф., Институт гео-
экологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва, РФ

Телеченко В.И. академик РААСН, д-р техн. наук, проф.,
НИУ МГСУ, г. Москва, РФ

Тур В.В. д-р техн. наук, проф., Брестский государственный техни-
ческий университет г. Брест, Беларусь

Умнякова Н.П. д-р тех. наук, проф., Научно-исследовательский
институт строительной физики РААСН, г. Москва, РФ

Федоров В.С. академик РААСН, д-р техн. наук, проф., Российский
университет транспорта (МИИТ), г. Москва, РФ

Федорова Н.В. советник РААСН, д-р техн. наук, проф.,
НИУ МГСУ, г. Москва, РФ

Шах Р. д-р техн. наук, проф., Дрезденский технический универ-
ситет, г. Дрезден, Германия

Шубин И.Л. чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф., Научно-иссле-
довательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, РФ

Птичкина Г.А. академик РААСН, д-р техн. наук, проф., ВолгГТУ,
г. Волгоград, РФ

Тер-Мартirosан А.З. д-р техн. наук, НИУ МГСУ, г. Москва, РФ

Щербина Е.В. д-р техн. наук, проф., НИУ МГСУ, г. Москва, РФ

Чен Хаоян д-р арх., проф., Сианьский университет архитектуры
и технологии, Китай

Ли Юэнь д-р арх., проф., Сианьский университет архитектуры
и технологии, Китай

Адрес редакции и издателя
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский госу-
дарственный строительный университет».

Издательство МИСИ – МГСУ

129337, Москва, Ярославское ш., д. 26.

Сайт: www.mgsu.ru

E-mail: journals@mgsu.ru

Подписной индекс 94005 по объединенному каталогу «Пресса
России»

Зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство ПИ № ФС77-56639

© ЮЗГУ, 2025 © БГТУ, 2025 © НИИСФ РААСН, 2025

© НИУ МГСУ, 2025

© ФГБУ «ЦНИИП МИНСТРОЯ РОССИИ», 2025

БИОСФЕРНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ: ЧЕЛОВЕК, РЕГИОН, ТЕХНОЛОГИИ

Учредители

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический
университет» (БГИТУ), г. Брянск

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ), г. Курск

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук»
(НИИСФ РААСН), г. Москва

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»
(НИУ МГСУ), г. Москва

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский и проектный институт
Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации», г. Москва

Журнал включен в перечень ведущих научных журналов и изданий ВАК
при Минобрнауки России по группе научных специальностей
2.1 – Строительство и архитектура: 2.1.4, 2.1.7, 2.1.12, 2.1.13

СОДЕРЖАНИЕ

Вопросы теории биосферной совместимости городов и поселений

Д.О. Швидковский. Смысл архитектуры.....	2
В.А. Ильичев. Благополучие и процветание человека и города через симбиоз с биосферой	6
К.К. Колин. Современный мир и стратегические приоритеты национальной и глобальной безопасности России	12

Градоустройство и архитектура

Н.В. Данилина, П.В. Тряпкин. Формирование локальных общественных центров для повышения устойчивости городской среды	21
Аммар Аасем. Возрождение Пальмиры от руин к живому городу	33
И.С. Козуляк, Н.В. Бакаева. Факторы определения планировочного типа детских садов и школ при комплексном развитии жилой застройки	43

Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

Д.Б. Фрог. Комплексный фактор уровня водообеспечения. Энергоснабжение резервных источников водоснабжения	54
О.В. Февральских, Е.С. Гогина, Н.Ю. Кондюрин. Интенсификация работы сооружений биологической очистки с использованием загрузочного материала	59
А.Ю. Кашуркин, С.М. Усиков, И.В. Мельникова, В.М. Флоренский. Высвобождение газов из растворенного состояния в трубах систем водяного отопления	65
И.В. Ярмошенко, А.В. Васильев, Г.П. Малиновский, А.Д. Онищенко, М.В. Жуковский. Изменения объемной активности радона в многоэтажных зданиях в первые годы после постройки	73
В.А. Смирнов. Оценка динамических характеристик вибродемпфирующих материалов для обеспечения благоприятной среды обитания человека	83

Дискуссии и рецензии

Н.В. Бакаева. Рецензия на монографию «Архитектура вузов (история, современное состояние, особенности проектирования)»	93
Уважаемые авторы!	95

СМЫСЛ АРХИТЕКТУРЫ

Дмитрий Олегович Швидковский

Московский архитектурный институт (МАРХИ); г. Москва, Российская Федерация

*Смысл произошедшего в современной архитектуре точно передают слова Нобелевского лауреата Иосифа Бродского: «Вечер. Развалины геометрии. // Точка, оставшаяся от угла. // Вообще, чем дальше, тем беспредметнее. Так раздеваются догола...» Эти слова показывают суть художественной истории архитектуры XX и XXI столетий. В статье рассматривается смысл архитектуры как входящей в триаду главных искусств (живопись, скульптура, архитектура). Архитектура — очень древний вид человеческой деятельности. Она существует примерно столько, сколько и человеческое общество. Начала складываться при первобытно-общинном строе и большего развития достигла уже при рабовладельческом строе. Архитектура и другие искусства не развиваются сами по себе, а только вместе с историческим процессом. Она более чем другие искусства связана с жизнью, так как зависит от таких факторов, как климат, социально-классовое устройство общества, уровень развития науки и техники, уровень развития производственных сил, идеология общества, быт и культура. Эти факторы обуславливают различие архитектурных стилей и форм. При изучении архитектурных форм можно многое узнать об уровне развития техники, обустройстве общества, о его практических потребностях и идеях. Художественный смысл и специфику архитектуры как искусства лучше всего выражает классическая Триада Витрувия: Прочность, Польза, Красота (лат. *Firmitas, Utilitas, Venustas*). Архитектурные работы часто воспринимаются как произведения искусства, как культурные или политические символы. Исторические цивилизации характеризуются своими архитектурными достижениями. Архитектура позволяет выполнять жизненные функции общества, в то же время направляет жизненные процессы. Однако архитектура создается в соответствии с возможностями и потребностями людей. Статья позволяет проследить глобальный вектор развития архитектурной мысли.*

Для цитирования: Швидковский Д.О. Смысл архитектуры // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 2–5. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.2-5

Зодчество в течение XX в. отказалось от декоративных одежд, а вместе с ними и геометрической основы, обеспечивавшей гармоничность и тектоническую логику построения этих одежд. После того как Адольф Лоос приравнял орнамент к преступлению, а Питер Беренс создал перед первой мировой войной аскетический бездетальный ордер, в частности, в здании германского посольства в Санкт-Петербурге, легший впоследствии в основу «красной дорики» Ивана Фомина, стало казаться, что классическая традиция радикально изменилась. Еще в большей степени повлиял на восприятие классических образов русский авангард от утверждений Казимира Малевича и Лазаря Лисицкого о создании ими новой классики до интерпретации античных образов в поздних проектах Ивана Леонидова, исполненных для Южного берега Крыма.

Однако после триумфа авангарда в России архитектурная классика быстро, всего лишь через десяток лет, восстала из гроба в своем традиционном облике при создании сооружений сталинского ампира. Дальше было тяжелее: между победой советского модернизма в годы «борьбы с украшательством» и новым, робким появлением классических мотивов в архитектуре начала третьего тысячелетия прошло полвека. За это время мы почувствовали стремительно пришедшую к модернизму усталость, порожденную

дискредитацией модернистских ценностей типовым крупнопанельным строительством, обезобразившим всю Россию, а также и обширную часть бывших социалистических государств от Дуная до Янцзы. Несмотря на иной характер исторических процессов, происходивших в архитектуре Западной Европы, США и Японии, и здесь не было найдено системы зодчества ни в рамках позднемодернистской, ни в контексте постмодернистской парадигмы, способной заменить собой классическую традицию, и на всей планете архитектура как искусство все более склонялась к упадку.

Возвращение классической традиции в идущем все дальше времени может принести облегчение, необходимое жизненной среде нашей страны и планеты. Классический идеал не умер: он не исчез ни разорванный «аккордами громовой симфонии» авангарда, ни задавленный декоративными излишествами сталинского «ампира» или формальностью американского «федерального стиля», ни оскорбленный издевательскими гротесками постмодернизма, ни расчлененный острой геометрией деконструктивизма.

Классика была неповторимо своей для каждой эпохи в ходе человеческой истории. Архитектура во всех хронологических и географических ипостасях создавала зримое выражение непреходящего совершенства, становившегося классикой. Однако

и до рождения архитектуры классика представляла на нашей планете в характерных чертах биогенеза, создававших условия для наиболее благоприятного развития жизни. Само понятие классики может быть расширено за грани бытия человечества, и можно увидеть ее в ландшафтах, благодаря которым возникли условия рождения человека и его цивилизации. И в перспективе будущего классическая архитектура не может не основываться на устойчивых формах биогенеза и сохранения ландшафта.

Архитектура не является лишь чередой разновременных зданий, ансамблей и городов, она создает планетарное пространство, не только среду обитания человека, но способ его отношения с природой. Цивилизация людей — ее важная, но отнюдь не единственная часть. Если рассматривать архитектуру как деятельность, меняющую облик нашей планеты, то неизбежно приходишь к выводу, что она имеет глобальные ландшафтные, биосферные и ноосферные характеристики.

В течение столетий история накапливала наиболее ценные открытия человеческого разума в природное пространство. Классика первобытной эпохи сумела аккумулировать в монументальных пространственных формах идею времени, земного и космического, и связать их «календарной» геометрией. Античный мир сохранил эти первоначальные идеи в говорящих на цифровом языке классических формах ордеров — греческих, римских, египетских и прочих многочисленных ордерных системах, выросших из календарной геометрии первобытных людей. Чем ближе к нашему времени подходила история, тем более разветвленной, хотя, может быть, и менее значительной, становилась система смыслов архитектуры, выражая конкретные политические события, знание истории, географии, достижения монархов или их любовь. Цельность этой системы почти рассыпалась на мелкие части под действием «умного выбора» времени эклектики и вновь стала набирать монументальное величие в тоталитарной архитектуре XX в., чтобы в конце концов спрятаться под иронией постмодернизма.

Экологическая основа архитектуры возникла безумно давно. Возможно, вместе с рождением самой планеты и формированием ее геологических свойств. Нет, наверное, это уж слишком, так и до Большого взрыва как источника архитектуры недалеко. И все же, когда возникла архитектура, а в ней — классическое начало? Откуда начинается выбор будущей классики?

Современное понимание архитектуры, ее содержания и предназначения предлагает принципиально новое представление о классике и ее происхождении. Сегодня зодчество немыслимо без надежды на устойчивость — толерантность к природе, истории, энергии, пространству. Устойчивую архитектуру определяют как ту, что бережет целостность и красоту мира как

в его антропогенной, так и биосферной составляющих. Таким же сегодня может мыслиться и будущее классики, образ которой постоянно менялся и изменяется сейчас вместе с развитием планеты. Классика в нашу эпоху — это процесс создания, смены и накопления свойств совершенства архитектуры, идущий миллионы лет.

Коль скоро речь идет о чем-то, что меняет облик всего нашего мира, неловко говорить о рытье землянок или плетении шалашей как о моменте рождения этого глобального феномена. Архитектура заслуживает, на наш взгляд, более древнего, мощного и одновременно изящного происхождения. Ее великие памятники столь совершенны, что заставляют думать об очень давнем и глобальном плане Создателя, отводящем архитектуре существенную и творческую роль. И нам нужно рассматривать среду обитания человека с самого начала ее существования как биосферу, где постепенно стал доминировать антропогенный фактор, а в нем — совершенная с точки зрения взаимодействия человека и природы типология пространств, имя которой — архитектурная классика. Те, кто окажутся в будущем, должны жить в классическом мире. Эта давняя архитектурная мечта, столько раз гибнувшая и возрождавшаяся, может стать императивом развития пространства нашей планеты. Для этого архитектура должна приобрести радикально иное представление о будущем классики. Цифровой культуре необходим очередной архитектурный ренессанс, существенно новый по сравнению с чередой своих предшественников от Каролингского возрождения до многообразной неоклассики XX столетия.

Архитектура родилась вместе с жизнью, в момент, когда организованные группы молекул стали по-новому структурировать приобретенную им часть земной поверхности и тем самым начали изменять облик планеты. Эти безумно отдаленные предтечи создатели зодчества соединяли не в просчитанные, но, несомненно, рациональные структуры, чтобы изменять мир в свою пользу. Мы можем считать, что наш мир начался тогда, когда кометы с ледяным сердцем внутри или молнии, ударявшие в неорганические моря, дали рождение живым структурам. Они-то и стали первыми строителями, менявшими смысл и облик окружающего мира.

Чтобы понять происхождение архитектуры, нужно представить невероятную древность процессов совершенствования пространства — биогенного преобразования Земли, длящегося по сей день. Человеческая часть истории планеты сравнительно коротка и не так значительна, как нам подсказывает эгоизм нашего доминирующего в данный момент, но хрупкого биологического вида. Формирование среды обитания усилиями человека по своим масштабам несопоставимо

с процессами возникновения и трансформации биосферы.

Важно, что древнейшие биогенные структуры были красивы и, постоянно усложняясь в течение двух миллиардов лет, приобретали не только новые качества, необходимые и эффективные для органической жизни, но и накапливали черты организованной красоты. Они создавали классические ландшафты в каждый из геологических периодов. Этот процесс не прерывался ни с утверждением очертаний континентов, ни с появлением цивилизации, ни с утверждением цифровой культуры и не остановится в будущем.

Вспоминается древний памятник в Англии, расположенный в местечке, забытом Богом и людьми и называющимся Арбор Лоу. Чтобы попасть туда, нужно было точно знать, где оно находится, а добравшись до искомого пункта, перелезть через низенький забор, разминуться с многочисленными и не слишком дружелюбными овцами и наконец подняться на невысокий холм. С него открывался неожиданно широкий, будто бы бесконечный вид на мягко очерченные, уходящие в легкий туман возвышенности и долины. В Арбор Лоу тоже когда-то был построен круг из каменных столбов и окопан ровом, как в Стоунхендже.

В этом древнем ансамбле, открытом ветрам, камни не удержались стоймя и упали, а дожди и вешние воды обточили их, придав неправильную форму. Зато здесь ощущалась настоящая подлинность места и его нетронутая магия. Нетрудно было мысленно поднять упавшие камни, но и в этом не было необходимости. И так чувствовалось, что неслучайно тысячи лет назад люди выбрали именно этот холм, чтобы отметить его своим сооружением. В нем собирались, сгущались, фокусировались линии окрестного пейзажа. Там был найден его естественный центр, вбиравший в себя энергию всех мест, которые можно отсюда окинуть взглядом. Лежащие на земле камни сохраняли первоначальный ритм, и он тоже был удивительным образом созвучен ландшафту, что производило захватывающее впечатление. Это поверженное древнее сооружение рождает в душе современного человека уверенность в том, что он тоже часть прекрасной природы.

Впрочем, все древние монументальные сооружения обладают таким свойством. Они дарят веру в способность людей внести свои чувства в естественную красоту и выразить их в антропогенной, живущей многие века форме. Тысячам мощных, тяжелых и чувственных сооружений первобытных людей, разбросанным по нашей планете, прежде всего, свойственно единство с природой. Далекие предки умели наполнить ее таинственным, сверхъестественным, магическим смыслом. Знали они, благодаря интуиции и опыту многих поколений, и то, как сделать большее: превратить мир, родившийся естественным образом,

в произведение искусства. В результате бесконечных усилий в течение тысячелетий людям, не оставившим о себе письменной памяти, стало доступно понимание сил природы и произошло соединение их с силами искусства, рожденного человеческим сознанием.

Появление материальных, вещественных форм, созданных человеком, произведений монументального искусства и зодчества всегда находится на грани материального и нематериального. Искусство — духовная деятельность, оно одухотворяет материю, массу и пространство. Неслучайно большинство дошедших до нас древнейших построек не имело утилитарной функции. Часто это были даже не храмы, в которые можно было бы войти, а составленные вместе огромные, незыблемые каменные монолиты. Первобытные люди создали множество сооружений, открытых окружающему миру и не имеющих интерьеров. Гигантские камни, поднятые один на другой или расставленные в соответствии с желаемым рисунком, направлением, ритмом, становились, благодаря их усилиям, неотъемлемой частью естественной среды, становясь стержнями природы.

Архитектура не только искусство, но и наука. Может быть, она родилась в тот момент, когда пришло понимание, что красивое правильно. Наше время должно вернуться к первоначальному единству искусства и природы. Оно обязано вновь научиться чувствовать естественные ритмы, энергию, масштаб, заново освоить умение «подхватывать» в своих формах рисунок ландшафта. Предшествовавшие поколения не только изменили материальный мир, но оставили нам свои мысли об отношениях искусства и природы, в которых отразились важнейшие научные и художественные представления их времен.

История стала частью природы. Чтобы достичь настоящего, не сиюминутного успеха, архитектору нужно добиться благосклонности двух вечных существ — природы и истории. Тогда его творчество станет органической частью осмысленного и живого, а не погибающего от пренебрежения экологией и историей пространства. Тогда в нем может родиться подлинная архитектура.

Вспомним то, что понимали древние, — некрасиво, значит, неправильно. Уродство не спасет мир. Именно в науке о классической гармонии заложены формулы счастливой среды обитания человечества. Это может показаться утопией, наивной выдумкой, надуманной, бездоказательной аксиомой. Но это неверное впечатление. Классический мир до своего разрушения варварами, и в Средиземноморской античности, и в древнем Китае жил во объемлющей человеческое существование красоте, будничной, телесной, созданной множеством народов по-разному, незримой, духовной, породившей христианский или конфуцианский идеалы жизни и ее устройства. Изучая законы классического

построения пространства, нужно увидеть классику в различных культурах и временах, попытаться понять не только идентичность каждой из них, но и единство красоты мира, которое открывает множественная классика, соединенная из всех культур, создание человечества.

Неудовлетворенность экологическим состоянием и эстетическими чертами жизненной среды стало в наше время неперенным свойством восприятия современным человеком существующего мира. Быстрое и неуклонное исчезновение красоты как антропогенной исторической среды городов, так и теряющей свою естественность природы превратилось в одно из привычных свойств сегодняшней цивилизации. Продолжаться так дальше не может.

Не так будет обидно, если особые свойства Земли уничтожит нацеленный в нашу точку пространства миллионы световых лет назад астероид из далекой галактики, хуже — если человечество вызовет свою гибель. Разрушение жизни, создавшей цепь классических культур, в результате избыточного вмешательства потребительской цивилизации станет преступлением нашей сиюминутности перед несчастным устройством космоса. То, что мы называем классикой, создает уникальность таких планет, как наша, и, возможно, неизвестный нам смысл их присутствия во Вселенной. Не хотелось бы, чтобы именно мы, люди, на нашей планете, затерявшейся на краю небольшой Галактики, доказали, что биологическая жизнь не может сохранить присущую ей красоту хотя бы на несколько миллиардов лет.

Конечно, все это время красота Земли менялась, приобретая различные ипостаси. И человеческая эпоха отличалась отнюдь не только приспособлением окружающего мира к нуждам *homo sapiens*, но и непрестанными, следовавшими одно за другим созданиями зримых образов прекрасной планеты. Их разнообразие почти бесконечно, это и рождение мыслью и мечтой образов рая: в древнейших садах Востока, в гармонии античных полисов, в высоте духа монастырей и соборов Средневековья, в величье и роскоши резиденций монархов эпохи барокко, в образах новой жизни в городах-садах, и в тех произведениях строительного дара XX в., где искусство определяло ход жизни, проектируемый мастерами авангарда.

Наш мир еще может возвратиться в прекрасную форму, если мы будем к этому стремиться. Возможна новая классика, основанная на возрождении

совершенных образов многих и различных культур. Правда, прагматизм должен тогда смениться стремлением к архитектуре как искусству, и зодчество должно всерьез вернуться к классическим законам, совместив их осмысление в разных краях Земли. И искусство современной эпохи непременно впитает в себя научные идеи и информационные технологии, особенно в архитектуре с ее умением воздействовать на красоту цифровых соотношений. Очевидный смысл будущей классики, если она возникнет в мировом зодчестве, заключен в ее соответствии постулатам экологически, энергетически и исторически дружественной нашей планете архитектуры.

Человечеству пора остановиться в разрушительном изменении нашей планеты. Нам нужно повернуть ход истории. И начать вновь нанизывать на прочный стержень устойчивой архитектуры кольца классических достижений сменявших друг друга эпох. Нам нечего отбрасывать из происходивших в мировом зодчестве ценимых нами художественных событий. Не следует пропускать ни многосложной изысканности рококо, ни напряженной структурности готики, ее умения превратить поразительные инженерные достижения в образы вознесшегося до небес духа, ни гармонии античной классики, соединившей музыкальную математику ордера с неразрывностью сделанного человеком и рожденного природой. И главное — суметь вернуться к создававшимся миллионами лет наблюдениям над землей и космосом: достижениям первоначальной архитектуры, в которой заложены основные законы зодчества.

Новая красота должна начинаться с начала как новый виток спирали великой истории освященных тысячелетиями раздумий о характере и значении отношений природы и человека, о том, как вернуться на истинный классический путь, подаренный людям Создателем, много раз понятый предками и близкий к гибели вследствие нашего пренебрежения к нему.

Образы истории и природы столь прекрасны и нужны душе, так преданно сохраняют чувства, превращающие нас в людей, что мы обязаны как можно осторожнее окружать их заботой, и тогда испытаем с древней, нездешней силой любовь к миллиардам лет и триллионам существ, создававших по воле Бога такую необычную для Вселенной живую жизнь на нашей планете и красоту ее, которую, уничтожая, мы никогда до конца не истребим, а если задумаемся, приумножим.

Об авторе: **Дмитрий Олегович Швидковский** — доктор искусствоведения, профессор, президент Российской академии архитектуры и строительных наук, вице-президент Российской академии художеств, ректор; **Московский архитектурный институт (МАРХИ)**; 107031, г. Москва, ул. Рождественка, д. 11, стр. 2; РИНЦ ID: 1338, SPIN-код: 2738-8293; e-mail: dos@marhi.ru.

About the author: **Dmitry O. Shvidkovsky** — Doctor of Art History, Professor, President of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Vice-President of the Russian Academy of Arts, Rector; **Moscow Architectural Institute (MARHI)**; 11 2 Rozhdestvenka st., Moscow, 107031, Russian Federation; ID RSCI: 1338, SPIN-code: 2738-8293; e-mail: dos@marhi.ru.

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 6–11.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 504

DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.6-11

БЛАГОПОЛУЧИЕ И ПРОЦВЕТЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА И ГОРОДА ЧЕРЕЗ СИМБИОЗ С БИОСФЕРОЙ

Вячеслав Александрович Ильичёв

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ); г. Москва, Российская Федерация

17 сентября 2025 года на базе НИУ МГСУ в рамках III Международного научно-практического симпозиума «Будущее строительной отрасли: вызовы и перспективы развития» прошел круглый стол «Биосфера и город». В мероприятии приняли участие члены Российской академии архитектуры и строительных наук, известные российские ученые и молодые представители научного сообщества из российских вузов. С приветственным словом к участникам обратился Президент Российской академии архитектуры и строительных наук академик РААСН, доктор искусствоведения, профессор, ректор МАРХИ Д.О. Швидковский. Проблематика прозвучавших докладов преимущественно связана с глобальными вызовами и неблагоприятными экологическими условиями проживания большей части населения России, которые отрицательно влияют на здоровье людей, в первую очередь на их когнитивные способности. На круглом столе были затронуты информационные аспекты проблемы биосферной совместимости природы и человечества; вопросы инноваций и их внедрения в различные отрасли экономики; аспекты взаимоотношений Человека и Биосферы, которые существуют в разных культурах с древних времен и до современности. Также были охвачены вопросы поиска моделей биосферного сбалансированного сосуществования урбанизированных территорий и их природного окружения, социальной трансформации современного общества, адаптации к изменению климата и биоподобных технологий жизнедеятельности общества в качестве подхода к решению экологических проблем. Целью мероприятия явился поиск путей решения рассматриваемых проблем, позволяющих смягчить реальные угрозы, открыть больше возможностей для прогрессивного саморазвития, уменьшить социальные противоречия, поднять уровень жизни населения и сделать градостроительство системным и результативным. При этом результатом планируемых глубоких и масштабных преобразований практически всех сфер жизнедеятельности российского общества должно стать решение демографических проблем России и развитие ее человеческого потенциала. Это станет основой для повышения качества жизни населения и обеспечения национальной безопасности страны, ее государственного и технологического суверенитета.

Для цитирования: Ильичёв В.А. Благополучие и процветание человека и города через симбиоз с биосферой // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 6–11. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.6-11

THE WELL-BEING AND PROSPERITY OF MAN AND THE CITY THROUGH SYMBIOSIS WITH THE BIOSPHERE

Vyacheslav A. Ilyichev

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

On September 17, 2025, a round table “Biosphere and the City” was held at the MGSU National Research University as part of the III International Scientific and Practical Symposium “The Future of the Construction Industry: Challenges and Development Prospects”. The event was attended by members of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, well-known Russian scientists and young representatives of the scientific community from Russian universities. The President of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Doctor of Art History, Professor, Rector of the MARCHI D.O. Shvidkovsky addressed the participants with a welcoming speech. The issues of the reports are mainly related to global challenges and unfavorable environmental living conditions of the majority of the Russian population, which negatively affect people’s health, primarily their cognitive abilities. The Round table discussed information aspects of the problem of biospheric compatibility of nature and humanity; issues of innovation and their implementation in various sectors of the economy; aspects of the relationship between Man and the Biosphere, which exist in different cultures from ancient times to the present. The issues of searching for models of biospheric balanced coexistence of urbanized territories and their natural environment, social transformation of modern society, adaptation to climate change and biosimilar technologies of society as an approach to solving environmental problems were also covered. The purpose of the event was to find ways to solve the problems under consideration, allowing to mitigate real threats, open up more opportunities for progressive self-development, reduce social contradictions, raise the standard of living of the population and make urban planning systematic and effective. At the same time, the planned deep and large-scale transformations in almost all spheres of Russian society should result in solving Russia’s demographic problems and developing its human potential. This will become the basis for improving the quality of life of the population and ensuring the national security of the country, its state and technological sovereignty.

For citation: Ilyichev V.A. The well-being and prosperity of man and the city through symbiosis with the biosphere. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2025; 4:6-11. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.6-11 (rus.).

Введение

Доктрина градостроительства разрабатывалась с начала XXI в., более интенсивно с 2009 г. как направление, изучающее долговременные, на протяжении десятилетий и столетий, аспекты взаимодействия Человека и Биосферы [1, 2]. В основу положены достижения российских экономистов в организационно-экономических методах создания и применения инноваций в мире с начала XX в. [3, 4], а также результаты анализа пятитысячелетнего опыта сосуществования цивилизаций и природы, выполненного учеными РАН [5]. Подробные библиографические ссылки имеются в монографиях [6, 7], обзорах [8, 9], учебном пособии [10] и недавней статье [11].

Цель настоящей статьи — предоставить возможности Доктрины градостроительства способствовать решению многих социально-экономических проблем в архитектурно-строительном комплексе, обострившихся в последнее десятилетие, а также выполнению требований действующих директивных документов. Особенность статьи — текстуальное сопоставление проблем и возможные пути их решения из разных документов.

Проблемы в стране, влияющие на стройкомплекс

1. Суммарный коэффициент рождаемости в стране в 2023 г. составил 1,41, это означает, что следующее поколение составит менее половины от современного [12]. Разница между поколениями 30–35 лет, т.е. в 50–60 гг. текущего века численность коренного населения уменьшится почти вдвое при такой малой рождаемости. Средний фактический размер построенных квартир 45 м², значит нет места для создания семьи с детьми, субъекты жилищного строительства, продавая такие квартиры, да еще по завышенным ценам, способствуют депопуляции, т.е. фактически, с социально-экономической точки зрения, существующая популяция за собственные деньги оплачивает собственную депопуляцию [13].

2. В стране отсутствует организационно-экономический механизм создания и применения инноваций, но призывы к инновациям и отдельные инновационные достижения его не заменяют. Изобретателям помогать не надо, им надо не мешать. В мире существует пять уровней инновационных механизмов, каждый последующий вмещает в себя предыдущие. Инновационные механизмы называются по-разному: программно-целевые, фондовые, рыночные, фондо-сопряженные или фондовые.

Фондовые механизмы родились в России 125 лет назад, были развиты в мире и сейчас их надо вернуть на родину. Российскими учеными разработаны и 6, 7, 8-й уровни этих механизмов, названные транс-

формами, преобразующими патологию в ресурс развития [14]. В России наибольший уровень патологии среди крупных стран и, следовательно, будет наибольший уровень развития.

Наиболее развитые из известных фондовых механизмов используются в США и КНР, имеющих самые сильные экономики мира [15]. Фондовые механизмы нечувствительны к «измам»: в США сохраняют империализм, в КНР строят коммунизм, инновационные методы одинаковые, но цели разные.

2.1. Цели для России надо принимать, исходя из Указов Президента РФ, в том числе Указа от 07.05.2024 г. № 309 о «Национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».

Цитата: «Определить следующие национальные цели развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года (далее — национальные цели):

- а) сохранение населения, укрепление здоровья и повышение благополучия людей, поддержка семьи;
- б) реализация потенциала каждого человека, развитие его талантов, воспитание патриотичной и социально ответственной личности;
- в) комфортная и безопасная среда для жизни;
- г) экологическое благополучие;
- д) устойчивая и динамичная экономика;
- е) технологическое лидерство;
- ж) цифровая трансформация государственного и муниципального управления, экономики и социальной сферы».

Эти цели должны учитываться и исполняться во всех нижестоящих документах, в том числе при переустройстве городов.

3. Некоторые другие неблагоприятные факторы.

3.1. По уровню развития человеческого потенциала Россия находится на 50–75 местах из 110–120 стран, направивших статистические данные в ООН (продолжительность жизни, доход на душу населения и многое другое).

3.2. Из 54 крупных городов России только 14 находятся на территориях 3-го ранга по экологической опасности. Значительная часть городов расположена на территориях 7, 6 и 5 рангов, в этих регионах природа деградирует и, соответственно, деградируют люди, изначально — когнитивно. Выше 7-го ранга — катастрофа.

3.3. Численность населения за Уралом за последние 10–15 лет значительно сократилась, что увеличивает, особенно для будущего, остроту процесса концентрации населения в пяти регионах Европейской части страны.

3.4. По данным на 2023 г. социально-экономическое неравенство различных групп населения с разным уровнем доходов является главным источником напряжения в российском обществе,

децильный коэффициент превысил десятикратный критический порог, равен 14 и приближается к 17 единицам. Коэффициент джени равен 0,41, что свидетельствует о большой доле бедного населения.

3.5. Юбилейный доклад Римского клуба (2018) озаглавлен «Капитализм, близорукость, население и разрушение планеты». И есть подзаголовок «Старый мир обречен. Новый мир неизбежен». Поэтому строительство «молодого» обреченного капитализма в «отдельно взятой стране» (в России) перенастроило ее экономику на сырьевую в интересах других стран с «развитым капитализмом». Сырьевая экономика сама по себе блокирует инновационный путь развития.

В докладе Римского клуба приведены данные о загрязнении земного шара с 1985 по 2016 г., и если их экстраполировать, то еще один дополнительный земной шар нужен для очистки загрязнений, создаваемых человечеством, ориентировочно в 2032 г., и еще второй дополнительный в 2050 г. Естественно, это журналистское преувеличение, говорящее о перегрузке способности биосферы очищать увеличивающиеся объемы загрязнения. Но реакция самой биосферы неизвестна. Семь лет или двадцать пять лет — это меньше, чем срок службы здания, запроектированного по нормам. Пора экологические требования ставить главными при строительстве и реконструкции городов, в том числе и в России.

3.6. Коррупция, без комментариев.

Таким образом, проблемы, упомянутые выше, не могут быть решены применяемыми экономическими и организационными мерами, поскольку являются их следствиями. Эти проблемы комплексные и образовались комплексом действующих правил и законов. Надо решать проблемы тоже комплексно, изменять принципиальные основы, переходить от развития территорий к развитию человека и к восстановлению природы. В Российской академии архитектуры и строительных наук разработана Доктрина градостроительства, основанная на принципах преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека. В Доктрине подразумевается также и применение фондовых механизмов управления и хозяйствования, что значительно повышает ее эффективность.

Существенные элементы Доктрины градостроительства, влияющие на достижение национальных целей и решение перечисленных выше проблем

1. Принимается за основу очевидное положение, что человек и биосфера тесно связаны, человек и биосфера едины, степень достижения симбиоза в этих отношениях определяется рангом

экологической опасности территории, создаваемой деятельностью человека. Седьмой и шестой ранг недопустимы, люди деградируют в смысле здоровья, но в первую очередь — когнитивно, надо ставить задачу снижения загрязнений. Третий ранг и ниже — допустимо, допустимость четвертого и пятого определяют совместно экология и медицина, по-видимому, пятый ранг временно допустим (3.2.)¹.

2. Оценивается внешнее воздействие загрязнений, создаваемых городом, на природную среду. Статистические корреляционные связи между ними имеются у экологов и их надо ввести в систему управления городом (г)². Оценивается внутреннее воздействие загрязнений, создаваемых городом, на его жителей. Информация об этом имеется в городских медицинских учреждениях, она также должна быть использована (а), (3.1).

3. Вводится принципиально новое положение: рассчитывается тройственный или гуманитарный баланс биотехносферы: населения, мест удовлетворения потребностей населения (место рабочее, место отдыха и другое), потенциала жизни и ресурсов биосферы. Баланс соблюдается — развитие градационное, баланс не соблюдается — развитие тоже есть, но деградационное (а, г), (3.1.). Это совершенствование баланса рабочих рук, баланса рабочих мест, сыгравших важную положительную роль в экономике страны, плюс баланс жизненной силы Биосферы.

4. Законодательно для каждого города или административной территории закрепляется гуманитарный баланс или поэтапный переход к нему: земля, вода, воздух, энергия и социальные критерии (3.1.), (3.2.), (3.3.).

5. Система управления городом должна базироваться на современных знаниях: высшее образование по специальности работы, привлечение интеллекта из НИИ и Университетов в форме советов при администрации, иметь достоверную информацию, готовить новые управляющие документы, отменять устаревшие. В системе управления и в экономике города используются фондовые механизмы управления и хозяйствования и их действие распространяются на все положения Доктрины.

Итог: программы превращения патологии в ресурс развития (б, д, е), (3.1.), (3.6.), (3.4.), (3.5.).

6. Оценивается прогресс, сравнение планируемых природных факторов с фактическими, уровень человеческого потенциала (а), (3.1.), (3.2.).

¹ Цифры отмечают те неблагоприятные факторы, действие которых можно уменьшить, например (3.2.), (3.5.).

² Буква в круглых скобках обозначает одну из целей в процитированном выше Указе Президента РФ от 07.05.2024 г. № 309, достижению которой служит данное положение Доктрины.

7. Функции города, удовлетворяющие потребности человека: жизнеобеспечение (питание, одежда, жилье, работа, транспорт), рекреации и развлечения, самоуправление и власть, милосердие, образование, творчество, связь с природой (3.1.), (3.4.).

Если первые семь положений Доктрины выполняются, то создается «благоприятная среда обитания» (а, в, г), (3.3.), (3.4.).

8. Надежность, «конституция города», традиции этносов, советы старейшин. Если выполнены все восемь положений, то создается «комфортная среда обитания» (в), (3.1.), (3.4.).

9. Познание, как основа политики, силовых структур, праздников, стиля города. Если выполняются все девять положений, то создается «безопасная среда обитания» (в), (3.1.), (3.4.).

В целом Доктрина градостроительства формирует понятие «Малой родины» (3.1.), (3.4.), (3.3.) и применима к любому населенному пункту, недостающие в нем функции нужно компенсировать средствами удаленной связи.

Все положения Доктрины имеют числовые характеристики, определяемые на основании государственной статистической отчетности, поэтому Доктрина градостроительства может быть оцифрована, в единой методике могут быть получены количественные характеристики уровня человеческого потенциала населения городов и поселков. Таким образом, создается сквозная цифровая технология для всех городов в процессе проектирования, строительства, эксплуатации и переустройства (ж).

Основные принципы фондовых организационно-экономических механизмов создания и применения инноваций

Для создания и реализации любого «проекта» нужно иметь «идею», материальные и финансовые ресурсы, все вместе это — «факторы развития». Все факторы развития оцениваются в счетных деньгах по рыночной стоимости, а также оценивается в деньгах, по согласованию, и идея проекта. Факторы развития объединяются и передаются в фонд без потери титула, нет промежуточных актов купли-продажи. По завершении проекта товар продается на рынке, а прибыль делится между участниками в пропорции к оговоренным ранее оценкам стоимости каждого фактора развития. Термин «программа» характеризует именно совместность вкладов в достижение результата, а не «смету расходов», что иногда прикрывается этим термином.

Организационная форма первого уровня фондовых механизмов — договор простого товарищества или акционерное общество, но без права домини-

рования по стоимости вклада, права у всех одинаковые, а прибыль зависит от процентного вклада участника, но процентное наполнение у всех одинаковое.

Существует пять уровней развития фондовых механизмов, развития человека, технологий и организации:

1. Система индивидуальных целевых проектов.
2. Система институциональных исследовательских и производственных программ.
3. Система кооперативных внедренческих программ.
4. Система информационно-технологических проекций новых производств и отраслей хозяйства.
5. Система научных инициатив (идей) глобального значения.

Пример четвертого этапа — энергетическая программа США, уменьшившая энергоемкость единицы ВВП страны вдвое.

Пример пятого этапа — стратегическая оборонная инициатива США, от результатов которой Россия извлекается до сих пор.

Российские экономисты разработали инновационные механизмы второго этапа:

6. Система идей и программ непатологического развития.
7. Система программ опережающего приращивания главной производительной силы.
8. Система трансформ жизнеспособного развития.

Преимущества фондовых механизмов управления и хозяйствования (ФМУ и ФМХ):

- каждый участник получает прибыль больше, чем просто продажа своего фактора развития на рынке за счет синергии, при этом цена общего продукта для покупателя меньше, т.е. создается конкурентное преимущество, но в самой цене большая доля зарплат участников;
- в экономике России используются две функции денег: средство накопления и средство платежа, в фондовых механизмах используется плюс еще две функции денег: мера стоимости и всеобщий эквивалент стоимости, денег требуется меньше (это могут быть просто частные деньги одного из участников программы) и меньшая зависимость от банков, особенно при высоких процентах за кредиты, поэтому инновационная экономика управляет сырьевой экономикой и блокирует ее преобразование в инновационную, сырьевая экономика ведет войну с биосферой, выиграть которую невозможно;
- ФМУ и ФМХ открывают дорогу творческой личности для создания своего дела под новую идею, но под цели, установленные верховными документами, добавочно, надо защитить фонды

фондовых механизмов от непрошенных «защитников» и прочего, естественно реализуется частно-государственное партнерство;

- фондовые механизмы начинают развивать экономику снизу, а в верхней ее части должен действовать государственный плановый орган, координирующий и использующий достижения совокупности фондов различного уровня общности, это единственный способ перейти с сырьевого пути экономики на инновационный путь, наполнять бюджет страны, обеспечить развитие человеческого потенциала и, главное, экономить природные ресурсы — гарантию независимости и влияния в мире;
- фондовые механизмы — один из способов избавления от коррупции;
- только ФМУ в состоянии вывести страну из имеющихся проблем, уверенно взаимодействовать с крупнейшими экономиками мира, вернуть в оборот омертвленные капиталы науки, пустующие объекты и другое, а учитывая природные ресурсы, на долгие годы быть лидером в развитии человеческого капитала, восстановления биосферы и уверенно обезопасить страну от любых покушений, эти изложенные выше особенности противостояний известны в мире, но пока действуют против России.

Выводы

1. Принять к рассмотрению разработанную в РААСН Доктрину градостроительства, основанную на принципах преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека, и рекомендовать ее для экспериментального внедрения на примере выбранных двух-трех городов.

2. Считать необходимым начать организационно-экономическую разработку фондовых механизмов создания и применения инноваций в реальном строительстве с перспективой применения инноваций в народном хозяйстве.

3. Рассмотреть возможность применения инновационных механизмов в индивидуальном жилищном строительстве (ИЖС) и Доктрины градостроительства, где в наибольшей степени могут быть удовлетворены индивидуальные запросы заказчика, созданы условия для полноценного развития человека и обозримы все проблемы строительства.

4. Доктрина градостроительства может рассматриваться не только как методика обеспечения благоприятной, комфортной и безопасной среды обитания, создания чувства малой Родины, но и как один из подходов по повышению уровня человеческого потенциала населения городов и поселков.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ильичев В.А., Емельянов С.Г., Колчунов В.И., Каримов А.М., Гордон В.А., Бакаева Н.В. Концепция биосферной совместимости как основа Доктрины градостроительства и расселения // Стратегические приоритеты. 2014. № 1 (1). С. 71–84.
2. Ильичев В.А., Каримов А.М., Колчунов В.И., Алексашина В.В., Бакаева Н.В., Кобелева С.А. Предложения к проекту доктрины градостроительства и расселения (стратегического планирования — city-planing) // Жилищное строительство. 2012. № 1. С. 2–11.
3. Малмыгин И.А., Недотко П.А. Деятельность инновационных фондов // Экономист. 1993. № 4. С. 92–96.
4. Прыкин Б.В. Новейшая теоретическая экономика. М. : Издательское объединение «ЮНИТИ», 1998. 445 с.
5. Сывороткин В.Л. Планета Земля — самоуправляемая система // Система «Планета Земля» : мат. науч. семинаров «Нетрадиционные вопросы геологии». М., Геологический факультет МГУ «Региональная общественная организация «Гармония строения Земли и планет», 1999.
6. Ильичев В.А. Биосферная совместимость: технологии внедрения инноваций // Города, развивающие человека. М. : Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. 240 с.
7. Ильичев В.А., Емельянов С.Г., Колчунов В.И., Гордон В.А., Бакаева Н.В. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека. М. : АСВ, 2015. 185 с.
8. Лавлок Д., Брайан Э. Новацен: «Грядущая эпоха сверхума». СПб. : Европейский университет в Санкт-Петербурге, 2022. 160 с.
9. Дульзон А.А. Парадокс устойчивого развития. Томск, 2018.
10. Ильичев В.А., Емельянов С.Г., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. Инновационные технологии в строительстве городов // Биосферная совместимость и человеческий потенциал : уч. пос. М. : АСВ, 2019. 208 с.
11. Ильичев В.А. Служение планете Земля — Биосфера, город и человек // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 1 (45). С. 2–15. DOI: 10.21869/2311-1518-2024-45-1-2-15. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67220749>
12. Федеральная служба государственной статистики. URL: [https:// ssl.rosstat.gov.ru](https://ssl.rosstat.gov.ru) (дата обращения: 21.05.2025).
13. Бакаева Н.В., Гордон В.А., Черняева И.В. Прогнозирование социально-демографических характеристик

в городском проектировании // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13. № 3. С. 151–162.

14. Забродоцкий Ю.Н. Патология как опасность и как ресурс развития // Безопасность : инф. сб. 1996. № 7–9.
15. Недотко П.А. и др. Организационно-экономические формы оптимизации общественного развития. М. : МАИ, 1996. 95 с.

Об авторе: **Вячеслав Александрович Ильичёв** — академик РААСН, доктор технических наук, профессор кафедры Архитектурно-строительного проектирования и физики среды; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 65393, SPIN-код: 6554-0669; e-mail: ilyichev@bk.ru.

REFERENCES

1. Ilyichev V.A., Emelyanov S.G., Kolchunov V.I., Karimov A.M., Gordon V.A., Bakaeva N.V. The Concept of Biospheric Compatibility as the Basis for the Doctrine of Urban Development and Settlement. *Strategic Priorities*. 2014; 1(1):71-84. (rus.).
2. Ilyichev V.A., Karimov A.M., Kolchunov V.I., Aleksashina V.V., Bakaeva N.V., Kobeleva S.A. Proposals for the Draft Doctrine of Urban Development and Settlement (Strategic Planning — City-Planning). *Housing Construction*. 2012; 1:2-11. (rus.).
3. Malmygin I.A., Nedotko P.A. Activities of Innovation Funds. *The Economist*. 1993; 4:92-96. (rus.).
4. Prykin B.V. The Newest Theoretical Economics. *UNITY Publishing Association*. 1998; 445. (rus.).
5. Syvorotkin V.L. Planet Earth as a Self-Governing System. In *System “Planet Earth” : Materials of Scientific Seminars “Non-Traditional Issues of Geology”*. Moscow, Regional Public Organization “Harmony of the Structure of the Earth and Planets”, Geological Faculty of Moscow State University, 1999.
6. Ilyichev V.A. Biospheric Compatibility: Technologies for Implementing Innovations. *Cities that Develop Humans*. Moscow, LIBROKOM, 2011; 240. (rus.).
7. Ilyichev V.A., Emelyanov S.G., Kolchunov V.I., Gordon V.A., Bakaeva N.V. *Principles of Transforming a City into a Biospherically Compatible and Human-Developing One*. Moscow, ASV Publishing House, 2015; 185. (rus.).
8. Lovelock J., Appleyard B. *Novacene: The Coming Age of Hyperintelligence*. Saint Petersburg, European University at Saint Petersburg Press, 2022; 160.
9. Dulzon A.A. *The Paradox of Sustainable Development*. Tomsk, 2018.
10. Ilyichev V.A., Emelyanov S.G., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V. Innovative Technologies in City Construction. *Biospheric Compatibility and Human Potential*. Moscow, ASV Publishing House, 2019; 208. (rus.).
11. Ilyichev V.A. Serving the Planet Earth — Biosphere, City and Human. *Biospheric Compatibility: Human, Region, Technologies*. 2024; 1(45):2-15. DOI: 10.21869/2311-1518-2024-45-1-2-15. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67220749> (rus.).
12. Federal State Statistics Service (Rosstat). URL: <https://ssl.rosstat.gov.ru> (accessed on 21.05.2025).
13. Bakaeva N.V., Gordon V.A., Chernyaeva I.V. Forecasting Socio-Demographic Characteristics in Urban Design. *Urban Planning and Architecture*. 2023; 13(3):151-162. (rus.).
14. Zabrodzky Yu.N. Pathology as a Danger and as a Resource for Development. *Security Information Digest*. 1996; 7-9. (rus.).
15. Nedotko P.A. et al. *Organizational and Economic Forms of Optimizing Social Development*. Moscow, Aviation Institute (MAI), 1996; 95. (rus.).

About the author: **Vyacheslav A. Ilyichev** — Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAASN), Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Architectural and Construction Design and Environmental Physics; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 65393, SPIN-code: 6554-0669; e-mail: ilyichev@bk.ru.

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 12–20.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 004.056.2

DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.12-20

СОВРЕМЕННЫЙ МИР И СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПРИОРИТЕТЫ НАЦИОНАЛЬНОЙ И ГЛОБАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ

Константин Константинович Колин

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук
(ФИЦ ИУ РАН); г. Москва, Российская Федерация

Проведен системный анализ современных вызовов и угроз для глобальной безопасности мировой цивилизации и специфики их проявления в современной России, которая осуществляет новую стратегию своего развития. Показано, что для нашей страны самой приоритетной задачей является противодействие ее депопуляции и деградации качества человеческого потенциала. Новая стратегия пространственного развития России и Доктрина градостроительства нашей страны должны стать важными факторами решения этих жизненно важных проблем. Однако их решению существенным образом препятствует геополитическая ситуация, обусловленная санкционным давлением стран Запада и попытками изоляции России от участия в международных проектах технологического развития. В этих условиях технологический суверенитет России становится одной из приоритетных задач национальной безопасности. Она в полной мере распространяется и на архитектурно-строительный сектор нашей экономики. Рассмотрены некоторые пути решения этой проблемы на основе концепции инновационного развития и более широкого применения высоких наукоемких технологий. Показан потенциал России для решения этой задачи в условиях нарастающего дефицита трудовых ресурсов.

Ключевые слова: глобальные угрозы, демографическая динамика, градостроительная политика, пространственное развитие, прорывные технологии, технологический суверенитет

Для цитирования: Колин К.К. Современный мир и стратегические приоритеты национальной и глобальной безопасности России // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 12–20. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.12-20

THE MODERN WORLD AND STRATEGIC PRIORITIES OF NATIONAL AND GLOBAL SECURITY IN RUSSIA

Konstantin K. Kolin

Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences
(FRC CSC RAS); Moscow, Russian Federation

A systematic analysis of the current challenges and threats to the global security of the world civilization and the specifics of their manifestation in modern Russia, which is implementing a new development strategy, has been conducted. It has been shown that the most pressing task for our country is to counteract its depopulation and degradation of human potential. The new spatial development strategy of Russia and the country's urban planning doctrine should become important factors in addressing these vital issues. However, the geopolitical situation, which is influenced by the sanctions imposed by Western countries and attempts to isolate Russia from participating in international technological development projects, poses significant challenges to their resolution. In these circumstances, Russia's technological sovereignty has become a top priority for national security. This priority extends to the architectural and construction sector of our economy. In these conditions, Russia's technological sovereignty has become a priority for national security. This applies to the architectural and construction sector of our economy. The article explores some solutions to this problem based on the concept of innovative development and the wider use of high-tech technologies. It highlights Russia's potential to address this challenge in the face of a growing labor shortage.

Keywords: global threats, demographic dynamics, urban planning policy, spatial development, breakthrough technologies, and technological sovereignty

For citation: Kolin K.K. The Modern World and Strategic Priorities of National and Global Security in Russia. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2025; 4:12-20. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.12-20 (rus.).

Глобальные тенденции и проблемы развития мировой цивилизации

Завершается первая четверть XXI в. Она показала, что в развитии мировой цивилизации начался период глубоких трансформаций, которые уже происходят во всех сферах общества и, безусловно, будут продолжаться в будущем. Аналитические и прогнозные исследования выявили основные тенденции этих перемен и связанных с ними глобальных проблем, вызовов и угроз. Некоторые из них рассматриваются в данной работе.

Великий демографический переход. Он означает качественное изменение процесса мировой демографической динамики. Этот термин предложил известный российский ученый академик РАЕН С.П. Капица, который первым выявил общие закономерности мировой демографической динамики [1]. В настоящее время сделанные им прогнозы подтверждаются. В 2024 г. был опубликован Всемирный прогноз народонаселения ООН 2024 г., который составлен для 237 стран мира и обновляется каждые два года [2]. В нем показано, что рост общей численности населения нашей планеты существенным образом замедляется. Это будет продолжаться до 2080 г., когда численность населения достигнет значения 10,3 млрд человек.

О динамике этого процесса можно судить по изменению среднего коэффициента рождаемости (СКР), который определяет количество детей, приходящихся на одну женщину детородного возраста. В 1990 г. этот коэффициент был равен 3,3, а сейчас он снизился до 2,2. Прогнозируется, что в дальнейшем он будет плавно снижаться до уровня 2,1 к 2080 г. После этого численность населения останется практически постоянной до конца XXI в.

При этом очень важные изменения произойдут в возрастной структуре населения. В 2080 г. численность жителей нашей планеты, имеющих возраст старше 65 лет, составит 2,2 млрд и впервые в истории человечества превысит численность людей до 18 лет.

Таким образом, согласно результатам этого прогноза, последние два десятилетия текущего века будут периодом, когда каждый шестой житель планеты будет в возрасте 65+, со всеми вытекающими из этого социальными и экономическими последствиями.

Бедность и голод. Всемирная организация здравоохранения считает, что главной угрозой для здоровья людей в XXI в. является голод. В 2011 г. от массового голода в Восточной Африке умерло от 50 до 100 млн человек. В настоящее время от голода ежегодно умирает около 9 млн человек. Половина из них — это дети.

Но ведь население планеты возрастет к 2080 г. еще на 30 %. Что будет тогда? Решение этой проблемы пока не найдено. Планы ООН искоренить бедность к 2030 г., которые были приняты в 2015 г. на юбилейной сессии Генеральной ассамблеи этой организации, оказались благими намерениями [3]. Хотя, по оценкам специалистов, для решения этой глобальной проблемы достаточно выделить всего 10 % средств, которые используются для военных целей. Для ликвидации бедности таких средств не нашлось. Поэтому необходимо понимать, что каждый час (!) на нашей планете от голода умирает 1000 человек.

Социальное неравенство. Эта проблема является причиной высокой социальной напряженности во многих странах и часто приводит к серьезным социальным катаклизмам. Примерами здесь могут служить так называемые «цветные революции» в странах Ближнего Востока и Северной Африки. Напомним, что «оранжевая революция» 2014 г. на Украине произошла вовсе не по причине бедности ее населения, а потому, что инициаторы государственного переворота сумели вывести толпу на Киевский майдан под лозунгом: «Украина — цэ Европа!». Их основной целью было вступление Украины в Европейский экономический союз, где уровень жизни населения выше.

Глобальное телевидение и другие средства информатизации общества сделали современный мир гораздо более открытым, чем это было ранее в XX в. И люди стали больше узнавать о жизни в других странах. Это стало причиной нарастания процессов миграции из бедных стран в экономически развитые страны Запада. Масштабы этой миграции сегодня оцениваются специалистами в объеме порядка 800 тыс. человек.

Результатом этого стало размывание национальной идентичности стран Запада и существенное повышение в них уровня социальной напряженности. Все это мы наблюдаем сегодня в Германии, Франции, Великобритании и США.

Исследования показывают, что современная научно-технологическая революция не смогла снизить остроты проблемы социального неравенства, а лишь добавила ее новую форму — *информационное неравенство* между людьми, странами и регионами мира [4].

Проблема инновационного технологического развития. За научное обоснование необходимости инновационного развития в 2025 г. была присуждена Нобелевская премия по экономике. Ее получили американские ученые, которым удалось доказать, что только инновационное развитие на основе высоких технологий прорывного характера дает человечеству реальный шанс отодвинуть тот глобальный

энергетический и экологический кризис, который может стать реальностью уже в середине текущего столетия.

Однако для этого необходимо будет радикальным образом изменить всю современную организацию общественного производства. Этот процесс нобелевские лауреаты назвали «*когнитивным разрушением*». Ключевую роль здесь должны сыграть наука и образование, которые должны быть адекватным образом перестроены [5, 6].

Прогнозы социодемографической динамики в России

В настоящее время опубликовано несколько результатов прогнозирования динамики дальнейшего развития социодемографических процессов в России. Эти исследования проводились в нашей стране специалистами Росстата, Минэкономразвития, ВЦИОМ, а также Института демографии Высшей школы экономики. Все они свидетельствуют о весьма неблагоприятной и тревожной тенденции быстрого сокращения численности населения нашей страны. Ниже приводятся некоторые количественные оценки этих прогнозов.

По данным ВЦИОМ, в 2025 г. в России наступила «демографическая осень» [7]. Значение среднего коэффициента рождаемости в период с 2015 по 2024 г. снизилось с 1,78 до 1,4. Прогнозируется, что в дальнейшем снижение этого показателя будет продолжаться и в течение 75 лет он будет иметь значение на уровне 1,35–1,2. В результате этого общая численность населения России, которая в 2024 г. составляла 146,5 млн человек, будет продолжать свое сокращение. К концу текущего столетия она может снизиться до 81 млн человек (с учетом притока мигрантов) и до 70 млн, если этого притока не будет. При этом без притока мигрантов население Москвы и Подмосковья сократится в два раза, а население региона Петербурга — в 2,5 раза.

В настоящее время население России ежегодно сокращается на 450–500 тыс. человек, а принимаемые Правительством РФ меры противодействия этому процессу действенных результатов пока не дают. Да и объемы финансирования, которые выделяются для решения демографических проблем России, составляют всего 0,7 % ВВП, что не соответствует масштабам и стратегической значимости этих проблем. Ведь страна — это, прежде всего, люди, которые в ней живут. Без них Россия — это огромная территория, богатая природными ресурсами и имеющая суровый климат. Охотников прибрать к рукам эти ресурсы сегодня более чем достаточно. Именно поэтому им необходимо ослабление нашей страны, а не ее развитие.

Задачи строительной отрасли в решении социально-демографических проблем России

В структуре национальных целей современной России высшей целью является сбережение народа и развитие человеческого потенциала страны. Однако эффективных путей достижения этой цели пока не найдено, а средства, выделяемые для ее достижения, являются неадекватными. Поэтому приведенные выше результаты прогнозов дальнейшего развития ситуации в этой области должны стать стимулом для поиска путей выхода из этой опасной ситуации, которая становится критической для дальнейшего существования нашей страны как суверенного государства. Одним из таких путей может стать *новая стратегия градостроительства и расселения народа на территории страны*.

Социологические исследования ВЦИОМ показывают [7], что, помимо депопуляции нашей страны, в ней нарастает еще одна важная социально-демографическая проблема. Она обусловлена оттоком населения из малых и средних городов в два наших мегаполиса — Москву и Санкт-Петербург. При этом наиболее трудоспособная часть населения переезжает в эти мегаполисы даже из крупных городов. Причинами этого респонденты социальных опросов называют желание найти достойно оплачиваемую работу, низкое качество жилья и медицинской помощи на прежнем месте жительства, а также стремление дать детям более качественное образование.

Эта тенденция наблюдается сегодня даже на окраинах Московской области. И если она сохранится и в дальнейшем, то уже в середине текущего столетия 90 % населения нашей страны будет сосредоточено в трех регионах: Московском, Петербургском и Южном (Краснодарский край, Крым и Сочи). А на остальной территории будут лишь рабочие поселки гастарбайтеров, работающих вахтовым методом на предприятиях добычи и транспортировки за рубежом энергоресурсов и других природных богатств России.

Возникает вопрос: таким ли мы хотим видеть будущее России? Ведь эта ситуация очень опасна как по социальным, так и по геополитическим последствиям. И она становится все более реальной, как об этом свидетельствует современная статистика и социологические опросы населения.

Радикальным решением могла бы стать разработка *Генерального плана социально-демографического развития России на период до 2050 года* и дальнейшую перспективу до конца текущего столетия. Такая работа пока не планируется. Поэтому ниже рассматриваются лишь некоторые первоочередные задачи строительной отрасли нашей

страны, которые должны быть решены для снижения остроты проблемы дальнейшей депопуляции России.

Доступное и качественное жилье для населения

Нам представляется, что решение этой проблемы может стать тем ключевым фактором, который сможет достаточно быстро переломить негативную ситуацию в демографической сфере России. Решение этой проблемы надо осуществлять по следующим основным направлениям.

1. Развитие малоэтажного строительства коттеджного типа в малых и средних городах, а также в сельской местности. Прежде всего, это должно осуществляться в тех регионах, которые являются стратегически важными для национальной безопасности.

2. Широкое распространение практики предоставления в наем (по льготным ценам) муниципального и ведомственного жилья специалистам наиболее востребованных категорий, а также многодетным семьям.

3. Строительство семейных общежитий для молодых студенческих семей и предоставление квартир в них этим семьям до завершения учебы.

4. Целевое строительство коттеджных поселков для репатриантов из других стран: Латвии, Литвы, Эстонии, Германии и др.

5. Создание системы муниципального и ведомственного жилья в крупных городах и мегаполисах, а также дотирование их аренды востребованными в них специалистами.

Психологические факторы жизнеспособности населения

Многолетние научные исследования доктора медицинских наук, профессора И.А. Гундарова показали, что жизнеспособность населения существенным образом зависит от психологических факторов, главным из которых является надежда на лучшее будущее. В его монографии, изданной в 2020 г. под характерным названием «Психодемография» [8], на основе анализа большого объема статистической информации о различных аспектах демографических процессов в России и других странах, показано, что материальные факторы вовсе не являются главными для жизнеспособности населения. Их влияние не превышает 20 %. Еще 15 % составляет влияние медицинских факторов, а самое большое влияние (65 %) оказывают психологические факторы.

Этот результат исследований подтверждается историей развития нашей страны. Еще в период

Великой Отечественной войны после нашей победы под Сталинградом было замечено резкое снижение смертности среди гражданского населения СССР, которое было воодушевлено этой победой и поверило в свое мирное послевоенное будущее. Этот эффект повторился и в начальный период горбачевской перестройки, а позднее — при вхождении Крыма в состав России. В ближайшие годы таким событием может стать наша победа в СВО на Украине.

Описанный выше результат исследований И.А. Гундарова является фундаментальным и, по нашему мнению, заслуживает Нобелевской премии, так как он вскрывает главную причину депопуляции населения в экономически развитых странах современного мира. Она заключается в утрате современными людьми цели и смысла своей жизни.

Зарубежные психологи уже называли этот феномен *симптомом Мартина Идена*, главного героя одноименного романа Джека Лондона [9]. Простой матрос, который благодаря своему трудолюбию и настойчивости стал известным писателем и обеспеченным человеком для того, чтобы завоевать любовь женщины из высшего общества. Однако, достигнув этой цели, понял, что она была ложной, как и сами материалистические ценности этого общества, которые были для него глубоко чуждыми. Оказалось, что та социальная лестница, по которой он с таким трудом взбирался вверх, приставлена совсем не к той стене, и все его титанические усилия оказались напрасными. Поэтому, уже получив согласие на свой брак с аристократкой, он неожиданно для всех покончил с собой.

Джек Лондон вошел в историю не только как гениальный писатель, но также как социальный философ, который задолго до нашего времени предсказал трагическую судьбу стран Запада. Синдром Мартина Идена сегодня активно проявляет себя в Великобритании, где самоубийства среди мужчин в возрасте 25–55 лет стали национальным бедствием. Для противодействия ему в структуре кабинета министров Великобритании даже создано специальное министерство.

Вы только задумайтесь, Министерство по противодействию самоубийствам! Для таких ситуаций у нас в России есть весьма образное определение: «Приехали!». Но «приехала» в эту ситуацию не только Великобритания, коренное население которой быстро сокращается, а национальная идентичность размывается притоком мигрантов. Похожая ситуация наблюдается и в других странах Западной Европы: Бельгии, Норвегии, Швеции. А ведь все эти страны входят в первую десятку стран мирового рейтинга по уровню жизни. Следовательно, дело совсем в другом — нет высоких целей жизни и понятных путей их достижения. И эта ситуация является сегодня глобальной проблемой человечества.

Новые материалы и технологии в строительной отрасли

В последнее время появились сообщения и прогнозы об использовании в строительной индустрии принципиально новых материалов и автоматизированных технологий, которые позволяют существенно сократить сроки строительства, снизить его стоимость, а также потребности в рабочей силе при изготовлении строительных конструкций и сооружений различных объектов. Так, например, по данным, представленным в сети Интернет, в перечень Топ-10 таких материалов и технологий 2025 г. вошли следующие:

1. *Прозрачный алюминий*, который обладает высокой пропускной способностью для света и поэтому вполне может заменить стекло. При этом он в два раза легче и в 3–4 раза прочнее стекла.

2. *Самовосстанавливающийся бетон*, который прочнее обычного на 20–30 %.

3. *Биокompозитные материалы* на основе льна, конопли и бамбука, которые могут использоваться для внутренней отделки помещений.

4. *Графенобетон*, который обладает повышенной прочностью, водостойкостью и долговечностью и позволяет на 50 % сократить расход цемента.

5. *Аэрогель* для тепловой изоляции строящихся зданий и помещений.

6. *Умная керамика* — керамические блоки нового поколения.

7. Новые материалы, полученные переработкой пластика, стекла и даже строительного мусора.

8. *Строительные нанотехнологии*, применяемые в красителях и других строительных материалах.

9. *«Умные материалы»*, изменяющие свои свойства в зависимости от температуры и уровня освещенности внешней среды.

10. *Биоразлагаемые* строительные материалы.

Строительная революция Илона Маска и реакция на нее в России

Известный американский изобретатель и миллиардер Илон Маск вновь удивил мир замыслом своего очередного технологического мегапроекта. На сей раз он планирует революцию в строительстве жилых домов для решения одной из самых острых проблем США — дефицита доступного жилья. Принадлежащая ему компания Tesla анонсировала проект компактного дома Tiny House площадью 37 кв. м (рис. 1) [10]. Его цена — 7789 долларов, т.е. 635 тыс. руб. по текущему курсу валют. Это меньше, чем автомобиль той же фирмы.

Но главное в этом проекте не цена, а те технологические решения, на основе которых планируется организовать массовое промышленное производство уже в 2026 г. Дом будет полностью изготавливаться на заводе фирмы Tesla и доставляться на место дислокации практически в собранном виде. При этом он будет иметь полную энергозависимость. Для



Рис. 1. Компактный дом Tiny House (Tesla)

этой цели в конструкцию включена солнечная черепица или панели Powerwall и аккумуляторы Tesla. Предусмотрена также система климат-контроля, которая будет поддерживать идеальную температуру и влажность круглый год, экономно расходуя энергию. Такой проект, действительно, может стать революционным, а его технологические решения, безусловно, заслуживают внимания.

И это внимание уже проявляется. Работающая в России компания LetWoodGroup предлагает свой проект дачного дома Dasa38 для семьи. Его жилая площадь составляет 38 кв. м и включает: кухню-гостиную (25,7 кв. м), спальню (6,7 кв. м), а также санузел с душем (4,5 кв. м). Кроме того, имеется большая терраса (21,0 кв. м). Стоимость этого дома — 3 млн руб.; его внешний вид представлен на рис. 2.

Такой дом пригоден для молодой семьи или для пожилых людей, имеющих квартиру в городе. Для постоянного проживания нужны дома большей площади, приспособленные для жизни в условиях российского сурового климата. Поэтому необходима разработка нескольких моделей таких домов с учетом климатических условий и национальных традиций регионов России. Для снижения их стоимости потребуются создание крупных домостроительных заводов, на которых будет использоваться робототехника, искусственный интеллект и другие методы повышения производительности труда.

В настоящее время Россия в этой области далеко отстает от передовых стран мира. Масштабы этой проблемы наглядно характеризует сравнение *уровня роботизации* общественного производства в России и передовых странах. В 2024 г. количество промышленных роботов в нашей стране возросло на 12 % и составило 14,8 тысяч. В Китае их более 2 млн, а в Японии — 500 тыс. Показатель «*плотности роботизации*» в мире составляет 162 робота на 10 тыс. работников. Лидерами являются Южная Корея (1012 роботов), Сингапур (770), Китай (470), Германия (415) и Япония (397).

Для России этот показатель сегодня равен 20. Согласно планам Правительства РФ, в 2026 г. он должен возрасти в два раза, а к 2028 г. увеличиться до 93. Таким образом, даже в 2028 г. мы будем отставать от Южной Кореи более чем в 50 раз. Обусловлено это мизерными объемами финансирования, которые выделяются на реализацию национального проекта «Средства производства и автоматизации». Например, в 2026 г. на эти цели выделяется всего 34,6 млрд руб., а на 2028 год — 45,8 млрд руб.

Нужно отметить, что в области роботизации производства появилась новая и принципиально важная тенденция. Она связана с появлением *комплексных роботов* — *коботов*. Это программируемые на рабочем месте многофункциональные роботы, способ-



Рис. 2. Дачный дом Dasa38

ные выполнять несколько различных функций. Их появление открывает новые возможности для применения робототехники *на малых предприятиях*, где производство является малосерийным, а номенклатура изделий быстро изменяется. Такие роботы уже успешно применяются для автоматизации процессов отбраковки продукции сельского хозяйства, и делают это они гораздо лучше людей.

Применение программируемых роботов может существенно повысить производительность труда как в общественном производстве, так и на предприятиях строительного комплекса. Однако для этого нужна адекватная подготовка специалистов, которую современная стратегия развития образования практически не предусматривает. Наши образовательные министерства, а также Российская академия образования находятся далеко в стороне от этой проблематики, и за последние годы новых идей в области инженерного образования они не предложили. Все это свидетельствует о необходимости централизации государственного управления научно-технологическим развитием страны.

Проблема репатриации соотечественников

Современная Россия является разделенной нацией. В настоящее время за рубежом проживает порядка 30–35 миллионов бывших граждан нашей страны. Подавляющая часть из них оказалась за рубежом не по своей воле, а в результате распада Советского Союза.

Участь этих людей незавидна. Практически везде, кроме Белоруссии, они ущемлены в гражданских правах, а в Латвии, Литве и Эстонии даже имеют униженный статус «неграждан». Такого в мире еще нигде придумано не было. Многие из этих людей хотели бы переехать в Россию, но сделать этого сами не могут, а наше государство им практически не помогает. Что мешает нам построить для репа-

триантов из этих стран современные малые города с названиями «Новая Латвия», «Новая Литва», «Новая Эстония» и потом торжественно открыть их в День национального единства России? Это был бы очень мощный сигнал для всей нашей диаспоры в ближнем и дальнем зарубежье.

Но ведь пока с такой идеей никто из наших народных депутатов не выступает. А напрасно, ведь даже с экономической точки зрения рост численности населения страны — это также и увеличение ее человеческого капитала. Причем, весьма значительное.

По оценкам специалистов, среднее значение стоимости человеческого капитала, которое приходится на каждого гражданина России, составляет 35–50 млн руб. Это значит, что если в нашу страну вернулась из-за рубежа семья из трех человек, то человеческий капитал России увеличился, как минимум, на 100 млн рублей. А цена человеческого капитала специалистов является еще гораздо более высокой.

Культура России как стратегический фактор решения демографических проблем

Репатриация соотечественников из стран дальнего и ближнего зарубежья могла бы стать важным фактором решения демографических проблем России. Здесь нам следует использовать опыт Израиля в работе с репатриантами. Там это дело поставлено очень серьезно и является важным направлением государственной политики. Поэтому и результат адекватный — численность населения Израиля продолжает быстро возрастать как за счет притока репатриантов, так и в результате высокого уровня рождаемости у коренного населения страны. Значение суммарного коэффициента рождаемости (СКР) там в последние годы составляет 2,9–3,3.

Автору настоящей статьи довелось беседовать с одним специалистом, который переехал вместе с женой из России в Израиль на постоянное жительство по государственной программе репатриации этой страны. Представитель этой программы встретил семью в аэропорту и сам отвез на заранее арендованную квартиру. Оплатило аренду Министерство строительства Израиля, которое через полгода предоставило репатриантам постоянное жилье. Мало того, их также устроили на работу, несмотря на пенсионный возраст. Муж (подполковник в отставке) получил место в военкомате Иерусалима, а жена (школьный педагог) — работу уборщицы в ближайшей школе. Там она два раза в неделю убирала кабинет директора и получала за это зарплату 200 долларов. Хорошая добавка к российской пенсии.

Педагог-уборщица! Такого в России, пожалуй, не встретишь. Но в Израиле другая ментальность. Там никакой труд не считается зазорным. Это — социальная норма.

Весьма интересным является финал этой короткой истории. Через три года семья вернулась в Россию несмотря на то, что в Израиле остался их взрослый сын. На мой вопрос о причинах такого решения глава семейства ответил: «Другая культура. Другой язык, другие отношения между людьми. Это — не наше. Мы — русские люди, хотя и являемся этническими евреями. Хотим жить и умереть в России».

Аналогичную ситуацию пережил также и наш известный актер кино Михаил Казаков. Он тоже не смог жить в Израиле, куда однажды уехал. И на вопрос: «Почему?» ответил: «Израиль мне понравился. Мне не понравился я в Израиле».

Эти два жизненных примера приведены для того, чтобы показать, что для решения демографических проблем современной России у нас есть еще один мощный фактор — это *наша национальная культура*. И этот фактор обязательно нужно использовать гораздо более эффективно, чем это происходит сегодня [11].

Таким образом, доступное и удобное жилье на своей Родине, а также ее высокая традиционная культура — это те два ключевых фактора, от которых сегодня зависит будущее нашей страны. Ведь страна — это, прежде всего, люди, которые в ней проживают. И эти люди должны любить свою Родину, знать ее историю и гордиться ее достижениями. Поэтому нам необходимо системно и настойчиво воспитывать эти качества у молодого поколения народа нашей страны. А нам есть чем гордиться и в прошлом, и в настоящем времени, когда в России появились новые герои — защитники нашей Родины.

На фоне ужасающей деградации культуры в странах Запада Россия становится единственным оплотом высокой культуры, которая включает также и многие культурные достижения этих стран. И эту культуру нам нужно беречь, развивать и передавать новому поколению. Сейчас — это стратегически важная задача России. И здесь очень полезным может оказаться опыт воспитательной работы со студентами Елецкого государственного университета. Это единственный государственный университет, расположенный в районном центре страны. Он был создан на базе педагогического университета и имеет в своей структуре также и медицинский факультет. Его студенты проходят практику в крупном медицинском центре, который имеется в этом городе.

Преподавательский состав университета был существенным образом пополнен за счет приглашенных специалистов из стран СНГ, которым

университет предоставил ведомственные квартиры.

Преподавателями этого университета был разработан оригинальный курс изучения истории родного края, в котором представлены факты жизни и творчества писателей и других видных деятелей этого края. И это очень важно. Ведь, если мы не хотим, чтобы большая часть нашей страны обезлюдела, нужно создать в ней такую психологическую обстановку, при которой жители малых городов не будут чувствовать себя людьми второго сорта, не имеющими жизненных перспектив. Сделать это очень сложно, и быстро решить эту задачу не получится. Но показать людям эту перспективу нужно как можно скорее, так как без этого у нашей страны не будет достойного будущего.

Заключение

Россия является частью глобального мира. Глобализация сделала его взаимосвязанным, поэтому

проблемы нашей страны нельзя рассматривать в отрыве от проблем развития мировой цивилизации. Выше было показано, что анализ причин даже такой, казалось бы, внутренней национальной проблемы, как демография страны, приводит нас к необходимости рассматривать ее геополитические и даже философские аспекты.

Современные проблемы качества жизни, ее цели и смысл выходят далеко за пределы теоретических рассуждений специалистов в области социологии и философии [12, 13]. Сегодня эти проблемы становятся ключевыми в проблематике целеполагания при определении дальнейшей стратегии развития мировой цивилизации. И Россия может стать лидером в адекватной постановке этих проблем в интересах обеспечения национальной и глобальной безопасности. Необходимый потенциал для этого у нас имеется [14, 15].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Катица С.П.* Общая теория роста человечества. М. : Наука, 1999. 190 с.
2. Всемирный прогноз народонаселения ООН 2024 года. Ожидаемый рост населения России : научный семинар. НИУ ВШЭ, 2024. URL: <https://demogr.hse.ru/news/943014939.html>
3. *Колин К.К.* Глобальная безопасность и приоритеты действий ООН на ближайшее десятилетие // Стратегические приоритеты. 2020. № 1–2. С. 72–92.
4. *Колин К.К.* Глобальные проблемы информатизации: информационное неравенство // Alma mater (Вестник высшей школы). 2000. № 6. С. 27–30.
5. *Яковец Ю.В., Колин К.К.* Стратегия научно-технологического прорыва России // Аналитические материалы. 2015. Вып. 7. 40 с.
6. *Иванов В.В., Малинецкий Г.Г.* Россия: XXI век. Стратегия прорыва. Технологии. Образование. Наука. М. : ЛЕНАНД, 2024. 304 с.
7. *Писарева Г.* ВЦИОМ: в России наступила «демографическая осень» // EcoPravda.ru. 2025.
8. *Гундаров И.А. и др.* Психодемография (в таблицах и графиках). М. : АтиСО, 2020. 233 с.
9. *Лондон Д.* Мартин Иден. М. : Эксмо, 2025. 416 с.
10. *Ануфриев С.* Tesla Tiny House: каким будет мобильный дом от Илона Маска? // РБК. 2025. URL: <https://www.rbc.ru/radio/05/11/2025/690b35db9a794725a62e32cc>
11. *Колин К.К.* Духовная культура общества как стратегический фактор обеспечения национальной и международной безопасности // Вестник Челябинской государственной академии культуры и искусств. 2010. № 1. С. 27–45.
12. *Гроф С., Ласло Э., Рассел П.* Революция сознания: Трансатлантический диалог. М. : Изд-во АСТ, 2004. 248 с.
13. *Колин К.К.* Качество жизни: новая методология измерения // Стратегические приоритеты. 2018. № 4. С. 77–93.
14. *Ильичев В.А.* Биосферная совместимость: Технология внедрения инноваций. Города, развивающие человека. М. : URSS, 2011. 240 с.
15. *Колин К.К.* Человечество на переломе: проблема выбора целей и стратегии глобального развития // Знание. Понимание. Умение. 2022. № 3. С. 33–49. DOI: 10.17805/zpu.2022.3.4

Об авторе: **Константин Константинович Колин** — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник; **Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН)**; 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44; РИНЦ ID: 71616; e-mail: kolinkk@mail.ru.

REFERENCES

1. Kapitsa S.P. *General theory of human growth*. Moscow, Nauka, 1999; 190. (rus.).
2. *UN World Population Prospects 2024. Expected Population Growth in Russia : Scientific seminar*. HSE University, 2024. URL: <https://demogr.hse.ru/news/943014939.html> (rus.).
3. Colin K.K. Global Security and the UN's Priorities for the Next Decade. *Strategic Priorities*. 2020; 1-2:72-92. (rus.).
4. Kolin K.K. Global Problems of Informatization: Information Inequality. *Alma mater (Bulletin of Higher Education)*. 2000; 6:27-30. (rus.).
5. Yakovets Yu.V., Kolin K.K. Strategy of Russia's Scientific and Technological Breakthrough. *Analytical Materials*. 2025; 7:40. (rus.).
6. Ivanov V.V., Malinetsky G.G. *Russia: XXI century. A breakthrough strategy. Technologies. Education. Nauka*. Moscow : LENAND, 2024; 304. (rus.).
7. Pisareva G. VTsIOM: Russia's Demographic Autumn Has Arrived. *EcoPravda.ru*. 2025. (rus.).
8. Gundarov I.A. et al. *Psychodemography (in Tables and Graphs)*. Moscow, Atiso, 2020; 233. (rus.).
9. London D. *Martin Eden*. Moscow, Eksmo, 2025; 416.
10. Anufriev S. Tesla Tiny House: What Will Elon Musk's Mobile Home Be Like? *RBC*. 2025. URL: <https://www.rbc.ru/radio/05/11/2025/690b35db9a794725a62e32cc> (rus.).
11. Kolin K.K. Spiritual culture of society as a strategic factor in ensuring national and international security. *Bulletin of the Chelyabinsk State Academy of Culture and Arts*. 2010; 1:27-45. (rus.).
12. Grof S., Laszlo E., Russell P. *Revolution of Consciousness: A Transatlantic Dialogue*. Moscow, AST Publishing House, 2004; 248. (rus.).
13. Colin K.K. Quality of Life: A New Measurement Methodology. *Strategic Priorities*. 2018; 4:77-93. (rus.).
14. Ilyichev V.A. *Biosphere compatibility: Technology of innovation implementation. Cities that develop people*. Moscow, URSS, 2011; 240. (rus.).
15. Kolin K.K. Humanity at a turning point: the problem of choosing goals and strategies for global development. *Knowledge. Understanding. Ability*. 2022; 3:33-49. DOI: 10.17805/zpu.2022.3.4

About the author: **Konstantin K. Kolin** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Chief Researcher of the Federal Research Center “Computer Science and Control”; **Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences (FRC CSC RAS)**; 44 Vavilova st., Moscow, 119333, Russian Federation; ID RSCI: 7116; e-mail: kolinkk@mail.ru.

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 21–32.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 711

DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.21-32

ФОРМИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЦЕНТРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Нина Васильевна Данилина¹, Павел Викторович Тряпкин²

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);
г. Москва, Российская Федерация;

² ГАУ «Научно-исследовательский и проектный институт Генерального плана города Москвы»;
г. Москва, Российская Федерация

Тренд устойчивого развития биосферосовместимых городов определяет необходимость формирования полицентрической городской структуры, ключевыми характеристиками которой являются инфраструктурная обеспеченность, многофункциональность, комфортность, доступность и безопасность. Данная идея в настоящее время в мировой практике городского планирования находит реализацию в формировании локальных общественных центров, которые выполняют функцию районных центров обслуживания. Анализ существующих процессов развития городской среды в средних городах России показал, что подобные локальные центры стихийно формируются и берут на себя множество общественных функций, востребованных населением в зоне 15-минутной пешеходной и транспортной доступности: социально-бытовых, культурно-развлекательных и рекреационных. Исследование направлено на выявление таких локальных центров в городах, территориальных особенностей их размещения и анализ их функционального наполнения. По результатам исследования на основе проведения пространственного и функционального анализа определена корреляция между функциональным наполнением и площадью локального центра. На основе метода кластеризации разработана типология локальных общественных центров. Полученные результаты направлены на улучшение существующей научно-методической базы в области формирования комфортной и безопасной городской среды.

Ключевые слова: локальный общественный центр, жилой район, инфраструктурная обеспеченность и доступность, устойчивое развитие, биосферосовместимые города, концепция 15-минутного города

Для цитирования: Данилина Н.В., Тряпкин П.В. Формирование локальных общественных центров для повышения устойчивости городской среды // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 21–32. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.21-32

FEATURES OF THE ORGANIZATION OF LOCAL COMMUNITY CENTERS

Nina V. Danilina¹, Pavel V. Tryapkin²

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation;

² State Autonomous Institution of the City of Moscow “Research and Design Institute
of the General Plan of the City of Moscow”; Moscow, Russian Federation

The trend of sustainable development of biospherically compatible cities determines the need to form a polycentric urban structure, the key characteristics of which are infrastructural security, versatility, comfort, accessibility and safety. This idea is currently being implemented in the global practice of urban planning in the formation of local community centers that serve as regional service centers. An analysis of the existing processes of urban environment development in medium-sized cities of Russia has shown that such local centers spontaneously form and take on many public functions demanded by the population in the area of 15-minute pedestrian and transport accessibility: social, cultural, entertainment and recreational. The research is aimed at identifying such local centers in cities, the territorial features of their location and the analysis of their functional content. Based on the results of the study, a correlation between the functional content and the area of the local center was determined based on spatial and functional analysis. A typology of local community centers has been developed based on the clusterization method. The results obtained are aimed at improving the existing scientific and methodological base in the field of creating a comfortable and safe urban environment.

Keywords: local community center, residential area, infrastructural security and accessibility, sustainable development, biospherically compatible cities, the concept of a 15-minute city

For citation: Danilina N.V., Tryapkin P.V. Features of the organization of local community centers. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2025; 4:21-32. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.21-32 (rus.).

Введение

В настоящее время как во всем мире, так и в России ключевым направлением развития городов является их устойчивое развитие. Данная концепция определяет необходимость формирования биосферосовместимой среды, которая одновременно нацелена на выполнение социальных функций и обеспечения экологической безопасности среды жизнедеятельности и охрану природных компонентов. Решение данной задачи лежит в области формирования полицентрических городов, которая характеризуется наличием в городе нескольких равнозначных центров притяжения, различающихся по функциональному наполнению, планировочной организации, расположению в городе, а также зоне влияния [1, 2]. Первые модели полицентрической системы расселения зародились в XIX в. и начали активно применяться в зарубежных странах [3, 4]. Полицентрическая структура решает ряд проблем, связанных с пробками на дорогах за счет минимизации городских передвижений между периферией и центром города, несбалансированным распределением социально-экономических ресурсов в городской черте, а также расслоением общества по территориальному признаку [5, 6]. При полицентрической модели расселения усиливается взаимное развитие, повышается общая эффективность [7]. Полицентризм признается реальной и практически безальтернативной тенденцией для развития крупнейших городов, хотя и имеет свои недостатки [8, 9].

Принципы полицентрической структуры были заложены в первой отечественной системе обслуживания населения — ступенчатой системе, предложенной в 1960-х гг. архитекторами Г.А. Градовым, Р.И. Хамецким и другими. Основная суть состояла в разделении города на отдельные планировочные единицы с центрами различного уровня [10, 11]. Такая система предполагала строго вертикальную иерархию различных уровней (повседневное, периодическое и эпизодическое обслуживание) в зависимости от частоты спроса объектов обслуживания. Она имела ряд недостатков: создавала рамки в планировочном расширении и обеспечивала лишь минимальный уровень обслуживания населения, ограничивая его совершенствование [12].

Международный опыт исследований развития локальных центров предлагает концепцию развития «15-минутного города», которую все чаще выбирают в качестве основной стратегии устойчивого развития [13, 14]. Основная цель состоит в том, чтобы сократить расстояние между жильем и объектами обслуживания, закрывающее основные потребности жителей города, которые можно представить в виде функций: работа, здравоохранение, торговля, образование и развлечения [15]. Основными харак-

теристиками районов, отвечающими критериям 15-минутной доступности, являются высокая плотность застройки, близость и разнообразие объектов общественного назначения. Концепция направлена на снижение пользования личным автомобилем, увеличение мобильности и общее благосостояние населения [16, 17]. При таком развитии городские районы взаимосвязаны, но при этом самодостаточны [18, 19].

С развитием городов и их функционально-планировочными изменениями неоднородность и хаотичность размещения общественных центров по городу увеличилась. Сегодня локальные центры фокусно увеличили свое функциональное наполнение в зависимости от конкретного района расположения, создавая свою зону влияния. Анализ научных публикаций показал, что сегодня многие исследования направлены на изучение особенностей формирования и развития общественных центров в городах. Авторы рассматривают взаимосвязь между потребительскими удобствами и городской пространственной структурой [20]. Часть исследований направлена на выявление типов локальных центров в городах с точки зрения размещения их в городе, характера занятости и включенности населения в общественную жизнь [20, 21]. Локальные центры рассматриваются в качестве начала развития общественной жизни, оценивается влияние социального статуса территории на их формирование [22]. Авторы отмечают, что локальные центры могут быть выражены различными объектами или группой объектов и не обладают одной лишь единственной функцией, а включают разнообразное функциональное наполнение, которое должно учитывать потребности населения в районе [23, 24].

В настоящий момент недостаточно разработана единая типология локальных общественных центров, которая учитывала бы современные условия, функциональный состав, их расположение в городской структуре. Целью исследования является выявление особенностей формирования локальных общественных центров в городской структуре с учетом современной тенденции полицентрического развития городов. Создание типологии локальных общественных центров будет представлять собой первый шаг к разработке подхода к совершенствованию планировочной структуры современных городов.

Модели и методы

Материалы исследования

Объектом исследования является локальный общественный центр (ЛОЦ), который является центром сосредоточения общественных функций, расположенный в жилых зонах города и примыкающий



Рис. 1. Объект исследования — локальный общественный центр

к магистральной улично-дорожной сети районного значения или общегородского значения (рис. 1).

Под локальным общественным центром (ЛОЦ) принимается территория общественно-делового назначения, интегрированная в структуру жилого района, которая выполняет функцию концентрации объектов социальной инфраструктуры различного назначения. Локальные общественные центры, прилегающие к магистральной улично-дорожной сети, связывающие городские округа и выходящие на внешние автомобильные дороги, не входят в объект рассмотрения.

В рамках анализа существующих функциональных групп зданий и сооружений (СП 118.13330.2022 «Свод правил. Общественные здания и сооружения. СНиП 31-06–2009») была составлена таблица с перечнем основных функционально-типологических групп, входящих в состав ЛОЦ. Представленный перечень характеризуется наличием только тех зданий и сооружений, чей функциональный состав соответствует локальному общественному центру районного или местного значения.

Из перечня существующих общественных функциональных групп объектов исключены следующие типы общественных зданий и сооружений:

- объекты с ограниченной целевой группой (образовательные организации, организации гражданский обрядов и др.);
- объекты транспортного обслуживания (вокзалы, транспортно-пересадочные узлы и др.), так как обслуживают население не только прилегающего района, но и жителей соседних районов или города в целом;
- объекты для временного проживания;
- прочие объекты городского значения.

Методология исследования

Для выявления особенностей формирования локальных общественных центров в городской структуре необходимо определить их наличие в городе, границы и функциональный состав.

При построении методологии исследования поставлены следующие задачи:

1. Определение границы локального общественного центра.
2. Определение типологии локальных общественных центров.

Для определения границ локальных центров в городах необходимо провести сбор исходных данных, а именно:

- схема функционального зонирования;
- схема размещения объектов транспортной инфраструктуры;
- публичная кадастровая карта;
- карты из открытых данных (Яндекс карты, Google карты).

Для определения границ локальных общественных центров необходимо руководствоваться алгоритмом, представленным на рис. 2. Алгоритм предполагает сбор исходных данных, анализ документов Генерального плана исследуемого города, анализ материалов публичной кадастровой карты и уточнение границ локальных общественных центров в соответствии с перечнем функционально-типологических групп объектов (табл. 1).

Шаг 1. Анализ материалов Генерального плана

Для определения границ локальных центров в городах необходимо проанализировать схему функционального зонирования города и выявить зоны многофункциональной общественно-деловой застройки, зоны специализированной застройки и зоны рекреации, интегрированные в жилые

Таблица 1. Перечень функционально-типологических групп объектов

Функционально-типологическая группа	Состав
Объекты сервисного обслуживания	• предприятия бытового обслуживания населения (ремонтные и пошивочные мастерские, прачечные, химчистки); • организации санитарно-бытового обслуживания (бани, парикмахерские); • предприятия розничной и мелкооптовой торговли; • торговые центры; • предприятия общественного питания
Объекты здравоохранения и социального обслуживания	• аптеки; • поликлиники
Объекты культурно-досуговой деятельности	1. Объекты спорта и помещения физкультурно-оздоровительного, досугового назначения: • открытые плоскостные сооружения (спортивные сооружения); • здания и сооружения массового спорта и спортивного отдыха (физкультурно-досуговые комплексы, спортивные клубы). 2. Религиозные организации для населения. 3. Клубные и досугово-развлекательные организации
Объекты административно-делового назначения	Здания государственных организаций по обслуживанию общества (многофункциональные центры, органы социального обслуживания, банки)
Объекты рекреации	• парки; • скверы; • аллеи

районы, т.е. окруженные территориями жилого назначения.

Далее необходимо произвести анализ карты размещения объектов транспортной инфраструктуры и определить класс прилегающей, улично-дорожной сети к выявленной территории ЛОЦ. Территории ЛОЦ, прилегающие к магистральным городским дорогам, магистральным улицам общегородского значения и «вылетным» магистралям города исключаются, так как такие локальные центры включают население не только прилегающего района, но и жителей соседних районов или города в целом.

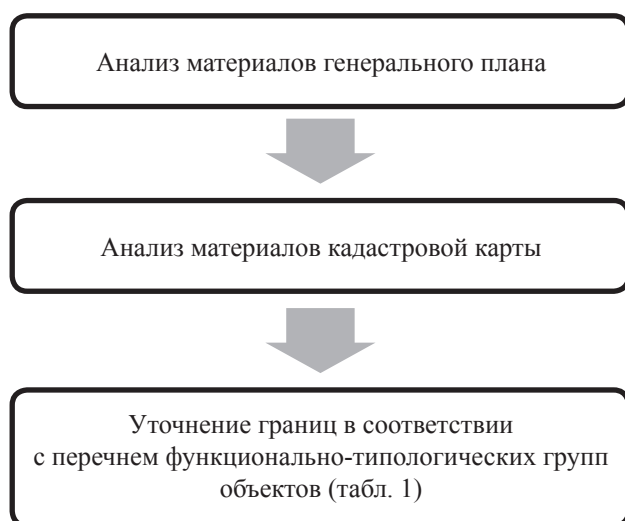


Рис. 2. Алгоритм определения границы локального общественного центра

Шаг 2. Анализ публичной кадастровой карты

После анализа материалов Генерального плана полученные границы локальных центров с помощью публичной кадастровой карты необходимо скорректировать по границам сформированных земельных участков.

Шаг 3. Уточнение границ локальных общественных центров

В случае, если информация о земельных участках отсутствует в публичной кадастровой карте, границы ЛОЦ следует назначать по улично-дорожной сети или существующим естественным границам территории (реки, овраги и т.д.).

Для уточнения границ выявленных локальных центров необходимо провести анализ существующей застройки на наличие основных функционально-типологических групп объектов в соответствии с табл. 1 и сформировать границы по фасаду зданий и сооружений.

Результаты исследования и их анализ

Анализ локальных центров в исследуемых городах

Полицентрическое развитие особенно актуально для крупных городов нашей страны, поэтому для исследования локальных общественных центров были выбраны крупные города, с численностью населения более 250 тыс. человек.

Город Тверь — административный центр Тверской области с численностью населения 412 тыс. человек и общей площадью более 152 км². Город

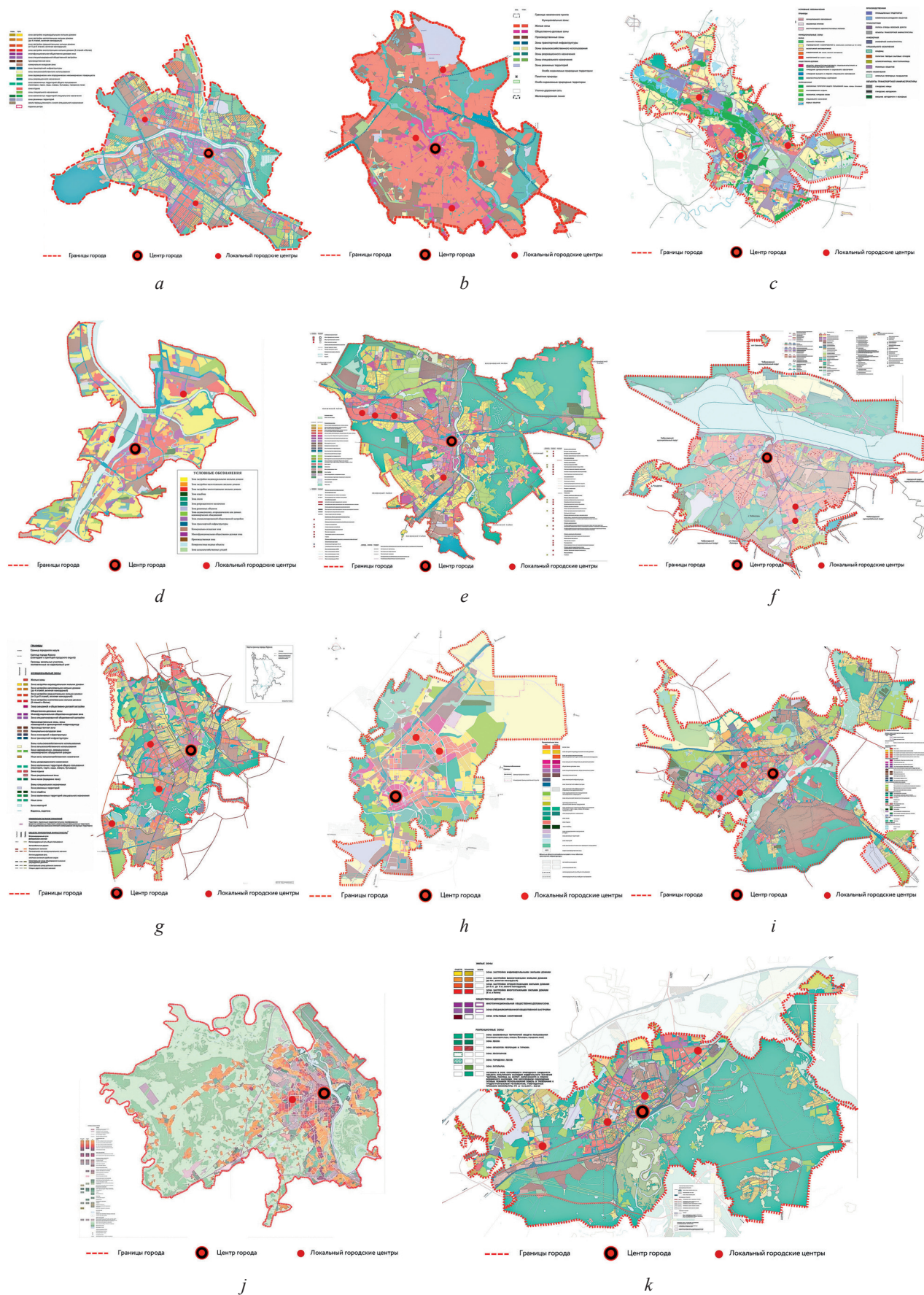
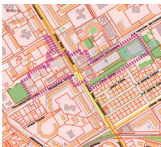
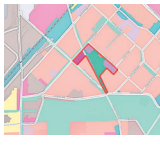
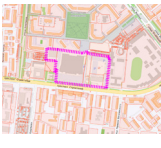
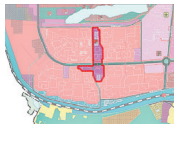
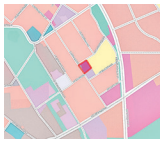
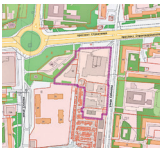
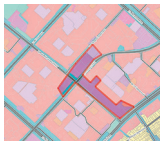
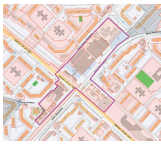
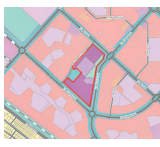
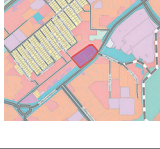
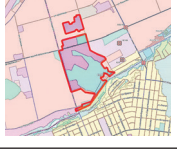
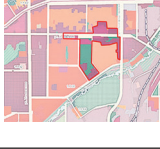
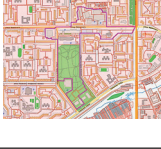
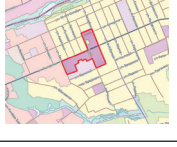
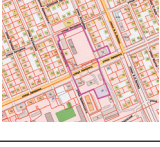
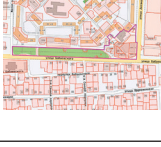
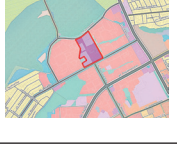
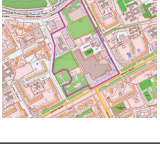
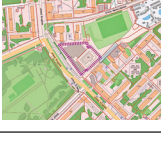


Рис. 3. Крупные города РФ как объект исследования формирования локальных центров: *a* — г. Тверь; *b* — г. Иваново; *c* — г. Брянск; *d* — г. Астрахань; *e* — г. Пенза; *f* — г. Чебоксары; *g* — г. Курск; *h* — г. Оренбург; *i* — г. Липецк; *j* — г. Киров; *k* — г. Владимир

Таблица 2. Границы локальных центров выбранных для исследования городов

Номер	Границы ЛЦ по карте функционального зонирования Генерального плана	Границы ЛЦ по ПКК, с уточнением по функциональному наполнению в соответствии с табл. 1	Номер	Границы ЛЦ по карте функционального зонирования Генерального плана	Границы ЛЦ по ПКК, с уточнением по функциональному наполнению в соответствии с табл. 1	Номер	Границы ЛЦ по карте функционального зонирования Генерального плана	Границы ЛЦ по ПКК, с уточнением по функциональному наполнению в соответствии с табл. 1
1			11			21		
2			12			22		
3			13			23		
4			14			24		
5			15			25		
6			16			26		
7			17			27		
8			18			28		
9			19			29		
10			20					

Тверь разделен на 4 района: Заволжский (единственный по левую сторону реки Волги), Московский, Пролетарский и Центральный.

Город Иваново — административный центр Ивановской области, площадью 104 км² и численностью населения 358 тыс. человек. Город разделен на 4 района: Фрунзенский, Октябрьский, Советский и Ленинский. Центр города расположен на стыке Фрунзенского и Ленинского районов города.

Город Брянск — город областного значения, административный центр Брянской области с численностью населения 375 тыс. человек. Площадь территории города составляет порядка 186 км². Город разделен на 4 района: Бежицкий, Володарский, Советский и Фокинский. Центр города расположен в Советском районе и охватывает всю его центральную часть.

Город Владимир — административный центр Владимирской области, с численностью населения 344 тыс. человек. Площадь территории города составляет порядка 137 км². Город разделен на 3 района: Ленинский, Октябрьский и Фрунзенский. Исторический и административный центр города расположен вокруг Соборной площади в Октябрьском районе.

Город Пенза — город областного значения, административный центр Пензенской области с численностью населения 631 тыс. человек. Площадь территории города составляет порядка 304 км². Город разделен на 4 района: Железнодорожный, Ленинский, Октябрьский и Первомайский. Административный, исторический и торговый центр города расположен по обе стороны Московской улицы.

Город Чебоксары — административный центр городского округа Чебоксары, столица Чувашской республики, с численностью населения 497 тыс. человек. Площадь территории города составляет порядка 251 км². Город разделен на 3 района: Калининский, Ленинский и Московский. Центр города расположен в Ленинском районе и исходит от Красной площади.

Город Курск — административный центр Курской области, с численностью населения 434 тыс. человек. Площадь территории города составляет порядка 208 км². Город разделен на 3 округа: Центральный, Железнодорожный и Сеймский. Центр города расположен по обе стороны Красной площади.

Город Оренбург — административный центр городского округа Оренбург с численностью населения 549 тыс. человек. Площадь территории города составляет порядка 258 км². Город разделен на 2 округа: Северный, который, в свою очередь, разделен на 2 района (Дзержинский и Промышленный), и Южный, образованный Центральным и Ленин-

Таблица 3. Результаты анализа выявленных локальных центров

Город	Номер	Площадь зоны рекреации, га	Количество капитальных объектов	Количество функций	Количество функциональных групп	Площадь, га
Тверь	1	—	14	9	5	16,6
	2	—	6	9	4	8,2
Иваново	3	—	4	9	4	8,3
	4	0,32	4	8	4	3,2
	5	—	17	6	2	3,1
	6	—	3	7	3	0,7
Брянск	7	—	17	5	2	4,2
	8	—	2	7	3	2,5
Владимир	9	0,97	2	8	3	4,1
	10	—	2	9	4	1,1
	11	—	3	8	3	1,4
	12	—	5	6	2	1,4
Пенза	13	—	8	8	4	3
	14	—	5	7	3	2,9
	15	1,58	1	9	4	1
	16	—	1	6	2	0,8
Чебоксары	17	19,42	23	11	5	32,1
	18	—	10	8	4	2,4
Курск	19	—	6	11	4	13,3
	20	—	7	7	3	1,4
	21	—	17	6	3	3,3
Оренбург	22	16,4	15	11	5	27,4
	23	0,9	8	6	3	3
Липецк	24	—	17	10	4	8,7
	25	—	12	8	4	7,7
	26	—	5	5	2	2,2
Киров	27	9,9	21	11	5	24,1
Астрахань	28	1,2	12	9	3	2,5
	29	0,4	16	8	5	2,4

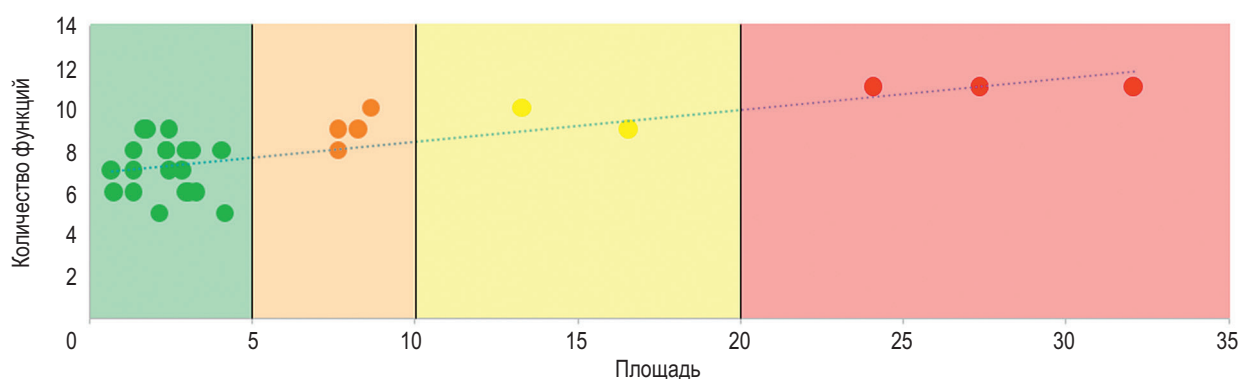


Рис. 4. Кластеризация локальных центров по количеству функций

ским районами. Центр города расположен в Центральном районе.

Город Липецк — административный центр Липецкой области с численностью населения 483 тыс. человек. Площадь территории города составляет порядка 330 км². Город разделен на 4 территориальных округа: Правобережный, Левобережный, Советский и Октябрьский. Центр города расположен в Советском и Октябрьских округах.

Город Киров — административный центр Кировской области с численностью населения 475 тыс. человек. Площадь территории города составляет порядка 170 км². Город разделен на 4 района: Ленинский, Нововятский, Первомайский и Октябрьский. Центром города является Театральная площадь.

Город Астрахань — административный центр Астраханской области с численностью населения 465 тыс. человек. Площадь территории города составляет порядка 208 км². Город разделен на 4 района: Кировский, Советский, Ленинский и Тросовский. Центром города является Астраханский кремль.

Выявленные локальные общественные центры, выбранные для исследования городов, представлены на рис. 3.

На рисунках представлены основные места сосредоточения административных зданий, исторических памятников, культурных учреждений, объектов социального и торгового обслуживания — исторические и административные центры городов. Результаты анализа показывают, что локальные центры присутствуют в различных зонах города — периферии, центре и срединной зоне.

На основе анализа схем функционального зонирования генерального плана были определены первоначальные границы локальных центров в выбранных городах. Границы локальных центров, избранных для исследования городов представлены в табл. 2.

На рисунках в таблице видно, что планировочные параметры выявленных локальных центров разнообразны.

Далее с помощью открытых данных, таких как: данные ЦИАН, Яндекс Недвижимость, Публичная кадастровая карта, GoogleMap, был произведен сбор

Таблица 4. Типология локальных центров

Показатель	1-й тип	2-й тип	3-й тип	4-й тип
Площадь, га	До 5	От 5 до 10	От 10 до 20	Более 20
Количество функций	5–9	8–10	8–10	Более 10
Количество и тип ТЦ, ед.	1-й тип (1–2)	1, 2-й тип (1–3) 3-й тип (1)	1, 2-й тип (1–3) 4-й тип (1)	1, 2-й тип (2–4) 4-й тип (1)
Доля рекреации, %	До 10	До 20	До 30	До 70
Визуализация				

градостроительных характеристик. Результаты анализа выявленных локальных центров представлены в табл. 3.

Для систематизации был проведен кластерный анализ по таким параметрам, как площадь и функциональное наполнение локальных центров.

Кластерный анализ показал выделение 4 кластеров в зависимости от площади локального центра и количества входящих в него функций (рис. 4).

По результатам кластерного анализа в первую группу попали 20 локальных центров из общего количества, во вторую группу — 4 локальных центра, в третью — 2, в четвертую — 3.

Таким образом можно выявить корреляцию между площадью локальных центров и их функциональным наполнением — от увеличения площади зависит функциональное разнообразие локальных центров.

Типология локальных центров

Типология локальных центров была построена в зависимости от их площади, функционального наполнения, доли рекреации, количеству и типу торговых центров (табл. 4).

По результатам проведенной кластеризации выявленных локальных центров и их градостроительных характеристик определена следующая типология локальных общественных центров:

1-й тип — локальные центры, имеющие площадь до 5 га. Представлены группой малоэтажных сооружений, каждое из которых выполняет одну/две функции. Возможно наличие торгового центра 1-го типа (до 10 тыс. м²). Количество функций варьируется от 5 до 9;

2-й тип — локальные центры, имеющие площадь от 5 до 10 га. Характеризуются наличием нескольких торговых центров 1 или 2-го типа (от 10 до 30 тыс. м²) или одного торгового центра 3-го типа (от 30 до 50 тыс. м²). Количество функций от 8 до 10;

3-й тип — локальные центры от 10 до 20 га. Характеризуются наличием нескольких торговых центров 1 или 2-го типа или одного 4-го типа (выше 50 тыс. м²), доминирующих над остальной застройкой и содержащих основное функциональное наполнение. Количество функций от 8 до 10;

4-й тип — локальные центры, имеющие площадь более 20 га. Характеризуются наличием торгового центра 3-го типа с несколькими торговыми центрами 1 или 2-го типа или одного 4-го типа, доминирующего над остальной застройкой, и содержащих основное функциональное наполнение. Значительную часть площади ЛОЦ занимает зона рекреации. Состав общественных функций разнообразен и их количество более 10.

Выводы

Проведенный анализ отечественной и мировой научно-технической литературы показал, что существующей тенденцией является формирование в городах локальных общественных центров. Проанализированы 11 городов, в которых выявлено 29 локальных общественных центров. Выявлена корреляция между площадью локальных центров и их функциональным наполнением. Выявлена типология локальных общественных центров в зависимости от их градостроительных характеристик.

Локальные центры создают зону влияния с повышенной концентрацией различных видов пользователей, таких как: пешие пользователи, пользователи СИМ и велосипедов, пользователи личных автомобилей, а также пользователи общественного транспорта, а функциональное наполнение профиля улиц, рассчитанное на сугубо вертикальные связи городских центров, требует анализа в связи с увеличением различных категорий пользователей в зоне обслуживания локальных центров, а также увеличением общественных функций по мере приближения к ним, что может послужить перспективным направлением для дальнейшей проработки данной темы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Abozeid A.S.M., AboElatta T.A.* Polycentric vs monocentric urban structure contribution to national development // J. Eng. Appl. Sci. 2021. Vol. 68. P. 11. DOI: 10.1186/s44147-021-00011-1
2. *Котов Е.А., Гончаров Р.В., Новиков А.В., Никогосян К.С., Городничев А.В.* Москва: курс на полицентричность. Оценка эффектов градостроительных проектов на полицентрическое развитие Москвы. М. : НИУ ВШЭ, 2016. 36 с.
3. *Поморов С.Б., Жуковский Р.С.* Ретроспектива развития городского полицентризма и теоретических представлений о нем // Архитектон: известия вузов. 2015. № 4 (52). С. 2.
4. *Dadashpoor H., Doorudinia A., Meshkini A.* Polycentricity: The last episodes or the new season? // Progress in Planning. 2023. Vol. 177. P. 100776. DOI: 10.1016/j.progress.2023.100776
5. *Xiong He, Yuquan Zhou, Yujun Yuan.* Exploring the relationship between urban polycentricity and consumer amenity development: An empirical study using Dianping Data in China // Cities. 2025. Vol. 166. P. 106197. DOI: 10.1016/j.cities.2025.106197

6. Лосин Л.А., Калюжный Н.А. Определение потенциала полицентричности городских районов на основе математического моделирования систем городского пассажирского транспорта // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2025. Т. 22. № 1. С. 47–59. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-1-47-59
7. Хмелева Г.А. Современные модели городских агломераций // Вестник Самарского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2015. № 8 (130). С. 163–168.
8. Поморов С.Б., Жуковский С.Б. Анализ современных представлений о полицентрической структуре города // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 1 (54). С. 67–79.
9. Yixiao Wang, Bindong Sun, Tinglin Zhang, Mengying Yu. Can polycentric cities provide more and higher-order consumer amenities? Evidence from shopping malls in China // Applied Geography. 2024. Vol. 164. P. 103198. DOI: 10.1016/j.apgeog.2024.103198
10. Гайкова Л.В. Развитие системы общественного обслуживания в отечественном градостроительстве нового времени // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 7 (54). С. 33–40.
11. Поморов С.Б., Жуковский С.Б. Баланс планирования и самоорганизации в истории становления концепции полицентрических городов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2016. № 3 (30). С. 9–15.
12. Миронова А.И. Развитие системы общественных центров крупных городов // Зеленые технологии в жизненном цикле зданий и сооружений : сб. док. науч.-техн. семинара. М. : МГСУ, 2022. С. 80–85.
13. Хотман О.В. Концепция 15-минутного города как основа устойчивой модели развития мегаполиса в условиях современных рисков // Урбанистика. 2021. № 3. С. 73–85. DOI: 10.7256/2310-8673.2021.3.35086
14. Arslan O., Laporte G. The 15-minute city concept: An operations research perspective and a research agenda, Transportation Research Part E // Logistics and Transportation Review. 2025. Vol. 202. P. 104287. DOI: 10.1016/j.tre.2025.104287
15. Xuan Feng, Ning Jia, Xiaohan Su, Matthew D.A., Yongqi Deng, Shuai Ling. Assessing the applicability of the 15-minute city: Insights from a spatial accessibility perspective // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2025. Vol. 199. P. 104579. DOI: 10.1016/j.tra.2025.104579
16. Birkenfeld C., Victoriano-Habit R., Alousi-Jones M., Soliz A., El-Geneidy A. Who is living a local lifestyle? Towards a better understanding of the 15-minute-city and 30-minute-city concepts from a behavioural perspective in Montréal, Canada // Journal of Urban Mobility. 2023. Vol. 3. P. 100048. DOI: 10.1016/j.urbmob.2023.100048
17. Hui Wang, Ka Ho Tsoi, Becky P.Y. Loo. An assessment framework for 15-minute Cities: Progress worldwide and the impact of urban form // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2025. Vol. 199. P. 104583. DOI: 10.1016/j.tra.2025.104583
18. Akrami M., Wojciech Sliwa M., Karoline Rynning M. Walk further and access more! Exploring the 15-minute city concept in Oslo, Norway // Journal of Urban Mobilit. 2024. Vol. 5. P. 100077. DOI: 10.1016/j.urbmob.2024.100077
19. Yixiao Wang, Bindong Sun, Tinglin Zhang, Mengying Yu. Can polycentric cities provide more and higher-order consumer amenities? Evidence from shopping malls in China // Applied Geography. 2024. Vol. 164. P. 103198. DOI: 10.1016/j.apgeog.2024.103198
20. Закирова Ю.А., Куликова Н.А. Принципы размещения и формирования общественных центров в структуре административных районов г. Казани // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. № 3 (53). С. 96–107.
21. Мирошниченко Г.В., Крашенинников А.В., Шемякина В.А. Локальные центры для территорий комплексного развития крупных городов // Архитектура и современные информационные технологии. 2024. № 3 (68). С. 287–297. DOI: 10.24412/1998-4839-2024-3-287-297
22. Крашенинников А.В. Локальные центры в пространстве мегаполиса // Innovative Project. 2016. Т. 1. № 4 (4). С. 60–65. DOI: 10.17673/IP.2016.1.04.8
23. Макарова М.Г., Ладик Е.И., Киселёв С.Н. Современные тенденции в формировании общественно-деловых пространств // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 94–102. DOI: 10.34031/article_5cb1e65c39c480.46537349
24. Поморов С.Б., Жуковский Р.С. Субцентры крупных и крупнейших городов России и мира. Новосибирск : Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств имени А.Д. Крячкова, 2019. 260 с.

Об авторах: **Нина Васильевна Данилина** — доктор технических наук, член-корр. РААСН, зав. каф. «Градостроительство»; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);**

129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 8945-2217, AuthorID: 686739, Scopus AuthorID: 57192377385, WoS ResearcherID: AAE-7301-2020, ORCID: 0000-0002-9465-6435; e-mail: nina_danilina@mail.ru;

Павел Викторович Тряпкин — инженер 1-й категории; ГАУ «Научно-исследовательский и проектный институт Генерального плана города Москвы»; 125047, г. Москва, ул. 2-я Брестская, д. 2/14; SPIN-код: 6710-4881, AuthorID: 1022547, ORCID: 0009-0009-1530-5011; e-mail: pasha.tryapkin@mail.ru.

REFERENCES

1. Abozeid A.S.M., AboElatta T.A. Polycentric vs monocentric urban structure contribution to national development. *J. Eng. Appl. Sci.* 2021; 68:11. DOI: 10.1186/s44147-021-00011-1
2. Kotov E.A., Goncharov R.V., Novikov A.V., Nikogosyan K.S., Gorodnichev A.V. *Moscow: Course towards polycentricity. Assessing the effects of urban development projects on the polycentric development of Moscow*. Moscow, National Research University Higher School of Economics, 2016; 36. (rus.).
3. Pomorov S.B., Zhukovsky R.S. Retrospective of the development of urban polycentrism and theoretical ideas about it. *Arkhiteton: News of universities*. 2015; 4(52):2. (rus.).
4. Dadashpoor H., Doorudinia A., Meshkini A. Polycentricity: The last episodes or the new season? *Progress in Planning*. 2023; 177:100776. DOI: 10.1016/j.progress.2023.100776
5. Xiong He, Yuquan Zhou, Yujun Yuan. Exploring the relationship between urban polycentricity and consumer amenity development: An empirical study using Dianping Data in China. *Cities*. 2025; 166:106197. DOI: 10.1016/j.cities.2025.106197
6. Losin L.A., Kalyuzhny N.A. Determining the Polycentricity Potential of Urban Areas Based on Mathematical Modeling of Urban Passenger Transport Systems. *Bulletin of the St. Petersburg State University of Railway Engineering*. 2025; 22(1):47-59. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-1-47-59 (rus.).
7. Khmeleva G.A. Modern Models of Urban Agglomerations. *Bulletin of Samara State University. Series: Economics and Management*. 2015; 8(130):163-168. (rus.).
8. Pomorov S.B., Zhukovsky S.B. Analysis of Modern Concepts of the Polycentric Structure of the City. *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2016; 1(54):67-79. (rus.).
9. Yixiao Wang, Bindong Sun, Tinglin Zhang, Mengying Yu. Can polycentric cities provide more and higher-order consumer amenities? Evidence from shopping malls in China. *Applied Geography*. 2024; 164:103198. DOI: 10.1016/j.apgeog.2024.103198
10. Gaykova L.V. Development of the public service system in domestic urban planning of the new era. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*. 2011; 7(54):33-40. (rus.).
11. Pomorov S.B., Zhukovsky S.B. The Balance of Planning and Self-Organization in the History of the Formation of the Concept of Polycentric Cities. *Academic Bulletin of the UralNIIProekt RAASN*. 2016; 3(30):9-15. (rus.).
12. Mironova A.I. Development of the System of Public Centers of Large Cities. *Green Technologies in the Life Cycle of Buildings and Structures : Collection of Papers from the Scientific and Technical Seminar*. Moscow, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 2022; 80-85. (rus.).
13. Notman O.V. The Concept of a 15-Minute City as the Basis for a Sustainable Model of Megalopolis Development in the Context of Modern Risks. *Urban Studies*. 2021; 3:73-85. DOI: 10.7256/2310-8673.2021.3.35086 (rus.).
14. Arslan O., Laporte G. The 15-minute city concept: An operations research perspective and a research agenda, Transportation Research Part E. *Logistics and Transportation Review*. 2025; 202:104287. DOI: 10.1016/j.tre.2025.104287
15. Xuan Feng, Ning Jia, Xiaohan Su, Matthew D.A., Yongqi Deng, Shuai Ling. Assessing the applicability of the 15-minute city: Insights from a spatial accessibility perspective. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2025; 199:104579. DOI: 10.1016/j.tra.2025.104579
16. Birkenfeld C., Victoriano-Habit R., Alousi-Jones M., Soliz A., El-Geneidy A. Who is living a local lifestyle? Towards a better understanding of the 15-minute-city and 30-minute-city concepts from a behavioral perspective in Montréal, Canada. *Journal of Urban Mobility*. 2023; 3:100048. DOI: 10.1016/j.urbmob.2023.100048
17. Hui Wang, Ka Ho Tsoi, Becky P.Y. Loo. An assessment framework for 15-minute Cities: Progress worldwide and the impact of urban form. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2025; 199:104583. DOI: 10.1016/j.tra.2025.104583
18. Akrami M., Wojciech Sliwa M., Karoline Rynning M. Walk further and access more! Exploring the 15-minute city concept in Oslo, Norway. *Journal of Urban Mobilit*. 2024; 5:100077. DOI: 10.1016/j.urbmob.2024.100077
19. Yixiao Wang, Bindong Sun, Tinglin Zhang, Mengying Yu. Can polycentric cities provide more and higher-order consumer amenities? Evidence from shopping malls in China? *Applied Geography*. 2024; 164:103-198. DOI: 10.1016/j.apgeog.2024.103198

20. Zakirova Yu.A., Kulikova N.A. Principles of placement and formation of public centers in the structure of administrative districts of Kazan. *Bulletin of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*. 2020; 3(53):96-107. (rus.).
21. Miroshnichenko G.V., Krashennnikov A.V., Shemyakinand V.A. Local centers for the territories of integrated development of large cities. *Architecture and modern information technologies*. 2024; 3(68):287-297. DOI: 10.24412/1998-4839-2024-3-287-297 (rus.).
22. Krashennnikov A.V. Local centers in the space of a megalopolis. *Innovative Project*. 2016; 1:4(4):60-65. DOI: 10.17673/IP.2016.1.04.8
23. Makarova M.G., Ladik E.I., Kiselev S.N. Modern trends in the formation of public and business spaces. *Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2019; 4:94-102. DOI: 10.34031/article_5cb1e65c39c480.46537349 (rus.).
24. Pomorov S.B., Zhukovsky R.S. *Subcenters of large and largest cities of Russia and the world*. Novosibirsk, Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts named after A.D. Kryachkov, 2019; 260. (rus.).

About the authors: **Nina V. Danilina** — Doctor of Engineering Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Head of the Urban Planning Department; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 8945-2217, AuthorID: 686739, Scopus AuthorID: 57192377385, WoS ResearcherID: AAE-7301-2020, ORCID: 0000-0002-9465-6435; e-mail: nina_danilina@mail.ru;

Pavel V. Tryapkin — 1st category engineer; **State Autonomous Institution of the City of Moscow “Research and Design Institute of the General Plan of the City of Moscow”**; 2/14 2-ya Brestskaya St., Moscow, 125047, Russian Federation; SPIN-code: 6710-4881, AuthorID: 1022547, ORCID: 0009-0009-1530-5011; e-mail: pasha.tryapkin@mail.ru.

ВОЗРОЖДЕНИЕ ПАЛЬМИРЫ ОТ РУИН К ЖИВОМУ ГОРОДУ

Аммар Аасем

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);
г. Москва, Российская Федерация

Сирия — страна с богатым историческим прошлым — погибает в безрассудной междоусобице невежественных фанатов. Символом останова суицида может стать возвращение Пальмиры роли сакрального символа единства страны. Ее восстановление как культурно-политического и хозяйственного центра потребует всего лишь останова военных действий, организацию орошения, коммуникаций, заселения пустынных территорий центрального региона. Архитектурные руины достаточно будет музеефицировать и вернуть жилые кварталы в античный город. Гораздо существеннее в современных условиях осуществить концепцию хозяйственного реосвоения Сирийской пустыни, занимающей сегодня большую часть страны.

Материалы и методы исследования: исследование основано на систематическом обзоре академических публикаций, международных технических отчетов и примеров восстановления городов после конфликтов. Использован сравнительно-аналитический метод выявления опыта, применимого к Пальмире. В его основу положены принципы организации городского ландшафта и регионального планирования, анализ картографических данных для определения приоритетов в восстановлении, транспортной интеграции и использовании водных источников, а также решения вопросов типологической реконструкции жилой много- и малоэтажной застройки.

Ключевые слова: Пальмира, культурно-исторический центр, реосвоение пустынных территорий, орошение, синтез античных руин и современной архитектуры, коммуникации

Для цитирования: Аасем А. Возрождение Пальмиры от руин к живому городу // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 33–42. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.33-42

REVIVAL OF PALMYRA FROM THE RUINS TO A VIBRANT CITY

Ammar Aasem

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation

Syria — a country with a rich historical heritage — is perishing in a reckless internal conflict fueled by ignorant fanaticism. A symbolic point of reversal in this self-destruction could be the restoration of Palmyra as a sacred emblem of national unity. Reviving the city as a cultural, political, and economic center would require, above all, the cessation of military hostilities, the establishment of irrigation systems, modern infrastructure, and the resettlement of the desert territories in the central region. The architectural ruins themselves would merely need to be preserved as a museum complex, while the residential quarters of the ancient city could be re-established.

Far more important under current conditions, however, is the implementation of a comprehensive strategy for the economic revitalization of the Syrian Desert, which today occupies the greater part of the country.

Materials and Methods: the study is based on a systematic review of academic publications, international technical reports, and documented examples of post-conflict urban reconstruction. A comparative-analytical method was employed to identify approaches applicable to the case of Palmyra. The methodology relies on principles of urban landscape organization and regional planning, analysis of cartographic data to determine priorities for reconstruction, transport integration, and the use of water resources, as well as addressing typological reconstruction issues in both multi-storey and low-rise residential development.

Keywords: Palmyra, cultural and historical center, redevelopment of desert territories, irrigation, synthesis of ancient ruins and contemporary architecture, infrastructure

For citation: Aasem A. Revival of Palmyra from the Ruins to a Vibrant City. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2025; 4:33-42. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.33-42 (rus.).

Введение

Город Пальмира расположен в самом сердце сирийской пустыни и отличается уникальным местоположением, сочетающим суровую пустынную природу с редкими плодородными оазисами, поддер-

живающими тонус Великого шелкового пути, что способствовало его развитию на протяжении веков.

Пальмира — это не только археологический памятник с охраняемым историческим центром, но и существовавшая некогда обитаемая зона с жилыми кварталами, окружающими древний архитектурный



Рис. 1. Разрушения Пальмиры

комплекс, где местные жители вели повседневную жизнь [1].

Исторически Пальмира — оазис Сирийской пустыни к северо-востоку от Дамаска, один из важнейших культурных и торговых центров древнего мира.

Город процветал благодаря караванным путям, а пальмирцы были известными купцами, создававшими колонии вдоль Шелкового пути и торговавшими по всей Римской империи. Культура и архитектура Пальмиры испытывали сильное влияние греко-римских традиций, создавших уникальную цивилизацию, объединившую восточные, западные и местные явления культуры (рис. 1).

К III в. н. э. город превратился в процветающий центр городской культуры. Его расцвет пришелся на 260–270-е гг., когда король Оденат разбил персидского царя Шапура I. После него власть перешла к царице Зенобии, которая восстала против Рима и основала независимую Пальмирскую империю.

В 273 г. н. э. римский император Аврелиан разрушил город, но позже император Диоклетиан восстановил его в меньших размерах.

В IV в. жители приняли христианство, и город стал епископской резиденцией.

В 634 г. Пальмира была завоевана мусульманами под предводительством Халида ибн аль-Валида. В эпоху Омейядов город приобрел стратегическое значение.

В периоды Айюбидов и Мамлюков была перестроена крепость и форт Фахр ад-Дина II.

В XIV в. Тимур разрушил город, и это положило конец его историческому значению. Во времена Османской империи Пальмира подверглась запустению и миграции населения, что значительно ослабило ее столичный статус [1, 2].

Архитектура Пальмиры отчетливо делится на археологическую часть с сохранившимися древнеримскими памятниками высокой художественной

ценности и современный жилой массив, сформировавшийся с исламской эпохи до наших дней. Современная застройка характеризуется архитектурным стилем, использующим местные материалы и адаптированным к жаркому пустынному климату.

Пригороды и селения вокруг Пальмиры застраивались постепенно, с применением известняка и глины, а планировка внутреннего пространства жилища традиционно ориентирована на защиту от интенсивного солнечного излучения.

Функциональная связь между древним археологическим центром и современным городом выражена в окружающих оазисах, основанных на подземных водах и термальных источниках.

Эти источники исторически служили местом отдыха и лечения. Они остаются одним из важнейших природных ресурсов региона, однако их потенциал в лечебном туризме до сих пор недостаточно реализован, несмотря на значительный интерес к ним в современных архитектурных исследованиях, особенно в контексте реконструкции и устойчивого развития (рис. 2). К тому же значительно снизился дебет источников.

Исторические и архитектурные исследования показывают, что традиционные формы жилой среды в Пальмире напрямую обусловлены жарким климатом пустыни.

Традиционные дома отличаются толстыми стенами и небольшими оконными проемами, а также использованием внутренних дворов, создающих тенистые атриумные пространства и способствующих естественной вентиляции — здесь отражена мудрость экологической адаптации, которой следовали жители региона на протяжении веков [3].

С развитием города и ростом численности населения современные кварталы стали расширяться часто без регулярного планирования, с возведением жилых зданий более современного типа, которые страдают от дефицита базовой инфраструктуры

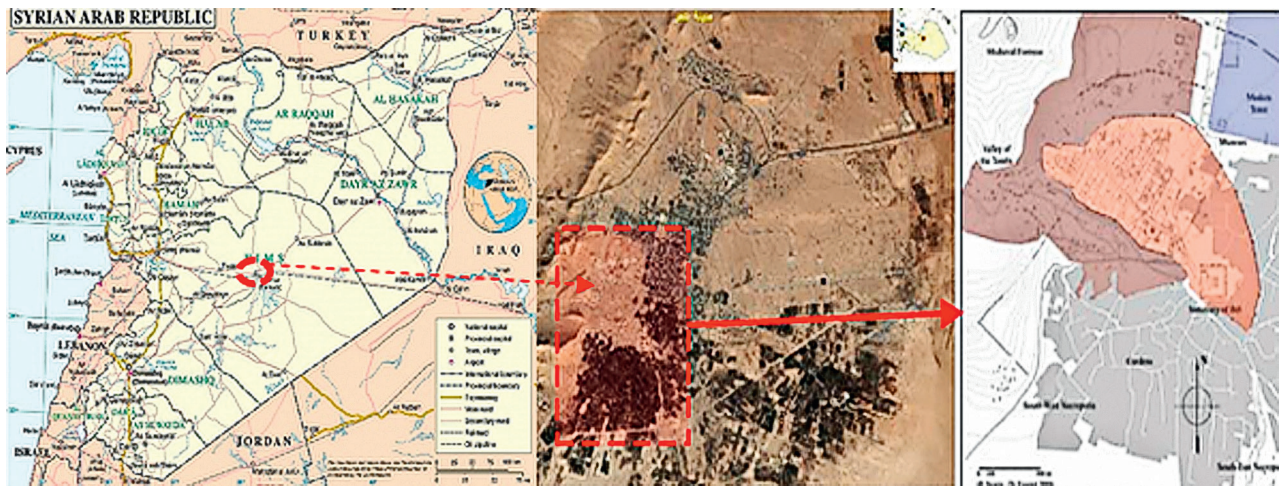


Рис. 2. Связь Пальмиры с окружающей средой

и коммунальных услуг, особенно после лет войны и разрушений, постигших город.

С другой стороны, археологический массив Пальмиры представляет собой уникальный архитектурный феномен, известный своей регулярной планировкой, включающей ортогональные улицы, площади, храмы и общественные бани, свидетельствующие о культурном и техническом благополучии города в пору его расцвета (рис. 3).

К сожалению, жилой массив подвергся большим разрушениям, что привело к утрате значительной части материального наследия города.

Несмотря на эти удары судьбы, современные архитектурные исследования показывают, что интеграция археологического наследия с современной жилой застройкой и использование природных ресурсов, таких как термальные источники и оазисы, обеспечение водоснабжения представляют собой

стратегическую возможность для укрепления стабильного развития Пальмиры.

Оазисы могут играть важную экологическую и социальную роль, обеспечивая умеренный климат и водные ресурсы, поддерживающие традиционное земледелие и туристическую активность, а также повышение качества жизни населения [4].

Анализ научной литературы по современному состоянию Пальмиры и аналогичным регионам, пострадавшим от конфликтов, показывает, что сохранение архитектурного и природного наследия должно сочетаться с удовлетворением жилищных и социальных потребностей нынешних жителей.

Для этого требуется комплексное архитектурное планирование, включающее восстановление поврежденных домов с учетом местного колорита и сложившейся стилистики, развитие дорожной инфраструктуры, связывающей Пальмиру с соседними



Рис. 3. Генплан жилой застройки Пальмиры современный (а) и план древнего археологического ансамбля (b)

районами, и стимулирование инвестиций в лечебный туризм на основе термальных источников в рамках проектов, поддерживающих местную экономику и сохраняющих историческую идентичность города.

Материалы и методы исследования

Пальмира находится на окраине Сирийской пустыни и окружена цепью оазисов и пустынных равнин [5, 6].

Пальмира — это городской центр, расположенный между пустынными районами и малыми водными поверхностями, который служит связующим звеном между провинциями Хомс, Ракка и Дейр-эз-Зор.

Это определяет и его стратегическое значение, связывая восток Сирии с западом, а север с югом.

Кроме того, Пальмира является стратегически важным транспортным узлом центральной Сирии, где дорожное сообщение играет ключевую роль в укреплении ее статуса регионального административного и экономического центра.

Создание паутинообразной сети дорог с Пальмирой в центре, которая соединяет важнейшие прибрежные города Хомс, Ракку, Хасаку и Дейр-эз-Зор, формирует жизненно важную инфраструктуру, способствующую укреплению экономических и социальных связей между регионами (рис. 4).

Трассы этой сети выходят за пределы Сирии, достигая соседних стран, таких как Ирак, Турция, Ливан, Израиль, Транс-Иордания, что усиливает роль Пальмиры как ключевого звена в региональной и глобальной торговой системе.

Помимо автодорог, предлагается развивать современную инфраструктуру, включая железнодорожные сети, связывающие крупные города, а также подземный метрополитен для облегчения перемещения жителей и грузов внутри и за пределами города.

Это повысит эффективность транспортировки и снизит логистические издержки. Ожидается, что такое развитие превратит прилегающие пустынные районы Пальмиры в процветающие урбанистические территории, стимулируя инвестиции в их развитие, одновременно обеспечивая функционирование города как экономического и социального центра с сохранением его культурной и исторической идентичности.

Эта интеграция дорожного сообщения в современных транспортных технологиях является ключевым фактором в восстановлении Пальмиры как главного центра Сирии и осевого региона, способствуя развитию новых торговых и туристических направлений, повышающих уровень жизни населения и стимулирующих развитие среды обитания.

Примером служит Дубай — образец комплексного развития инфраструктуры, связывающей город



Рис. 4. Предложение по организации транспортной связи Пальмиры с окружающими селениями Сирии

с его пригородами и пустынными районами, а также с соседними странами, такими как Саудовская Аравия и Оман [7].

В Дубае создана современная сеть дорог, включающая скоростные автомагистрали и подземное метро, обслуживающие весь город.

Дополнительно здесь была построена международная железная дорога, связывающая ОАЭ с другими странами Персидского залива, что ускорило движение грузов и туристов, способствовало росту экономики.

Этот пример показывает, как интеграция пустынных территорий с городскими центрами и увеличение инвестиций могут преобразить регион, превратив его в процветающую экономическую зону.

Развитие комплексной дорожной сети с центром в Пальмире является основой для укрепления экономического и социального развития региона, особенно в постконфликтный период восстановления.

Эффективное транспортное сообщение между Пальмирой и соседними провинциями облегчает перемещение людей и товаров, повышая статус города как исторического и административного центра, способного привлекать инвестиции и туризм.

С культурной точки зрения разрушенные террасами археологические объекты можно превратить в музеи под открытым небом, подобно египетскому опыту с пирамидами и храмовыми комплексами.

Это заложит основы уникального туристического опыта, сочетающего живую историю и пустынную природу, что оживит культурное наследие и создаст новые рабочие места благодаря развитию туризма.

Таким образом, современная дорожная сеть и использование археологических зон для образовательных и развлекательных целей обеспечат условия для превращения Пальмиры из пострадавшего города в комплексный культурный проект, отражающий дух традиций и современности одновременно (рис. 5).

В Пальмире следы жилых кварталов отличаются ортогональной планировочной структурой,



Рис. 5. Концептуальный проект создания открытого музея в Пальмире

явно отражающей римскую регулярную систему застройки.

Главные улицы образуют перпендикулярные пересечения, ориентированные с востока на запад и с севера на юг, что формирует систему колоннад, проспектов, обеспечивающих удобство передвижения и четкую организацию городских пространств [8].

Такая регулярная планировка воплощает классический римский подход к градостроительству, направленный на гармоничное и упорядоченное распределение зданий и общественных пространств — площадей, рынков, храмов. Это придавало Пальмире особый облик, отличающий ее от стихийной планировки древних городов Ближнего Востока.

Однако данная планировочная сеть понесла серьезные утраты в годы конфликта.

Инфраструктура значительно деградировала: улицы подверглись разрушению и эрозии покрытия, нарушилась организация транспортного движения, что привело к снижению качества основных коммунальных услуг и серьезным затруднениям в повседневной жизни горожан.

Социально-экономические условия, необходимые для восстановления разрушенного города, предполагают создание стабильной среды, обеспечивающей базовые потребности нынешних жителей и вынужденных переселенцев: достойное жилье, питьевую воду, электричество, канализацию, а также рабочие места и развитие местной экономики, опирающейся на туризм и культурное наследие.

Важнейшим условием развития города является возрождение экономических функций, особенно в традиционном сельском хозяйстве и лечебно-оздоровительном туризме, связанном с горячими источниками.

В этом контексте проведены исследования, направленные на разработку комплексных планов реконструкции с оценкой ущерба, определением приоритетов в восстановлении жилых и исторических зданий, а также модернизацией дорожной сети и инженерной инфраструктуры в соответствии с прогнозируемым ростом.

Эти проекты опираются на опыт восстановления исторических городов, таких как Алеппо (Сирия), Краков (Польша), Сталинград (СССР), Дрезден (Германия), где удалось сочетать традиционную планировку с требованиями современной экономики, сохранив историческую идентичность [9].

Жилая застройка Пальмиры отражает адаптацию населения к суровым условиям пустыни с высокой температурой и песчаными бурями.

Одним из характерных типов зданий в этой среде является купольное глинобитное жилье — автономные дома, возводимые из местных материалов: глины и камня (рис. 6).

Толстые стены и заостренные купола снижают теплопередачу, поддерживая прохладу летом, улучшая вентиляцию и сокращая площадь, подверженную прямому солнечному излучению.

Однако отсутствие проектной архитектурной методики привело к стихийному распространению таких построек, особенно в условиях гражданской войны, что сформировало хаотичные глинобитные поселки в окрестностях Пальмиры и на юго-востоке Алеппо.

Опыт, подобный работам египетского архитектора Хасана Фатхи, показал, что данный тип жилья можно модернизировать, применяя современные строительные материалы, сохраняя его климатическую эффективность и соответствие местным условиям [10].

Первые жилые кварталы Пальмиры имели организованную планировочную структуру: дома располагались близко друг к другу и объединялись общими ограждающими стенами, что снижало прямое воздействие солнечных лучей и формировало узкие улочки, обеспечивавшие тень.

Использовались также закрытые внутренние дворы, атриумы, которые позволяли осуществлять естественную вентиляцию, защищали жителей от пустынных ветров и предоставляли приватные пространства для отдыха.



Рис. 6. Глинобитное купольное сельское жилище в окрестностях Пальмиры

Этот архитектурный стиль был не только выражением художественного вкуса и практичности, но и примером экологической грамотности, позволявшей жителям адаптироваться к суровым климатическим условиям с помощью простых и локально доступных средств.

В этом контексте можно говорить о роли жилого навахи, или «махалля» (в среднеазиатской терминологии) как основы планировочной структуры арабских городов.

Несмотря на то, что традиционный навахи являлся эффективной моделью организации жилой застройки и обеспечения приватности в старинных городах, он перестал полностью удовлетворять потребности современного жилищного развития, особенно в условиях роста плотности населения и появления многоэтажных зданий.

Планировка навахи-махалля основана на малоэтажных жилых единицах — обычно в один или два этажа — с возможностью естественной вентиляции и прямого освещения, а также с формированием социальной сплоченности благодаря узким улицам и небольшим общим пространствам.

Однако с расширением городов и ростом спроса на жилье возникла необходимость строительства многоэтажных домов для размещения большего числа жителей на той же площади.

Этот процесс требует новых планировочных решений: более широких дорожных сетей, современной инженерной инфраструктуры, лифтов, парковок — всего того, что трудно интегрировать в тра-

диционную структуру навахи, лишенную больших свободных пространств и возможности гибкой планировки.

Кроме того, традиционная модель сталкивается с проблемами обеспечения приватности и санитарно-экологических норм, необходимых в современных жилых комплексах, такими как снижение уровня шума, улучшение качества воздуха и освещения, что становится более сложным с увеличением этажности и плотности застройки [11].

Поэтому, несмотря на историческую и культурную ценность, навахи нуждается в модернизации или интеграции в современные планировочные системы, способные соответствовать темпам городского роста и требованиям современной жизни.

Вместе с тем можно эффективно использовать структурные принципы традиционной «ковровой» застройки навахи при проектировании современных жилых кварталов, сохраняя его характерные организационные особенности: плотную застройку и узкие улицы, способствующие формированию естественных потоков воздуха, а также вариацию высот зданий для создания перепадов давления, что обеспечивает затенение и движение воздуха.

Ориентация городских пространств в соответствии с преобладающими направлениями ветров способствует усилению естественной вентиляции внутри жилых помещений и на улицах, снижая зависимость от искусственного кондиционирования, улучшая качество воздуха и уменьшая перегрев в жарком климате (рис. 7).

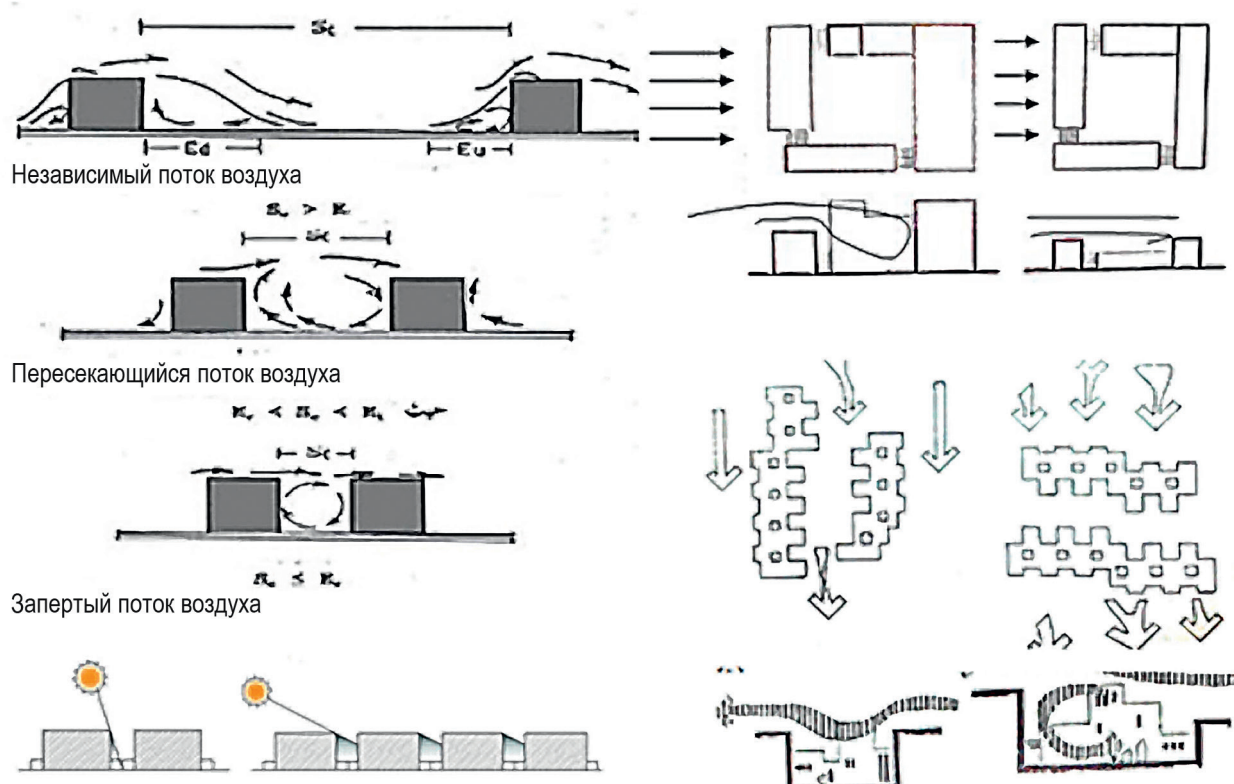


Рис. 7. Влияние геометрии «ковровой застройки» на аэродинамику жилых районов и эффективность естественной вентиляции

Защиту от нежелательных северных ветров можно обеспечить посредством озелененной защитной полосы, которая снижает скорость ветра и рассеивает его потоки.

Высота такого зеленого пояса позволяет уменьшить скорость ветра примерно на 50 % при расстоянии от 10 до 20 высот насаждений.

Кроме того, открытые пространства и проходы между жилыми блоками могут быть использованы для создания естественных «воздушных насосов», обновляющих воздух и понижающих температуру, что повышает тепловой комфорт жителей и сохраняет экологическую устойчивость.

Такое сочетание традиционного и современного подходов позволяет достичь баланса между необходимой плотностью застройки и климатической адаптацией, сохраняя культурную идентичность города.

При этом возможно интегрировать современные строительные технологии в историческую архитектурную среду для создания жилья, которое одновременно сохраняет исторический облик Пальмиры и обеспечивает комфортные условия для ее жителей, что, в свою очередь, способствует восстановлению города.

Город Пальмира и его окрестности обладают уникальными природными ресурсами, среди которых особое место занимают горячие источники — одно

из важнейших природных сокровищ в пустынном регионе.

Эти источники, известные своими лечебными свойствами еще с древности, представляют ценную возможность для развития сектора лечебно-оздоровительного туризма, который может сыграть значительную роль в активизации местной экономики и укреплении позиции города как комплексного туристического центра, сочетающего культурное наследие и природные лечебные факторы.

С философской точки зрения необходимо сохранять связь между настоящим и прошлым, ведь, как говорится, если хочешь уничтожить целый народ — начни с разрушения его наследия и идентичности.

В прошлом использование горячих и серных вод в массаже и лечении было неотъемлемой частью медицинских традиций Пальмиры и ее окрестностей.

Местные жители применяли эти природные источники с уникальными целебными свойствами для лечения множества заболеваний.

Серная вода использовалась, в частности, для терапии заболеваний дыхательной системы, кожных болезней, болей в суставах и ревматизма, так как считалось, что ее химический состав способствует улучшению кровообращения и снижению риска воспалений.

Известность горячих источников Пальмиры восходит к глубокой древности — они были местом паломничества и притяжения для тех, кто искал отдых и исцеление.

Об их использовании упоминают исторические источники, относящиеся еще к римскому и византийскому периодам, что подчеркивает неизменную ценность этих ресурсов на протяжении веков.

Среди наиболее известных горячих источников Пальмиры — источник Афка, также называемый «Серная купальня».

Он расположен в пределах города и считается одной из причин его основания. Вода источника вытекает из пещеры в горе Аль-Мунтар и отличается постоянным серным минеральным составом, поддерживая температуру 33 °С круглый год.

Рациональное использование этих природных богатств через создание современных специализированных лечебных центров может значительно расширить возможности восстановления города и его успешного развития.

Такое направление добавит Пальмире новое измерение ее роли для региона, объединяя бальнеологическое лечение с археологическим и историческим наследием в уникальном туристическом опыте, который привлечет как путешественников, так и пациентов.

Результаты исследования

Восстановление города Пальмира представляет собой редкую возможность вернуть к жизни мировое культурное наследие и подтвердить способность человеческих сообществ преодолевать катастрофы и разрушения посредством комплексного планирования и устойчивого развития.

Пальмира — это не просто древний археологический город, а городской организм с тысячелетними историческими и культурными корнями, где традиционная городская ткань и социальная идентичность жителей являются краеугольным камнем процесса восстановления.

Этот процесс требует глубокого изучения концепции жилых навахи (махалля) — основных организационных единиц жилья в городе, которые на протяжении веков демонстрировали уникальную экологическую адаптацию к жаркому пустынному климату, используя местные строительные материалы, такие как глина и мелкий камень, для обеспечения тепловой изоляции и эффективной естественной вентиляции [12, 13].

Однако современные градостроительные тенденции создали новые вызовы для этой жилой модели, особенно в условиях роста плотности населения и появления многоэтажных зданий.

Это потребовало переоценки методов планировки и организации открытых пространств внутри навахи с целью адаптации к современным требованиям без утраты культурных и экологических свойств.

В этой связи в исследовании подчеркивается важность использования традиционного распределения навахи при ориентации современных жилых кварталов для обеспечения естественной вентиляции и повышения энергоэффективности, используя потоки ветра и узкие улочки, создающие эффект естественных вентиляционных каналов, что снижает летнюю жару и обеспечивает здоровую и постоянную комфортную среду проживания.

В инфраструктурной сфере исследование отмечает необходимость создания развитой сети дорог, в центре которой будет находиться Пальмира, соединяя ее с крупнейшими прибрежными городами Сирии — Тартусом и Латакией, а также с городами внутренней части страны — Хомс, Ракка, Хасеке и Дейр-эз-Зор, вплоть до иракской границы.

Такое транспортное соединение — это не просто средство передвижения, а стратегический механизм, усиливающий экономическую и социальную роль Пальмиры как логистического и культурного узла, а также способствующий ее повторной интеграции в региональную и международную торговую сеть.

Дополнительно предлагается изучить возможности строительства железнодорожных и метрополитеновых сетей, опираясь на мировой опыт городов, таких как Дубай и Каир, где развитая транспортная инфраструктура превратила прилегающие пустынные территории в процветающие городские центры с разнообразными экономическими возможностями.

Это может превратить Пальмиру из изолированного города в динамичный региональный центр.

В природном аспекте горячие и серные источники Пальмиры являются уникальным лечебным ресурсом с неиспользованным потенциалом для развития лечебно-оздоровительного туризма [14]. Серьезную проблему представляет изыскание и использование источников воды, опираясь на современный опыт организации орошения.

Превращение этих источников в современные лечебные комплексы, сочетающие оздоровительный туризм с освоением культурного и исторического наследия города, может создать комплексную модель экономического и социального роста и укрепить позиции Пальмиры на мировой туристической карте.

Заключение

Становится очевидным, что восстановление Пальмиры — это не просто процесс реставрации материальных сооружений, а комплексный цивилизационный проект, требующий целостного видения, объединя-

ющего сохранение историко-культурного наследия с ответом на современные вызовы жизни.

Пальмира с ее богатейшей историей и стратегическим положением представляет собой уникальный пример города, который может возродиться, опираясь на свои природные, человеческие и культурные ресурсы.

Возрождение традиционной городской ткани через использование глинобитного строительства и системы навахи повышает способность адаптироваться к пустынному климату, создавая здоровую среду для проживания.

Одновременно развитие современной транспортной инфраструктуры: скоростных автомагистралей, железнодорожных линий и, возможно, метрополитена — позволит интегрировать Пальмиру в региональную и международную транспортную сеть, превратив ее в динамичный городской центр, привлекательный для экономических и туристических инвестиций.

Кроме того, горячие источники и водные природные ресурсы Пальмиры представляют собой ценнейший потенциал для развития сельского хозяйства, обеспечения питьевой водой новых поселений, лечебно-оздоровительного туризма, который при условии создания современных медицинских комплексов может

стать одним из ключевых драйверов местной экономики [15].

Сочетание культурного, развлекательного и медицинского туризма открывает новые горизонты для роста города и создания рабочих мест.

Однако реализация этой концепции невозможна без учета социальных и экономических потребностей жителей, пострадавших от войны и разрушений.

Планы восстановления должны быть направлены на повышение качества жизни, обеспечение базовых услуг, образования и здравоохранения, а также на активное вовлечение местного сообщества в процессы планирования и реализации.

Таким образом, Пальмира способна стать живым примером того, как человечество может преодолеть бедствия и возродить свою цивилизацию на прочных основаниях, объединяющих традиции и современность.

Успех этого проекта станет мощным сигналом всему миру о значении охраны культурного наследия и использовании местного потенциала для построения процветающего будущего.

Восстановление Пальмиры — это не только возведение каменных строений, но и возрождение духа, формирование цельной городской модели, где история бережно сохранена, а будущее открыто настежь.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Аль-Наими Х.* Тдмур: древний город между прошлым и настоящим // Журнал арабского культурного наследия. 2017. № 3. С. 23–35.
2. *Аль-Тахер М.* Градостроительство в древнем Тдмуре: аналитическое исследование // Журнал цивилизационных исследований. 2019. № 2. С. 56–70.
3. *Аль-Абади С.* Лечебный туризм в Тдмуре: возможности и проблемы // Журнал туризма и археологии. 2020. № 1. С. 12–24.
4. *Аль-Хамади Н.* Градостроительное наследие Тдмура и его влияние на устойчивое развитие // Журнал строительство и архитектура. 2018. № 4. С. 45–58.
5. *Хусейн Р.* Экологический анализ городской среды Тдмура // Журнал экологии и развития. 2021. № 3. С. 33–44.
6. *Смит Дж.* Городское планирование и сохранение наследия в Пальмире // Журнал ближневосточной археологии. 2016. Т. 10. № 2. С. 100–115. DOI: 10.12345/jmea.2016.10.2.100-115
7. *Браун А., Тейлор Р.* Роль термальных источников в лечебной практике древней Пальмиры // Журнал исторической географии. 2018. Т. 25. № 4. С. 340–355. DOI: 10.12345/jhg.2018.25.4.340-355
8. *Джонсон М.* Устойчивое городское развитие в городах в пустыне: случай Пальмиры // Журнал городских исследований. 2019. Т. 45. № 1. С. 78–92. DOI: 10.12345/usj.2019.45.1.78-92
9. *Уильямс К.* Послевоенная реконструкция Пальмиры: проблемы и стратегии // Международный журнал исследований наследия. 2020. Т. 26. № 3. С. 200–215. DOI: 10.12345/ijhs.2020.26.3.200-215
10. *Андерсон Л.* Туризм и экономическое возрождение Пальмиры // Журнал устойчивого туризма. 2021. Т. 29. № 7. С. 905–920. DOI: 10.12345/jst.2021.29.7.905-920
11. *Смирнова Е.В., Кузнецов И.П.* Наблюдение за ресурсами на развитие туризма в Пальмире // Туризм и региональное развитие. 2019. № 2. С. 67–80. DOI: 10.12345/trr.2019.2.67-80
12. *Моришита, Наоми, Салах Хадж Исмаил, Рукие Четин.* Предварительное проектирование переходного сельского жилья для Сирии с использованием переработанного строительного мусора из разрушенных зданий // Серия конференций IOP: Материаловедение и инженерия. Издательство IOP, 2017. Т. 245. № 8.
13. *Стоунман Р.* Пальмира и ее империя: восстание Зенобии против Рима. Мичиган : Изд-во Мичиганского университета, 1994.

14. *Ибрагим С. и др.* Анализ земляной архитектуры исторического наследия на основе моделирования как адаптивных убежищ для беженцев (пример: купола Северной Сирии) // Международный архив фотограмметрии, дистанционного зондирования и пространственной информации. 2020. № 44. С. 365–372.
15. *Ezzat A.* Традиционные строительные материалы и методы в сирийской пустыне: пример Пальмиры // *Journal of Cultural Heritage*. 2015. № 12 (3). С. 234–250.

Об авторе: **Аммар Аасем** — аспирант кафедры архитектуры Института архитектуры и градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; e-mail: asemamar95@gmail.com.

REFERENCES

1. Al-Naimi H. Tdmur: An Ancient City Between Past and Present. *Journal of Arab Cultural Heritage*. 2017; 3:23-35.
2. Al-Taher M. Urban development in ancient Tdmur: An analytical study. *Journal of Civilizational Studies*. 2019; 2:56-70.
3. Al-Abadi S. Medical tourism in Tdmur: Opportunities and Challenges. *Journal of Tourism and Archeology*. 2020; 1:12-24.
4. Al-Hamadi N. Urban heritage of Tdmur and its impact on sustainable development. *Journal of Construction and Architecture*. 2018; 4:45-58.
5. Hussein R. An Ecological Analysis of the Urban Environment of Tdmur. *Journal of Ecology and Development*. 2021; 3:33-44.
6. Smith J. Urban Planning and Heritage Conservation in Palmyra. *Journal of Near Eastern Archaeology*. 2016; 10(2):100-115. DOI: 10.12345/jmea.2016.10.2.100-115
7. Brown A., Taylor R. The Role of Thermal Springs in the Healing Practices of Ancient Palmyra. *Journal of Historical Geography*. 2018; 25(4):340-355. DOI: 10.12345/jhg.2018.25.4.340-355
8. Johnson M. Sustainable Urban Development in Desert Cities: The Case of Palmyra. *Journal of Urban Studies*. 2019; 45(1):78-92. DOI: 10.12345/usj.2019.45.1.78-92
9. Williams K. Post-War Reconstruction of Palmyra: Challenges and Strategies. *International Journal of Heritage Studies*. 2020; 26(3):200-215. DOI: 10.12345/ijhs.2020.26.3.200-215
10. Anderson L. Tourism and the Economic Revival of Palmyra. *Journal of Sustainable Tourism*. 2021; 29(7):905-920. DOI: 10.12345/jst.2021.29.7.905-920
11. Smirnova E. V., Kuznetsov I. P. Monitoring resources for tourism development in Palmyra. *Tourism and regional development*. 2019; 2:67-80. DOI: 10.12345/trr.2019.2.67-80
12. Morishita, Naomi, Salah Haj Ismail, Rukiye Cetin. Pre-Design of Transitional Rural Housing for Syria with Recycled Rubble from Destroyed Buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2017; 245(8).
13. Stoneman R. *Palmyra and Its Empire: Zenobia's Revolt Against Rome*. Michigan, University of Michigan Press, 1994.
14. Ibrahim S. et al. A model-based analysis of heritage earthen architecture as adaptive refugee shelters (case study: the domes of Northern Syria). *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2020; 44: 365-372.
15. Ezzat A. Traditional building materials and techniques in the Syrian desert: the case of Palmyra. *Journal of Cultural Heritage*. 2015; 12(3):234-250.

About the author: **Ammar Aasem** — Postgraduate Student at the Department of Architecture at the Institute of Architecture and Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: asemamar95@gmail.com.

ФАКТОРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАНИРОВОЧНОГО ТИПА ДЕТСКИХ САДОВ И ШКОЛ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ РАЗВИТИИ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ

Ион Спиридонович Когутяк, Наталья Владимировна Бакаева

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ); г. Москва, Российская Федерация

Активное жилищное строительство в мегаполисах России обострило вопрос обеспеченности населения объектами образования. Действующие нормативные методики оперируют объемами вместимости и радиусами доступности, но не дают рекомендации по выбору планировочного типа (отдельный, встроенный/присоединенный, учебно-воспитательный комплекс). Целью статьи является выявление измеримых градостроительных факторов, влияющих на выбор планировочного типа детских садов и школ при комплексном развитии жилой застройки. Для достижения цели выполнен анализ нормативной базы и научных публикаций, сформирована система исчисляемых показателей, включающая обеспеченность земельным ресурсом и ограничения по вместимости, а также релевантные факторы: морфология застройки, централизация на территории жилой застройки функций, адаптивность (возможность трансформации) планировки и экономическая эффективность. Методологически использованы удельные нормативы Постановления Правительства Москвы от 21.12.2021 г. № 2151-ПП и норм г. Москвы МГСН 4.07-05, с учетом положений которых для трех типов планировочных решений заданы и рассчитаны: коэффициент обеспеченности земельным ресурсом, коэффициент централизации, коэффициент адаптивности и коэффициент экономической эффективности. По удельным нормам получены площади участков для размещения детских садов и школ, а также найден остаток земельных ресурсов под жилую застройку. Сводная оценка выделяет преимущества учебно-воспитательного комплекса перед отдельно стоящими и встроенными объектами по коэффициентам централизации и адаптивности. Апробация параметров количественной оценки выполнена на реальной территории комплексного развития жилой застройки в г. Москве в одинаковых исходных условиях для каждого типа детского сада и школы. Полученный результат подтверждает зависимость получаемых показателей от исходной градостроительной ситуации, обусловленной преимущественно плотностью застройки. Таким образом, предложенная система измеримых факторов и параметров позволяет обоснованно выбирать планировочный тип детских садов и школ в условиях комплексного развития территории жилой застройки.

Ключевые слова: комплексное развитие территории, жилищная застройка, детский сад, школа, планировочный тип, факторы, встроенный объект, учебно-воспитательный комплекс

Для цитирования: Когутяк И.С., Бакаева Н.В. Факторы определения планировочного типа детских садов и школ при комплексном развитии жилой застройки // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 43–53. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.43-53

FACTORS DETERMINING THE PLANNING TYPOLOGY OF KINDERGARTENS AND SCHOOLS IN COMPREHENSIVE RESIDENTIAL DEVELOPMENT

Ion S. Kogutyak, Natalya V. Bakaeva

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation

Intensive residential construction in Russia's major metropolitan areas has exacerbated the issue of population provision with educational facilities. Current regulatory methods operate with capacity indicators and accessibility radii, but do not provide guidance for selecting a planning typology (stand-alone, integrated/attached, or an educational complex). The purpose of this paper is to identify measurable urban-planning factors that influence the choice of the planning typology of kindergartens and schools in comprehensive residential development. To achieve this purpose, the regulatory framework and academic publications were reviewed, and a system of quantifiable indicators was developed, including land-resource provision and capacity constraints, as well as the relevant factors of: built-form morphology, functional centralization within the residential area, adaptability (the potential for spatial transformation), and economic efficiency. Methodologically, the study applies the unit standards of Resolution No. 2151-PP and the provisions of MGSN 4.07-05; based on these, the following were specified and calculated for three planning typologies: the land-resource provision coefficient, the centralization coefficient, the adaptability coefficient, and the economic-efficiency coefficient. Using the unit standards, site areas required for the placement of kindergartens and schools were obtained, along with the residual land resources available for residential development. The integrated assessment highlights the advantages of an educational complex over stand-alone and integrated facilities in terms of centralization and adaptability coefficients. The proposed parameters for quantitative assessment were

validated on a real comprehensive residential development site under identical baseline conditions for each kindergarten and school typology. The results confirm that the derived indicators depend on the initial urban context, primarily determined by development density. Thus, the proposed system of measurable factors enables a substantiated selection of the planning typology of kindergartens and schools under comprehensive territorial development conditions.

Keywords: comprehensive territorial development, residential development, kindergarten, school, planning typology, factors, integrated facility, educational complex

For citation: Kogutyak I.S., Bakaeva N.V. Factors determining the planning typology of kindergartens and schools in comprehensive residential development. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2025; 4:43-53. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.43-53 (rus.).

Введение

Развитие современных городов сопровождается уплотнением жилой застройки и необходимостью компактного размещения объектов социальной инфраструктуры. В столичном регионе при реализации проектов комплексного развития территории (КРТ) объем жилого строительства возрастает, что приводит к значительному увеличению численности детей дошкольного и школьного возраста. Одной из целей комплексного развития территории является создание необходимых условий для развития социальной инфраструктуры [1–4]. По действующим нормативам город Москва устанавливает удельные площади земельных участков на место в детском саду: 35 м² при вместимости до 150 воспитанников, 32 м² — при вместимости 151–350 человек и 20 м² на место для встроенных или пристроенных детских садов. Для школ площадь участка составляет 22 м² на ученика при емкости до 900 мест, 20 м² — при 900–1500 и 17 м² — при более чем 1500 учащихся. Нормативами также определены максимальные радиусы доступности: для детских садов — 500 м в центральных районах и 300 м. При совмещении детского сада и школы в одном здании допускается уменьшение общей площади участка на 10 %. Расчет численности населения в проектах планировки ведется исходя из 50 м² общей суммарной поэтажной площади жилой застройки на человека. Проектное допущение для пилотной территории следующее: радиусы доступности ДОУ — 300 м, школы — 500 м для сопоставимости сценариев застройки. Тем не менее эти значения не являются нормативными для всех городских округов, определяемых постановлением Правительства Москвы № 2151-ПП [5].

Несмотря на детально регламентированную нормативами градостроительного проектирования обеспеченность местами в детских садах и школах, нормативная база не содержит описания способов определения планировочных решений объектов образования. В практике приходится выбирать между тремя основными решениями:

- отдельно стоящие детский сад и школа;
- отдельно стоящая школа и встроенный (или пристроенный) детский сад;

- учебно-воспитательный комплекс (УВК), в котором детский сад и школа объединены в одном здании [6–8].

Правильный выбор типа объекта зависит не только от числа учащихся и нормативной площади, но и от плотности жилой застройки, морфологии квартала, демографии и экономических предпосылок. Отсутствие унифицированных критериев ведет к применению упрощенных подходов, когда объемно-планировочные решения принимаются без учета многообразия планировочных факторов, что отрицательно сказывается на комфортности и устойчивости городской среды [9, 10].

Настоящее исследование направлено на постановку проблемы несоответствия между нормативным параметром обеспеченности (количество мест, площади участков, радиусы доступности) и типологическим выбором планировочной структуры образовательных учреждений. Цель исследования — определить систему измеримых градостроительных факторов, позволяющих обоснованно выбирать тип планировочного решения детских садов и школ в условиях комплексного развития жилой застройки. Для достижения цели представляется возможным проанализировать нормативные требования и существующие научные подходы к классификации и типологии образовательных учреждений, выявить факторы, которые влияют на выбор того или иного решения в условиях комплексного развития, и предложить систему параметров для комплексной оценки.

Классификации дошкольных учреждений

Попытки обосновать выбор типов детских садов предпринимаются в исследованиях, посвященных архитектурной типологии и классификации дошкольных учреждений. Так, А.А. Кузнецова и Е.М. Генералова отмечают необходимость создания базовой классификации современных дошкольных образовательных учреждений, которая учитывала бы демографические изменения, нормативные требования и потребность в гибких структурах. Авторы выделяют пять классификационных признаков:

- вид дошкольного учреждения;
- объемно-планировочное решение;
- вместимость;

- форма собственности;
- уровень комфорта.

По первому признаку выделяются три вида: центр дошкольного образования (многофункциональное учреждение, объединяющее несколько блоков), детский сад общеразвивающего вида и группа кратковременного пребывания, размещаемая в составе жилых зданий в радиусе 500 м от места проживания детей. По второму признаку дошкольные учреждения разделяются на самостоятельные здания, пристроенные объемы и встроенные помещения. Вместимость подразделяется на малую, среднюю и большую; уровень комфорта включает показатели архитектурного решения, планировочной организации, материалов, эстетики территории, условий безопасности и технического оснащения. Такая классификация описывает возможные модели, но не связывает их с градостроительными параметрами, необходимыми для выбора типа на конкретном участке [11].

Новая архитектурная типология и интегрированные комплексы ДООУ и школ

Другим направлением исследований стало развитие архитектурной типологии ДООУ и школ, ориентированной на объединение различных ступеней образования. А.В. Долгов и Е.Б. Сычева предложили новую типологию дошкольных учреждений, основанную на комбинировании функциональных частей (жилого, общественного и хозяйственного блоков). Кроме традиционного типа I — автономного детского сада с полным циклом обслуживания, они выделяют тип I — учебно-воспитательный комплекс «детский сад — начальная школа». В таком комплексе дошкольное и школьное отделения располагаются в одном здании с общими общественными и сервисными зонами, при пространственной и функциональной изоляции групп и классов. Преимуществом подобных комплексов является возможность динамического перераспределения площадей: при увеличении количества школьников свободные групповые помещения могут быть переоборудованы в классы, и наоборот; это требует универсальных и легко трансформируемых групповых ячеек. Кроме того, авторы рассматривают тип II — детский сад с централизованным обслуживанием (без собственного хозблока) и тип III — минисад, включающий только групповые ячейки, обслуживаемый централизованной кухней и прачечной в другом месте. Переход к системе центрального обслуживания и сети небольших детских садов позволяет размещать учреждения ближе к месту проживания, использовать пристроенные и встроенные помещения и создавать «спутники» более крупного детского центра. Такая типология демонстрирует возможность

варьировать планировочную структуру в ответ на дефицит земельного ресурса и изменяющиеся потребности, но, как и в предыдущем случае, не предлагает количественных критериев для выбора между автономным детским садом, встроенным объектом или учебно-воспитательным комплексом [12].

Таким образом, проанализировав требования нормативной базы, научные работы по теме исследования, приходим к выводу: рассматриваются три планировочных варианта:

- отдельно стоящие ДООУ и школы на самостоятельных участках;
- встроенный/пристроенный ДООУ (вместимость до 150 мест) при отдельно стоящей школе;
- учебно-воспитательный комплекс (УВК).

Нормативные ограничения по участкам и радиусам доступности принимаются по действующим документам субъекта РФ.

Обзор нормативной базы и научных публикаций показывает, что существующие классификации дошкольных учреждений описывают разнообразие типов (автономные, пристроенные, встроенные, интегрированные с начальной школой) и выделяют критерии комфортности и функциональной полноты [13, 14]. Вместе с тем на сегодняшний день отсутствуют методики, позволяющие на основе количественных градостроительных параметров (площадь участков, плотность застройки, нормативная доступность) выбрать оптимальный планировочный тип для конкретного проекта. Нормативы определяют площадь участков и радиусы доступности, но не связывают эти величины с морфологией объектов [15–19]. Существует необходимость в разработке системы факторов, измеримых показателей и алгоритма их оценки, который позволит объективно обосновывать выбор между отдельными зданиями, встроенными детскими садами и учебно-воспитательными комплексами [20–23]. Дальнейшая часть исследования будет посвящена формированию такой системы и проверке ее на практике.

Материалы и методы

Нормативно-правовое регулирование обеспечения образовательными объектами и объект исследования

Выбор планировочной структуры объектов образования опирается на норму, закрепленную в Постановлении Правительства Москвы от 21 декабря 2021 г. № 2151-ПП «Об утверждении нормативов градостроительного проектирования в области образования». Нормативы градостроительного проектирования играют решающую роль в обосновании типов зданий. Постановление № 2151-ПП устанавливает удельные площади земельного участка на одно место в зависимости от вместимости и типа объекта (отдельно стоящий, встроенный, совмещенный).

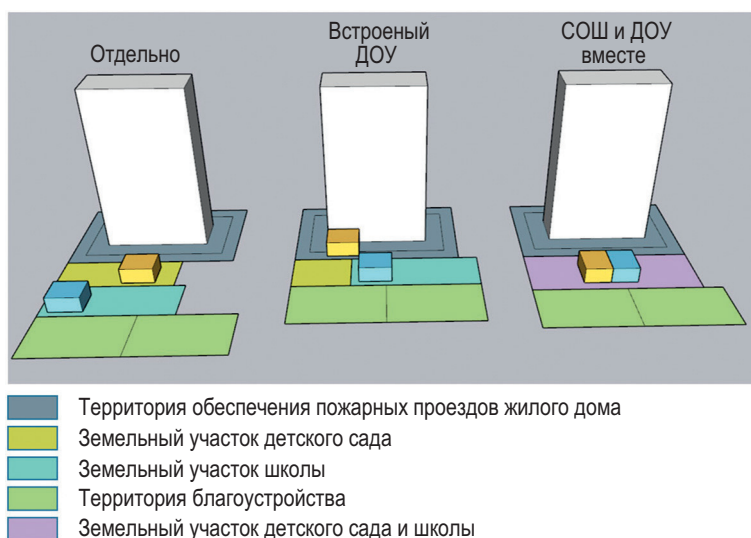


Рис. 1. Схема вариантов планировочного решения размещения детских садов и школ

Постановление № 2152-ПП определяет методику расчета нагрузки на социальные объекты: численность населения, обслуживаемого образовательными учреждениями, рассчитывается исходя из 50 м² общей площади квартир на одного жителя. От правильности этих исходных расчетов зависит корректность оценки потребности.

Действующие нормы по вместимости встроенных детских садов и учебно-воспитательных комплексов (150 и 350 детей соответственно) разработаны для условий 1990-х – начала 2000-х гг. За последние годы плотность жилой застройки в Москве увеличилась, и в ряде проектов девелоперы предлагают встроенно-пристроенные детские сады на 180–200 мест. Официальные нормативы пока не отражают эти тенденции. В результате практики нередко разрабатывают специальные проекты, проходящие согласование в индивидуальном порядке. Это указывает на необходимость актуализации нормативной базы в части допустимых вместимостей и параметров участков. Тем не менее такие уточнения могут быть рассмотрены в рамках предложенной системы факторов как актуализация и уточнение.

В документе перечислены три допустимых типа размещения детских садов и школ:

1. Традиционный тип — детские сады и школы размещаются в отдельных зданиях на самостоятельных земельных участках.

2. Встроенный или пристроенный детский сад к жилой застройке при отдельной школе — детский сад вместимостью до 150 мест допускается проектировать в составе первых этажей жилых домов или в пристроенной части, при этом школа возводится отдельно.

3. Учебно-воспитательный комплекс — дошкольное и школьное отделения объединяются в одном здании. Нормы допускают сокращение общей пло-

щади участка на 10 % по сравнению с суммой площадей участков для отдельной школы и детского сада.

Эти варианты размещения дают разные возможности по использованию земельного ресурса, масштабам зданий и характеру архитектурной организации (рис. 1).

Объект исследования — система факторов, влияющих на определение планировочного типа детских садов и школ при комплексном развитии территории жилой застройки.

Предмет исследования — градостроительные параметры (измеримые показатели) планировочных типов размещения объектов детских садов и школ на территориях комплексного развития жилой застройки.

Факторы определения планировочного типа

В отличие от демографических характеристик, которые влияют на расчет потребности в местах, но не определяют форму размещения, определяющими для выбора планировочного типа являются градостроительные параметры, устанавливаемые нормативами градостроительного проектирования. На рис. 2 представлена система факторов и оценочных параметров для выбора планировочного типа детских садов и школ на участке комплексного развития жилой застройки.

На основе анализа нормативной документации и публикаций были выделены следующие факторы (каждый имеет количественное выражение), которые по-разному проявляются в каждом из трех типов детских садов и школ.

1. Нормативная вместимость и ограничения по типу.

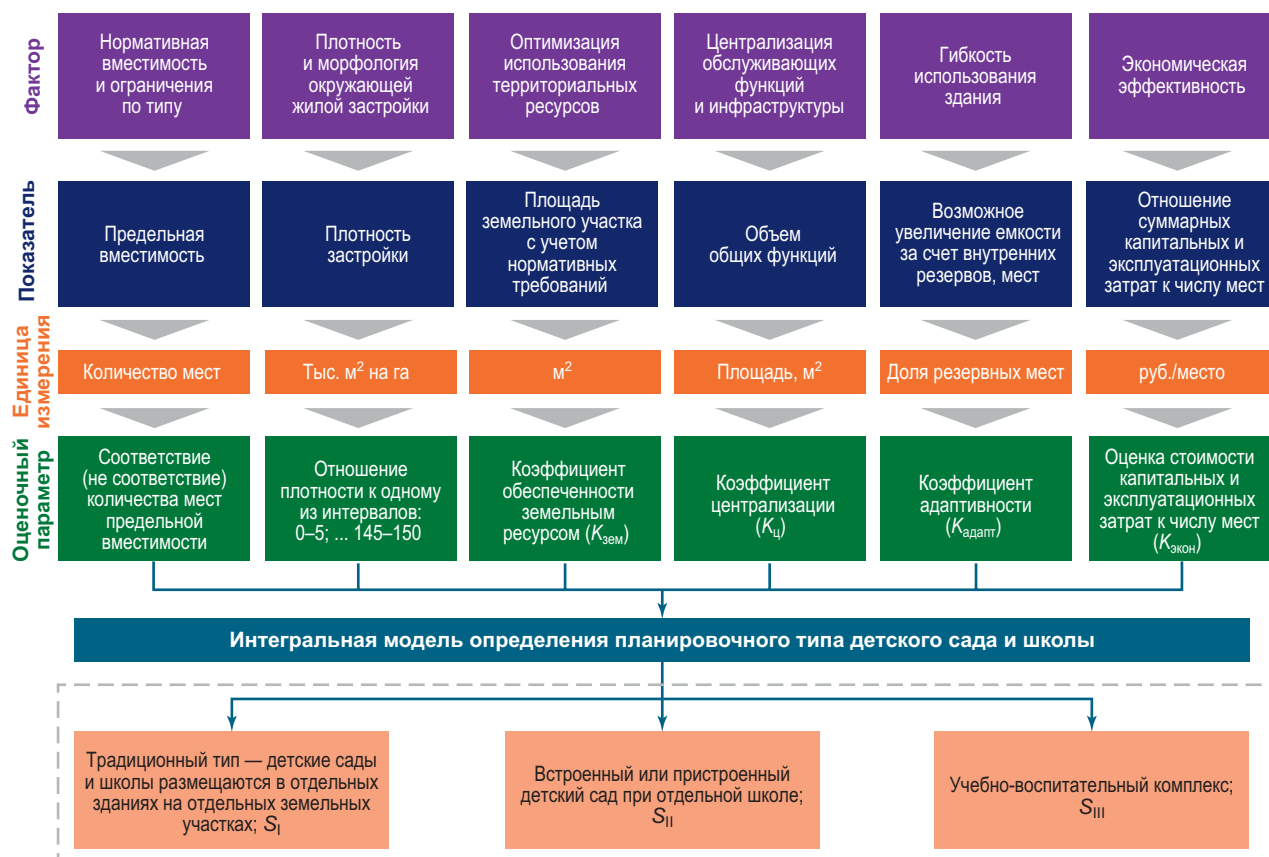


Рис. 2. Схема факторов и параметров для определения планировочного типа детского сада и школы для условий комплексного развития жилой застройки

Для встроенных или пристроенных детских садов нормативами МГСН 4.0705 и 2152 ПП установлено ограничение по вместимости — не более 150 мест.

Отдельно стоящие школы и детские сады в пределах городской сети могут иметь большую вместимость (детские сады — до 14 групп, школы — до 1500 и более мест) при соблюдении норм площади участка.

Показатель: предельная вместимость (количество мест); при превышении пороговых значений встроенный тип или комплекс невозможен.

2. Плотность и морфология жилой застройки. МГСН 4.0705 допускают строительство детских садов, пристроенных к торцам жилых домов, встроенных или встроенно-пристроенных в нижние этажи жилых зданий не выше третьего этажа. Такие решения эффективны в условиях плотно застроенных кварталов, где требуется экономия площади под социальные объекты. Отдельные здания требуют наличия достаточного участка и лучше вписываются в квартальную застройку малой и средней этажности.

Показатель: средняя этажность окружающей застройки и плотность жилой застройки (м² жилой

площади на га); при высокой плотности и многоэтажности (например, >25 тыс. м²/га, однако может варьироваться от 1–140 с м²/га) более целесообразны встроенные или комплексные типы. Показатель плотности выражается в виде $K_{плот}$ и рассчитывается по формуле:

$$K_{плот} = P_{факт} / P_{max},$$

где $P_{факт}$ — показатель плотности жилой застройки в границах территории комплексного развития в тыс. м² на га;

P_{max} — наиболее высокий показатель плотности жилой застройки среди оцениваемых сценариев в тыс. м² на га.

3. Площадь земельного участка и удельные нормы. Удельная площадь участка на 1 место составляет 35–32 м² для отдельно стоящего детского сада и 22–17 м² для школы, в зависимости от вместимости. Для встроенных и встроенно-пристроенных детских садов площадь участка рассчитывается без учета площади застройки, норма — 20 м² на место. Для учебно-воспитательного комплекса допускается снижение общей площади участка на 10 %.

Показатель: коэффициент обеспеченности земельным ресурсом:

$$K_{\text{зем}} = A_{\text{факт}}/A_{\text{норм}},$$

где $K_{\text{зем}}$ — коэффициент обеспеченности земельным участком;

$A_{\text{факт}}$ — фактическая площадь земельного участка, м²;

$A_{\text{норм}}$ — нормативная площадь земельного участка, м².

Если $K < 1$ (дефицит земли), предпочтительны встроенные или комплексные решения, если $K > 1$, то предпочтение отдается сумме участков объектов образования с наименьшим площадным параметром.

4. Степень централизации обслуживающих функций и инфраструктуры. В учебно-воспитательных комплексах предусматривается общая и хозяйственная зона: общественные помещения (актовый зал, столовая, спортзал) и хозяйственные процессы централизуются. Это повышает экономическую эффективность, но требует более крупного объема и скоординированной работы разных подразделений. Встроенные детские сады в жилых домах пользуются бытовой инфраструктурой дома (теплоснабжение, водоснабжение).

Показатель: коэффициент централизации, отражающий долю общих помещений и хозяйственных служб, что влияет на эффективность использования площади:

$$K_{\text{ц}} = A_{\text{общ.функ}}/A_{\text{общ}},$$

где $K_{\text{ц}}$ — коэффициент централизации, отражающий долю общих помещений и хозяйственных служб;

$A_{\text{общ.функ}}$ — площадь общих функциональных помещений, м²;

$A_{\text{общ}}$ — общая площадь объекта, м².

5. Возможность модульного и перспективного развития. Встроенные детские сады, как правило, рассчитаны на фиксированное число групп, и их расширение ограничено объемом жилого дома. В учебно-воспитательном комплексе благодаря универсальным группам и классам возможна гибкая трансформация: свободные групповые помещения можно переоборудовать под классы и наоборот. Отдельно стоящие учреждения также допускают пристройку дополнительных блоков при наличии территории.

Показатель: коэффициент адаптивности, выраженный в долях (например, возможность увеличить емкость не менее чем на 20 % за счет внутренних резервов):

$$K_{\text{адап}} = \Delta N_{\text{рез}}/N_{\text{пр}},$$

где $K_{\text{адап}}$ — коэффициент адаптивности (в долях);

$\Delta N_{\text{рез}}$ — возможное увеличение емкости за счет внутренних резервов, мест;

$N_{\text{пр}}$ — проектная емкость, мест.

(Например, значение $K_{\text{адап}} \geq 0,2K$ соответствует возможному увеличению не менее чем на 20 %).

6. Экономическая эффективность (капитальные и эксплуатационные затраты). Строительство отдельных учреждений требует больших затрат на земельный участок и отдельные инженерные системы. Встроенный детский сад дешевле по затратам на участок и первичные коммуникации. Учебно-воспитательный комплекс позволяет экономить на обеспечении внешних инженерных сетей и сооружений, а также на строительно-монтажных работах при строительстве одного объекта.

Показатель: отношение суммарных капитальных и эксплуатационных затрат к числу мест (руб/место), определяемое по данным типовых проектов.

Эти показатели имеют количественное выражение и позволяют сравнивать различные планировочные решения. Важно подчеркнуть, что факторы проявляются по-разному в каждом типе. Например, ограничение по вместимости делает встроенные детские сады приемлемым вариантом только для небольших групп.

Показатели $K_{\text{экон}}$ формируются при соотношении величины удельных капитальных и операционных затрат на одно место, полученных из укрупненных показателей стоимости в адресных региональных программах выделения средств для строительства объектов образования.

Нормировка показателей выполняется методом min – max по трем сравниваемым вариантам. Для каждого показателя X рассчитывается безразмерное значение $X' \in [0; 1]$ по формуле:

$$x' = \frac{\text{CAPEX} - \text{CAPEX}_{\min}}{\text{CAPEX}_{\max} - \text{CAPEX}_{\min}} + \frac{\text{OPEX} - \text{OPEX}_{\min}}{\text{OPEX}_{\max} - \text{OPEX}_{\min}},$$

где $x_{\max}$ и $x_{\min}$ — минимальное и максимальное наблюдаемые значения данного показателя среди вариантов;

CAPEX — капитальные вложения для строительства;

OPEX — операционные вложения для содержания квоты. Для показателей типа «меньше — лучше» используется инверсия:

$$x' = \frac{\text{CAPEX}_{\max} - \text{CAPEX}}{\text{CAPEX}_{\max} - \text{CAPEX}_{\min}} + \frac{\text{OPEX}_{\max} - \text{OPEX}}{\text{OPEX}_{\max} - \text{OPEX}_{\min}}.$$

Оценка коэффициентов K :

- коэффициент обеспеченности земельным ресурсом $K_{зем}$;
- коэффициент централизации $K_{ц}$ (доля общих помещений);
- коэффициент адаптивности $K_{а}$;
- коэффициент экономической эффективности $K_{адап}$ (нормированные затраты).

Построение матрицы сравнения: для каждого типа вычисляется сводный показатель:

$$S_j = \omega_1 \cdot K_{зем} + \omega_2 \cdot K_{ц} + \omega_3 \cdot K_{адап} + \omega_4 \cdot K_{экон} + \omega_5 \cdot K_{плот}$$

где S_j — сводный интегральный показатель для j -го типа планировочного решения; $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5$ — веса коэффициентов, определенные по результатам экспертного опроса.

Результаты

В качестве объекта для апробации выбран проект комплексного развития территории на севере Москвы (район Западное Дегунино). Общая площадь участка — 15,34 га, существующих объектов образования на нем нет. Расчетная потребность в местах, определенная по методу учета прилегающей застройки и норме 50 м² жилой площади на одного жителя, составляет 1821 место в детских садах и 3980 мест в школах. На прилегающей территории предусмотрено строительство четырех детских садов суммарной мощностью 879 мест и двух школ на 2780 мест, однако даже с учетом этих проектов дефицит остается существенным: 942 места в детских садах и 2512 мест в школах. Эти величины приняты как исходные для расчета площадей (рис. 3).

Исходные данные (площадь участка, потребность в местах, плотность застройки) взяты из реального

проекта комплексного развития территории на севере Москвы.

Для каждого варианта размещения объектов образования вычислялись суммарная нормативная площадь участка и остаток земли под жилье. Удельные нормативы площади участка принимались по постановлению № 2151 ПП. Результаты расчетов сведены в табл. 1.

Как видно из расчетов, вариант II дает наибольший остаток территории под жилую застройку (около 9,19 га) за счет использования встроенного детского сада, что уменьшает площадь, отводимую под объекты образования, на 1,13 га по сравнению с вариантом I. Учебно-воспитательный комплекс (вариант III) обеспечивает компромисс между экономией земли и интеграцией функций: площадь участка уменьшается на 10 % по норме, но остается больше, чем при встроенном детском саде. Величина остатка земли (8,78 га) достаточна для размещения жилья с плотностью 20–35 тыс. м² на гектар.

Для дальнейшего сравнения вариантов были рассчитаны вышепредложенные коэффициенты. Результаты представлены в табл. 2 (значения нормированы по шкале от 0 до 1; более высокое значение означает более благоприятное состояние).

Сводный интегральный показатель S для каждого типа определяется как сумма произведений нормированных факторов на веса (см. раздел 3). Полученные величины таковы:

$S_{II} \approx 0,59$ — встроенный (встроенно-пристроенный) ДОУ + отдельная школа;

$S_{III} \approx 0,87$ — учебно-воспитательный комплекс;

$S_I \approx 0,60$ — отдельные здания.

Наибольший интегральный балл (0,87) получает учебно-воспитательный комплекс. Это обусловлено совмещением функций и общих помещений (высокий $K_{ц}$), экономией участка за счет 10 % инте-



Рис. 3. Варианты планировочных типов размещения детских садов и школ: а — отдельно стоящие ДОУ и СОШ; б — учебно-воспитательный комплекс; в — встроенный ДОУ и отдельно стоящая СОШ

Таблица 1. Расчет площади участков для различных планировочных типов детских садов и школ

Тип планировочного решения	Удельные нормативы	Площадь под ДОУ и СОШ	Остаток территории для жилой застройки (из 15,34 га)
I. Отдельно стоящий детский сад + отдельно стоящая школа	32 м ² /место (ДОУ), 17 м ² /место (школа)	30 144 м ² + 42 704 м ² = = 72 848 м ² (≈ 7,28 га)	≈ 8,06 га
II. Встроенный детский сад + отдельная школа	20 м ² /место (ДОУ), 17 м ² /место (школа)	18 840 м ² + 42 704 м ² = = 61 544 м ² (≈ 6,15 га)	≈ 9,19 га
III. Учебно-воспитательный комплекс (школа + детский сад)	32 м ² /место (ДОУ) + + 17 м ² /место (школа) с понижением 10 %	(30 144 м ² + 42 704 м ²) · 0,9 = = 65 563 м ² (≈ 6,56 га)	≈ 8,78 га

Таблица 2. Сравнение типов по выбранным факторам (нормированные значения)

Фактор	Вес*	Тип I (отдельно стоящее)	Тип II (встроен- ный дет- ский сад)	Тип III (комплекс)	Пояснение
Коэффициент обеспеченности земельным ресурсом, $K_{зем}$	0,3	0,4	1	0,7	Встроенный детский сад требует наименьший участок; комплекс дает экономию 10 % по нормам
Ограничения по вместимости	0,2	0,7	0,1	0,7	Оценка отражает организационно-технологические и административные ограничения вместимости конкретных типов детских садов и школ
Морфология застройки (средняя этажность ~12 этажей)	0,2	0,6	1	0,75	В условиях многоэтажной застройки эффективнее встроенные объекты; отдельно стоящие здания требуют больше земли
Коэффициент централизации (общих функций) $K_{ц}$	0,2	0,3	0,6	0,8	Комплекс обеспечивает общие спортивные и культурные помещения; встроенный детский сад частично пользуется инфраструктурой жилого дома
Адаптивность планировки (возможность трансформации) $K_{адап}$	0,2	0,5	0,4	0,7	В комплексе возможна динамическая перedelка групп в классы и наоборот
Экономическая эффективность (условная) $K_{экон}$	0,1	0,5	0,8	0,7	Встроенные и комплексные объекты экономят затраты на участок и инженерные системы; отдельно стоящие дорожки

Примечание: * — весовые коэффициенты выбраны на основе экспертной оценки, подчеркивая приоритет экономики и ресурсообеспеченности.

грации нормируемых площадей и большей адаптивностью планировки. Встроенный (встроенно-пристроенный) ДОУ при отдельной школе — на втором месте: он снижает потребность в земле, но уступает по централизации и трансформируемости, кроме того, градостроительная ситуация, формирующая потребности в количестве мест в ДОУ с учетом нормативов по вместимости в количестве мест в одном объекте, потребует их разделения на несколько объектов меньшей вместимости. Отдельно стоящие объекты имеют минимальный балл из-за наибольшей требуемой площади и низкой интеграции.

Обсуждение

Проведенный расчет показал, что для территории наиболее рациональным является вариант размещения учебно-воспитательного комплекса (УВК). Его сильные стороны — высокая степень централизации и адаптивности: единая общественно-служебная зона позволяет экономить ресурсы, а универсальные групповые ячейки могут трансформироваться в классы и обратно. Тем не менее один объект типа УВК не покрывает суммарную потребность; при необходимости формируется несколько корпусов/объектов.

Встроенный детский сад по расчетам оказался на 2-м месте. Это объясняется несколькими обстоятельствами. Во-первых, по нормам площадь участка для встроенных детских садов составляет лишь 20 м² на место против 32 м² для отдельно стоящих объектов, что при расчетной потребности в 942 местах дает экономию около 11 тыс. м². В условиях дефицита земли эта экономия превращается в значительный резерв под жилищное строительство. Во-вторых, нормативные ограничения по вместимости для встроенных садов (до 150 детей) позволяют «разбивать» общую потребность на несколько небольших учреждений, что улучшает шаговую доступность. Однако коэффициент адаптивности имеет наименьшее значение в сравнении с УВК.

Вариант с отдельно стоящими зданием школы и детским садом оказался наименее эффективным из-за наибольшей потребности в земельном участке и низкого уровня интеграции. Тем не менее такой тип может быть оправдан в районах с низкой плотностью и достаточным резервом земли; он обеспечивает лучшую организацию территории (отдельные игровые площадки, спортивные поля) и большую автономность учреждений.

Полученные результаты имеют ряд ограничений. Во-первых, расчет потребности и площади основан на официальных нормах, которые могут измениться в будущем. Любые изменения нормативов — например, снижение удельной площади участка или увеличение предельной вместимости встроенных учреждений — изменят относительную эффективность вариантов. Во-вторых, оценка экономической эффективности и адаптивности выполнена в условных единицах. Для практического применения необходимо привлекать точные данные о стоимости строительства и эксплуатации типовых проектов, а также учитывать влияние архитектурных решений на эксплуатационные расходы. В-третьих, факторная модель исключила демографические, транспортные и экологические параметры по требованию постановки задачи. Эти факторы влияют на выбор локализации и объемов объектов, но, как показали консультации с экспертами, они оказывают вторичное воздействие на тип планировочного решения. Тем не менее при разработке проектов следует учитывать особенности миграции населения, транспортную связанность

и санитарно-гигиенические условия территории, чтобы обеспечить устойчивую интеграцию объекта в городскую ткань.

Выводы

1. В работе предложена система измеримых градостроительных факторов, позволяющих обоснованно выбирать тип планировочного решения детских садов и школ. В отличие от традиционного подхода, который учитывает лишь расчет потребности в местах и радиусы доступности, разработанная схема включает оценку обеспечения земельным ресурсом, учет нормативных ограничений по вместимости, морфологии жилой застройки, степени централизации функций, адаптивности и экономической эффективности. На основе действующих нормативов г. Москвы (Постановление № 2151-ПП) показано, что выбор между отдельно стоящими учреждениями, встроенными объектами и учебно-воспитательными комплексами должен опираться на количественное сравнение этих факторов.

2. Применение предложенной параметрической системы оценки к реальному проекту комплексного развития территории жилой застройки позволило доказать ее практическую ценность. Расчеты показали, что при существенных показателях дефицита за счет централизации функций с одной стороны и экономии территориального ресурса с другой при лучших показателях экономической эффективности наиболее рационален вариант учебно-воспитательного комплекса.

Заключение

Результаты исследования могут использоваться при разработке проектов планировки территорий и программ развития городской среды. Для повышения универсальности предложенной системы факторов целесообразно расширить ее за счет точной экономической оценки и учета обновляемых нормативов. Важными направлениями дальнейшей работы являются анализ гибридных типологий (встроенных объектов в многофункциональных центрах, модульных комплексов) и проверка системы факторов на объектах различной величины и морфологии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Градостроительный кодекс РФ : Федеральный закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ, ст. 64.
2. Об утверждении нормативов градостроительного проектирования города Москвы в области жилищного строительства и расчета нагрузки на социальную инфраструктуру : Постановление Правительства Москвы от 21.12.2021 № 2152-ПП. М., 2021.
3. Программа комплексного развития территорий : официальный портал проекта КРТ. По программе комплексного развития территорий планируют построить 108 детских садов и 94 школы. 2025. URL: <https://krt.mos.ru/news/po-programme-kompleksnogo-razvitiya-territoriy-planiruyut-postroit-108-detskikh-sadov-i-94-shkoly/> (дата обращения: 24.01.2025).

4. *Алексеев Ю.В., Ануфриев А.А.* Градостроительное проектирование : уч. пос. М. : Директ-Медиа, 2019. 626 с. URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/389671/reading> (дата обращения: 04.02.2026).
5. Об утверждении нормативов градостроительного проектирования города Москвы в области жилищного строительства и расчета нагрузки на соц. инфраструктуру : Постановление Правительства Москвы от 21.12.2021 № 2152-ПП. М., 2021.
6. СП 251.1325800.2016. Проектирование зданий общеобразовательных организаций : методическое пособие. М. : ФАУ «ФЦСНТИОС», Минстрой России, 2018.
7. СП 252.1325800.2016. Здания дошкольных образовательных организаций. Правила проектирования. М. : Минстрой России, 2016.
8. *Золотник С.В.* Анализ объемно-пространственной структуры зданий дошкольных образовательных учреждений (типовые проекты 1960–1980-х гг.) // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 11 (1). С. 37–41.
9. СП 54.13330.2011. Общественные здания и сооружения (актуализация СНиП 31-06–2009). М. : ФЦСНТИОС, 2011.
10. СНиП II-Л.3–71. Детские ясли-сады. Нормы проектирования. М. : Госстрой СССР, 1972.
11. *Кузнецова А.А., Генералова Е.М.* Основы формирования базовой классификации дошкольных образовательных учреждений // *Академический вестник УралНИИпроект РААСН*. 2015.
12. *Долгов А.В., Сычева Е.Б.* Основы новой архитектурной типологии дошкольных учреждений // *Академический вестник УралНИИпроект РААСН*. 2013.
13. *Славянский С.П.* Система и типы зданий общеобразовательных школ в структуре большого города: исследования и рекомендации на примере Великого Новгорода : дис. ... канд. архитектуры. СПб., 2007.
14. *Гусева Т.В.* Проблемы и перспективы развития архитектуры образовательных учреждений // *Современные технологии в архитектуре*. 2017.
15. СНиП 2.08.02–89. Общеобразовательные школы. Нормы проектирования. М. : Госстрой СССР, 1989.
16. О развитии жилищного строительства : Федеральный закон от 27.12.2018 № 87-ФЗ (определил правовую основу комплексного развития территорий).
17. РМД 31-07–2009. О внесении изменений в Градостроительный кодекс РФ и другие законодательные акты РФ : Федеральный закон от 29.12.2014 № 456-ФЗ (уточнил порядок КРТ).
18. Руководство по проектированию дошкольных образовательных учреждений в Санкт-Петербурге. СПб., 2009.
19. СанПиН 2.4.1.3049–13. Требования к устройству, содержанию и организации режима работы дошкольных образовательных организаций. М., 2013.
20. СанПиН 2.4.2.2821–10. Требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных учреждениях. М., 2010.
21. МГСН 4.07–05. Дошкольные образовательные учреждения. М., 2006.
22. МГСН 4.06–03. Общеобразовательные учреждения. М., 2003. 8 с.
23. *Кузнецова А.А.* Архитектурная типология дошкольных образовательных учреждений общеразвивающей направленности: на примере города Самары : автореф. дис. ... канд. арх. Н. Новгород, 2014.

Об авторах: **Наталья Владимировна Бакаева** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0003-0518-6521, ResearcherID: P-1152-2015; e-mail: natbak@mail.ru;

Ион Спиридонович Когутяк — аспирант кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0009-0000-9557-1559; e-mail: official.i.s@yandex.ru.

REFERENCES

1. The Urban Planning Code of the Russian Federation : Federal Law No. 190-FZ of December 29, 2004, Article 64. (rus.).
2. On the Approval of Urban Planning Design Standards for the City of Moscow in the Field of Housing Construction and the Calculation of the Load on Social Infrastructure : Decree of the Moscow Government No. 2152-PP of December 21, 2021. Moscow, 2021. (rus.).
3. Program for the Comprehensive Development of Territories : Official Portal of the CRT Project. 108 kindergartens and 94 schools are planned to be built under the program for the comprehensive development of territories. 2025. URL: <https://krt.mos.ru/news/po-programme-kompleksnogo-razvitiya-territoriy-planiruyut-postroit-108-detskikh-sadov-i-94-shkoly/> (rus.).

4. Alekseyev Yu.V., Anufriev A.A. *Urban Planning Design : a Textbook*. Moscow, Direct Media, 2019; 626. URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/389671/reading> (accessed: 04.02.2026). (rus.).
5. On the Approval of Urban Planning Design Standards for the City of Moscow in the Field of Housing Construction and the Calculation of the Load on Social Infrastructure : Decree of the Moscow Government No. 2152-PP of December 21, 2021. Moscow, 2021. (rus.).
6. SP 251.1325800.2016. Design of General Educational Organization Buildings : Methodological Guide. Moscow, FAI "FCSNTIOS", Ministry of Construction of Russia, 2018. (rus.).
7. SP 252.1325800.2016. Buildings of Preschool Educational Organizations. Design Rules. Moscow, Ministry of Construction of Russia, 2016. (rus.).
8. Zolotnik S.V. Analysis of the Volumetric-Spatial Structure of Buildings of Preschool Educational Institutions (Standard Projects of the 1960s-1980s). *Fundamental Research*. 2016; 11(1):37-41. (rus.).
9. SP 54.13330.2011. Public Buildings and Structures (Updated SNiP 31-06-2009). Moscow, FCSNTIOS, 2011. (rus.).
10. SNiP II-L.3-71. Children's Nurseries-Kindergartens. Design Standards. Moscow, Gosstroy USSR, 1972. (rus.).
11. Kuznetsova A.A., Generalova E.M. Fundamentals of Forming a Basic Classification of Preschool Educational Institutions. *Academic Bulletin of UralNIIproekt RAASN*. 2015. (rus.).
12. Dolgov A.V., Sycheva E.B. Fundamentals of a New Architectural Typology of Preschool Institutions. *Academic Bulletin of UralNIIproekt RAASN*. 2013. (rus.).
13. Slaviansky S.P. *System and Types of General Education School Buildings in the Structure of a Large City: Research and Recommendations on the Example of Veliky Novgorod : dissertation of Candidate of Architecture*. Saint Petersburg, 2007. (rus.).
14. Guseva T.V. Problems and Prospects for the Development of Educational Institution Architecture. *Contemporary Technologies in Architecture*. 2017. (rus.).
15. SNiP 2.08.02-89. General Education Schools. Design Standards. Moscow, Gosstroy USSR, 1989. (rus.).
16. On the Development of Housing Construction : Federal Law No. 87-FZ of December 27, 2018 (established the legal basis for the comprehensive development of territories).
17. RMD 31-07-2009. On Amending the Urban Planning Code of the Russian Federation and Other Legislative Acts of the Russian Federation : Federal Law No. 456-FZ of December 29, 2014 (clarified the procedure for comprehensive development of territories). (rus.).
18. Guidelines for the Design of Preschool Educational Institutions in Saint Petersburg. Saint Petersburg, 2009. (rus.).
19. SanPiN 2.4.1.3049-13. Requirements for the Arrangement, Maintenance, and Organization of the Daily Routine in Preschool Educational Organizations. Moscow, 2013. (rus.).
20. SanPiN 2.4.2.2821-10. Requirements for the Conditions and Organization of Education in General Education Institutions. Moscow, 2010. (rus.).
21. MGSN 4.07-05. Preschool Educational Institutions. Moscow, 2006. (rus.).
22. MGSN 4.06-03. General Education Institutions. Moscow, 2003; 8. (rus.).
23. Kuznetsova A.A. *Architectural Typology of General Development Preschool Educational Institutions: Based on the Example of the City of Samara : abstract of a Candidate of Architecture Dissertation*. Nizhny Novgorod, 2014. (rus.).

About the authors: **Natalia V. Bakaeva** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-0518-6521, ResearcherID: P-1152-2015; e-mail: natbak@mail.ru;

Ion S. Kogutyak — PhD student, Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0009-0000-9557-1559; e-mail: official.i.s@yandex.ru.

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 54–58.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 628.11;628.14;614.78

DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.54-58

КОМПЛЕКСНЫЙ ФАКТОР УРОВНЯ ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ. ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ РЕЗЕРВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Дмитрий Борисович Фрог

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры
и строительных наук (НИИСФ РААСН); г. Москва, Российская Федерация

В статье представлен альтернативный взгляд на построение системы водообеспечения в Российской Федерации с учетом новых глобальных угроз. Представлены результаты проведенного исследования, включающего анализ законодательства и ситуации в отрасли водоснабжения в сфере надежности и защиты объектов водоснабжения от ЧС и военных угроз.

Освещены вопросы проектирования, гидрологических изысканий при проектировании и принципы комплектации резервных источников водоснабжения локальных объектов.

Акцентируются подходы в комплектации резервных источников водоснабжения децентрализованными источниками энерго-снабжения.

Дано описание и критерии комплексного фактора уровня водообеспечения.

В статью включены выводы проведенного в НИИСФ РААСН исследования «Научные основы концепции децентрализации водообеспечения населения Российской Федерации с обоснованием целесообразности перехода к более высокому качеству воды — физиологически полноценному, посредством автономных систем приготовления воды».

Ключевые слова: водоснабжение, резервные источники, питьевая вода, децентрализованное энергоснабжение, гибридные источники

Для цитирования: Фрог Д.Б. Комплексный фактор уровня водообеспечения. Энергоснабжение резервных источников водоснабжения // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 54–58. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.54-58

COMPLEX FACTOR OF THE LEVEL OF WATER SUPPLY. POWER SUPPLY OF BACKUP WATER SUPPLY SOURCES

Dmitry B. Frog

Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences
(NIISF RAASN); Moscow, Russian Federation

The article presents an alternative view on the construction of a water supply system in the Russian Federation, taking into account new global threats. The results of the study, including the analysis of legislation and the situation in the water supply industry in the field of reliability and protection of water supply facilities from emergencies and military threats, are presented.

The issues of design, hydrological surveys during design and the principles of completing backup sources of water supply to local facilities are covered.

Approaches to equipping backup water supply sources with decentralized power supply sources are emphasized.

A description and criteria of the complex factor of the level of water supply are given.

The article includes the conclusions of the study “Scientific Foundations of the Concept of Decentralization of Water Supply to the Population of the Russian Federation with the Justification of the Feasibility of Transition to Higher Water Quality — Physiologically Complete — by Means of Autonomous Water Treatment Systems” conducted at the Research Institute of Physics and Architecture of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences.

Keywords: water supply, backup sources, drinking water, decentralized energy supply, hybrid sources

For citation: Frog D.B. Complex factor of the level of water supply. Power supply of backup water supply sources. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2025; 4:54-58. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.54-58. (rus.).

Введение

Построение и организация систем водоснабжения и водообеспечения в Российской Федерации в современных внешнеполитических условиях требует срочного пересмотра. С появлением новых глобальных вызовов устоявшееся отношение к надежности водообеспечения и водоснабжения нуждается в актуализации, поскольку, помимо террористических и техногенных угроз, появились угрозы военных ударов и разрушения ключевой инженерной инфраструктуры, включая системы централизованного водоснабжения и энергоснабжения. Защита населения, инфраструктуры и территорий от чрезвычайных ситуаций всех видов является глобальной проблемой и относится к сфере национальной безопасности государства. Необходимо создать базу для успешного решения задач по обеспечению комфорта для людей и безопасности их жизни с проведением целого комплекса мероприятий по предупреждению вероятных последствий ЧС и разного рода негативных факторов. Цели национальных проектов («Жилье и городская среда» – «Чистая вода», «Экология», «Здравоохранение», «Демография», «Инфраструктура для жизни» и т.д.) [1, 2] подразумевают создание инфраструктуры нового качества для человека и формирование комфортной городской среды.

В мировой практике задачи децентрализации (дублирования) водообеспечения или не ставятся вообще или решаются локально преимущественно без государственного участия (финансирования) в силу национальной специфики, отсутствия необходимости и недостаточного уровня централизации сетей водоснабжения.

Ход СВО и угроза глобального военного противостояния требуют от РФ принятия срочных мер для предотвращения возможных техногенных, экономических и социальных последствий военных действий, направленных на разрушение инженерной и энергетической инфраструктуры.

Формулирование этих мер стало целью фундаментальной научно-исследовательской работы, завершенной НИИСФ РААСН в 2025 г.

Материалы и методы

В работе использован эмпирический метод научного исследования посредством наблюдения, в частности, выполнен критический сравнительно-временной анализ, выявлены причинно-следственные связи на базе объективных общепризнанных сведений.

В научно-исследовательских работах (НИР) осуществлен аналитический обзор множества статей и документов (93 библиографии), способствующий объективной оценке современного состояния водо-

обеспечения РФ в части имеющихся тенденций в надежности инженерных систем, санитарно-гигиенических аспектах, взаимосвязи технологического уровня водоподготовки с качеством водопроводной воды, вопросах здоровья нации. По результатам НИР, позволившим рассмотреть реальное положение и тенденции в отрасли с новой точки зрения, в нормативные документы планируется включение конкретных параметрических требований по организации на объектах (включая многоквартирные дома (МКД)) резервных источников водоснабжения (РИВ) технического и/или питьевого назначения. Требования в основном направлены на объекты, имеющие систему водоснабжения с классом ответственности зданий 2-го уровня (МКД и объекты инфраструктуры, не относящиеся к первому или третьему уровням ответственности).

Согласно предложенной концепции, при проектировании вновь строящегося или реконструируемого объекта необходимо наличие разведанных запасов подземных вод соответствующего качества (питьевое, техническое). На объектах, где такой гидрогеологической возможности нет, необходимо создавать запасы технической и/или питьевой воды в емкостях, резервуарах и в бутилированном виде. При этом допустимо осуществлять сбор в резервуары атмосферных осадков через внутренние водосточные системы зданий и сооружений.

В границах сложившейся застройки в большинстве случаев невозможно выполнить требования СанПиН 2.1.4.1110–02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения», в связи с этим на таких объектах следует создавать резервный источник технического водоснабжения (даже при наличии подземных вод питьевого качества). При новом строительстве в процессе разработки генплана [3] следует учитывать ограничения, связанные с организацией зон санитарной охраны (ЗСО) РИВ. И, как уже говорилось выше, если ограничения не позволяют создать защищенный источник питьевой воды, создается резервный источник технической воды.

Поиск и разведку подземных вод осуществляют в ходе процедуры инженерных изысканий на основании фондовых материалов и данных существующих водозаборов. Разведка месторождений подземных вод, подсчет запасов и составление проектной документации на разработку месторождений подземных вод (далее — водозаборов) выполняются на основе нормативных правовых актов и нормативных методических документов в области недропользования в целях получения необходимых и достаточных данных [4]. Сведения о состоянии водных ресурсов и источников питьевого водоснабжения, данные о санитарно-эпидемиологическом состоянии террито-

рии, защищенности подземных вод входят в раздел технического отчета по результатам инженерно-экологических изысканий «оценка современного экологического состояния территории». Заказчику работ необходимо иметь лицензию на право пользования недрами. Гидрогеологические изыскания входят в состав разделов проектной документации на объекты капитального строительства производственного и непроизводственного назначения [5]. В частности, согласно п. 14, Раздел 4 «Конструктивные и объемно-планировочные решения» должен содержать в текстовой части сведения о «... гидрогеологических, ... условиях земельного участка, предоставленного для размещения объекта капитального строительства». Согласно п. 4.4 [4], инженерные изыскания включают в себя специальный вид изысканий: «поиск и разведку подземных вод для целей водоснабжения», что подразумевает следующие виды работ: бурение и оборудование разведочных и наблюдательных скважин; опытно-фильтрационные работы и гидрохимическое опробование; лабораторные исследования грунтов и подземных вод; математическое моделирование гидрогеологических процессов; проектирование строительного водопонижения для обеспечения защиты котлована от затопления; расчет влияния водопонижения на окружающие здания и сооружения и предупреждение возможного отрицательного воздействия при откачке подземных или грунтовых вод; расчеты водопритоков в дренажные системы; гидрогеологический мониторинг.

Уязвимость энергоснабжения в условиях ЧС и военных действий требует оснащения РИВ индивидуальной системой электроснабжения (ИСЭ). Примером могут служить объекты на новых территориях (ЛНР, ДНР, Запорожская и Херсонская области), на которых только сейчас стали появляться резервные источники энергоснабжения. И несмотря на то, что тенденция использования возобновляемых энергисточников поддержана и закреплена в «Энергетической стратегии России на период до 2030 года», региональные власти не осознают первоочередной важности создания резервных источников энергоснабжения и водоснабжения. Одна из стратегических целей: «повышение уровня энергетической безопасности и надежности энергоснабжения за счет увеличения уровня его децентрализации». Зачастую возникают ситуации (г. Мариуполь), когда построенные ударными темпами новые жилые микрорайоны не пригодны к проживанию из-за жестко ограниченного графика подачи воды 1 раз в 2–3 суток. При наличии РИВ с автономным энергоснабжением, не связанных с централизованными системами, эти новостройки уже могли бы полноценно функционировать.

Наиболее действенным комплексным решением служит введение при новом строительстве и реконструкции объектов (многоквартирных домов и обще-

ственных зданий), дублирующих централизованный источник водоснабжения, резервных (локальных) систем водоснабжения, оснащенных автономными гибридными источниками энергоснабжения.

ИСЭ с интегрированными в дополнение к генератору (на органическом топливе) фотоэлектрическими и ветровыми станциями [6] может применяться для изолированных объектов, включая МКД. При этом используется микросеть, которая перераспределяет мощность менее 50 кВА и питается от микроэлектростанции. При компоновке РИВ в большинстве случаев децентрализованные системы энергоснабжения объектов будут включать в себя следующие типы потребителей: насосы (технологические, сетевые, скважинные); технологическое оборудование и приборы контроля; пункты зарядки аккумуляторов и т.д.

С учетом результатов НИР и складывающейся ситуации в отрасли водоснабжения для проектных организаций планируется ввести в СП [7, 8] новый параметрический численный критерий: «комплексный фактор уровня водообеспечения объекта», который одновременно связан с надежностью инженерных систем водоснабжения (водообеспечения) и рисками здоровью населения при употреблении некачественной питьевой воды.

Соблюдение проектной организацией заданной параметрической величины комплексного фактора уровня водообеспечения Φ_v гарантирует достижение поставленных на государственном уровне целей:

$$\Phi_v = \Phi_n + \Phi_{pz} \geq 1,5,$$

где Φ_v — комплексный фактор уровня водообеспечения;

Φ_n — фактор риска надежности;

Φ_{pz} — фактор риска здоровью.

Факторы риска в данной формуле имеют определенные дискретные значения. $\Phi_n = 1$ при наличии у потребителя РИВ с автономным нецентрализованным электроснабжением ($\Phi_n = 0$ при отсутствии РИВ; $\Phi_n = 0,5$ при наличии РИВ без автономного нецентрализованного электроснабжения); $\Phi_{pz} = 1$ при отсутствии рисков здоровью населения (в терминологии риск-ориентированного подхода) от потребления некачественной воды на питье и приготовление пищи (при наличии риска $\Phi_{pz} = 0$).

Отсутствие рисков ($\Phi_{pz} = 1$) подразумевает использование на питье и приготовление пищи воды из РИВ, кондиционированной до «первой» и «высшей» категории качества по соответствующему СанПиН.

Максимальное значение комплексного фактора уровня водообеспечения «2» при идеальных условиях ($\Phi_n = 1$ и $\Phi_{pz} = 1$).

Следует уточнить, что для достижения $\Phi_n=0,5$ достаточно стационарного источника (газо-дизель-бензогенератора), но, поскольку существует вероятность перебоев в логистике поставки топлива, желательно организовать энергоснабжение, основанное на возобновляемых источниках электроэнергии, в том числе гибридных источниках в соответствии с +ПНСТ [6].

Результаты фундаментальной научно-исследовательской работы НИИСФ РААСН «Научные основы концепции водообеспечения населения Российской Федерации с обоснованием целесообразности перехода к более высокому качеству воды “физиологически полноценному” посредством автономных систем приготовления воды» определяют, что скорейшее повсеместное создание РИВ — единственное эффективное направление [9–13] для быстрого (3–5 лет) решения проблем:

- выживания страны при военной агрессии через надежность систем водоснабжения производственных и непромышленных объектов;
- обеспечения здоровья нации через употребление улучшенной по качеству физиологически полноценной питьевой воды.

В рамках перехода РФ на параметрический метод нормирования взамен предписывающему разработан параметрический критерий, позволяющий проектным организациям без предписывающих указаний достигать в проектных решениях необходимого и достаточного уровня технических (технологических) решений в части организации водоснабжения (водообеспечения) проектируемых объектов.

Выводы

1. Законодательство и национальные проекты в сфере водообеспечения и водоснабжения требуют корректировки и актуализации.
2. Децентрализация водообеспечения с массовым вводом РИВ и переходом на более высокий уровень качества воды, потребляемой для питья и приготовления пищи, является доступным и быстрым способом решения глобальной проблемы обеспечения населения России качественной питьевой водой, а также позволяет обеспечить надежность водообеспечения, т.е. получить стратегический, экономический и социальный эффекты в части противостояния большим вызовам.
3. В вопросе резервных источников энергоснабжения преимущество следует отдавать гибридным системам, построенным на нескольких источниках электрической энергии (генераторами) с различными технологиями производства электроэнергии, поскольку это является перспективным направлением компоновки.
4. Комплексный фактор уровня водообеспечения позволит проектным организациям закладывать в проектную документацию необходимые проектные решения по организации РИВ и включать в спецификации соответствующее оборудование. На первом этапе реформирования отрасли необходимым и достаточным является достижение проектными организациями значения комплексного фактора уровня водообеспечения $\Phi_v = 1,5$.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Паспорт национального проекта «Жилье и городская среда»: утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 г. № 16).
2. Паспорт федерального проекта «Чистая вода». Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. 2024.
3. Градостроительный Кодекс Российской Федерации (с Изменениями на 25 декабря 2023 г.) (редакция, действующая с 1 февраля 2024 г.).
4. СП 47.13330.2016. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.
5. О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию: Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 (ред. от 21.10.2025).
6. ПНСТ 40-2015. IEC/TS 62257-4:2005. Гибридные системы небольших размеров с возобновляемой энергией, предназначенные для сельской электрификации.
7. СП 31.13330.2021. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
8. СП 30.13330.2020. Внутренний водопровод и канализация зданий.
9. Фрог Н.П., Фрог Б.Н., Фрог Д.Б. Обеспечение населения России физиологически полноценной питьевой водой (проект «третий кран») // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2009. № 1 (13). С. 56–61.
10. Фрог Д.Б. Тенденции и цели развития отрасли водоснабжения и водоотведения на фоне глобальных вызовов (в порядке обсуждения) // Водоснабжение и санитарная техника. 2023. № 10. С. 4–9. DOI: 10.35776/VST.2023.10.01
11. Фрог Д.Б. Децентрализация водообеспечения и резервные источники водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 2024. № 12. С. 4–8.

12. Фрог Д.Б. Актуализация в 2024 г. СП 31.13330.2021 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». Основные направления // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и очистки сточных вод. 2024. № 6.
13. Фрог Д.Б. Строительство и реконструкция систем водоснабжения в рамках децентрализации водообеспечения РФ // Бюллетень строительной техники. 2025. № 6 (1090). С. 22–24.

Об авторе: **Дмитрий Борисович Фрог** — канд. техн. наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией № 35 «Технологическая интенсификация объектов водоснабжения и канализации»; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии строительных наук (НИИСФ РААСН)**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр-д, д. 21; e-mail: niisf@niisf.ru.

REFERENCES

1. Passport of the national project “Housing and Urban Environment” : approved by the Presidium of the Presidential Council for Strategic Development and National Projects (Minutes No. 16 of December 24, 2018). (rus.).
2. Passport of the federal project “Clean Water”. Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation. 2024. (rus.).
3. Urban Planning Code of the Russian Federation (as amended on December 25, 2023) (version effective from February 1, 2024). (rus.).
4. SP 47.13330.2016. SNiP 11-02–96. Engineering surveys for construction. The main provisions. (rus.).
5. On the composition of sections of the project documentation and the requirements for their content : Government decree RF 16.02.2008 No. 87 (editorial staff 21.10.2025). (rus.).
6. PNST 40-2015. IEC/TS 62257-4:2005. Small-scale hybrid systems with renewable energy designed for rural electrification. (rus.).
7. SP 31.13330.2021. Water supply. External networks and structures. (rus.).
8. SP 30.13330.2020. Internal water supply and sewerage of buildings. (rus.).
9. Frog N.P., Frog B.N., Frog D.B. Providing the population of Russia with physiologically complete drinking water (the “third tap” project). *Water treatment. Water supply*. 2009; 1(13):56-61. (rus.).
10. Frog D.B. Trends and goals for the development of the water supply and wastewater disposal industry against the background of global challenges (in order of discussion). *Water supply and sanitary equipment*. 2023; 10:4-9. DOI: 10.35776/VST.2023.10.01 (rus.).
11. Frog D.B. Decentralization of Water Supply and Reserve Sources of Water Supply. *Water Supply and Sanitary Engineering*. 2024; 12:4-8.
12. Frog D.B. Actualization in 2024 SP 31.13330.2021 “Water Supply. Outdoor Networks and Structures”. Main Directions. *Best Available Technologies for Water Supply and Wastewater Treatment*. 2024; 6.
13. Frog D.B. Construction and reconstruction of water supply systems within the framework of decentralization of water supply in the Russian Federation. *Construction Machinery Bulletin*. 2025; 6(1090):22-24.

About the author: **Dmitry B. Frog** — Candidate of Technical Sciences, Chief Researcher, Head of Laboratory No. 35 “Technological Intensification of Water Supply and Sewerage Facilities”; **Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Locomotivnyi passage, Moscow, 127238, Russian Federation; e-mail: niisf@niisf.ru.

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 59–64.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 628.353.1

DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.59-64

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАГРУЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Ольга Викторовна Февральских^{1, 2}, Елена Сергеевна Гогина^{1, 2},
Николай Юрьевич Кондюрин^{2, 3}

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры
и строительных наук (НИИСФ РААСН); г. Москва, Российская Федерация;

² Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ);
г. Москва, Российская Федерация;

³ ООО «ВТ ЭКСПЕРТ»; г. Москва, Российская Федерация

Рассматриваются возможности интенсификации работы биореакторов с использованием загрузочного материала, отмечается перспективность использования загрузки в связи с возможностью существенного уменьшения объема биореакторов. Использование сочетания взвешенной и прикрепленной формы активного ила позволяет увеличить эффективность очистки при тех же размерах сооружения. Объектом исследования являлись биологические очистные сооружения хозяйственно-бытовых сточных вод производительностью от 500 до 10 000 м³/сут. В ходе исследования оценивались следующие загрузочные материалы: блоки биологической загрузки (ББЗ), листовой загрузочный материал (поливом), ершовая загрузка, подвижная (плавающая) загрузка. Рассмотрено применение загрузочного материала в различных зонах биореактора: аэробной, анаэробной и анаэробной. Наблюдается негативный эффект от наличия загрузочного материала в аэробной или анаэробной зоне биореактора, связанный, прежде всего, с трудностями эксплуатации и ошибками проектирования. Использование загрузочного материала в анаэробной и анаэробной зоне должно иметь серьезные обоснования и приводить к положительному эффекту в ряде случаев. Описаны особенности применения загрузочного материала в аэробной зоне. Отмечается, что при правильном монтаже и эксплуатации использование загрузочного материала в аэробной зоне биореактора приводит к увеличению окислительной мощности по удалению соединений азота и органическим загрязнениям на 30–50 %. Использование данной технологии требует особого внимания к механической ступени очистки, корректного монтажа загрузочного материала, высокого уровня квалификации персонала, задействованного в эксплуатации сооружения. В статье также представлены технологические параметры исследованного загрузочного материала и приведен укрупненный расчет экономической эффективности применения загрузочного материала в биореакторе.

Ключевые слова: загрузочный материал, азот аммонийный, нитрификация, денитрификация, биореактор

Для цитирования: Февральских О.В., Гогина Е.С., Кондюрин Н.Ю. Интенсификация работы сооружений биологической очистки с использованием загрузочного материала // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 59–64. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.59-64

INTENSIFICATION OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS USING LOADING MATERIAL

Olga V. Fevral'skikh^{1, 2}, Elena S. Gogina^{1, 2}, Nikolay Yu. Kondyurin^{2, 3}

¹ Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences
(NIISF RAASN); Moscow, Russian Federation;

² Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI);
Moscow, Russian Federation;

³ VT EXPERT LLC; Moscow, Russian Federation

The article discusses the possibility of intensifying the operation of bioreactors using loading material, and highlights the potential of using loading due to the possibility of significantly reducing the volume of bioreactors. The use of a combination of suspended and attached forms of activated sludge allows for increased treatment efficiency with the same size of the facility. The study focused on biological treatment facilities for domestic wastewater with a capacity ranging from 500 to 10,000 m³/day. The following loading materials were evaluated during the study: biological loading units, leaf loading material, bristle loading, and mobile (floating) loading. The use of loading material in various zones of the bioreactor, such as the aerobic, anoxic, and anaerobic zones, is discussed. The presence of loading material in the aerobic or anoxic zone of the bioreactor can have a negative effect, primarily due to operational difficulties and design errors. However, the use of loading material in the anaerobic and anoxic zone should be carefully considered

and may have positive effects in certain cases. The specific features of using loading material in the aerobic zone are also described. It is noted that, when properly installed and operated, the use of loading material in the aerobic zone of the bioreactor leads to an increase in the oxidative capacity for removing nitrogen compounds and organic contaminants by 30–50 %. The use of this technology requires special attention to the mechanical treatment stage, proper installation of the loading material, and a high level of expertise among the personnel involved in the operation of the facility.

Keywords: loading material, ammonium nitrogen, nitrification, denitrification, bioreactor

For citation: Fevralskikh O.V., Gogina E.S., Kondyurin N.Yu. Intensification of biological wastewater treatment plants using loading material. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2025; 4:59-64. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.59-64 (rus.).

Введение

Для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод традиционно используются сооружения биологической очистки с взвешенной формой активного ила. В условиях усиления требований к экологической безопасности и устойчивому развитию особое внимание уделяется совершенствованию технологий биологической очистки сточных вод, в том числе с применением загрузочных материалов, фиксирующих на себе биомассу. Использование сочетания взвешенной и прикрепленной формы активного ила позволяет увеличить эффективность очистки от соединений азота и органических загрязнений при тех же размерах сооружения [1–5].

Загрузочный материал применяется в аэротенках, SBR-реакторах, затопленных и капельных биофильтрах, исследования отечественных ученых свидетельствуют об увеличении окислительной мощности по удалению азота аммонийного и органических загрязнений на 20–30 % при достаточно низкой дозе биомассы [2–6].

Практика применения носителей прикрепленного биоценоза достаточно широка, чаще всего используются стационарные (фиксированные) и подвижные загрузочные материалы в аэробной зоне реактора, в работах [4, 7, 8] подробно описаны существующие загрузочные материалы, авторы отмечают, что блоки биологической загрузки и поливом, а также плавающие загрузочные материалы широко применимы в качестве носителя биомассы.

В аэробной зоне реакторов широко применяется загрузочный материал. Его использование демонстрирует два значимых преимущества: рост окислительной мощности и повышенную устойчивость к залповым сбросам [9]. Существуют также исследования использования загрузочного материала и в анаэробной зоне [4, 7].

Тем не менее практика эксплуатации демонстрирует неоднозначные результаты использования загрузочного материала в зонах биореакторов: фиксируются эксплуатационные сложности [10] и явление кольматации [11]. Целесообразно исследовать применение загрузочного материала в различных зонах реактора, систематизировать и обобщить особенности его эксплуатации, проанализировать

технологические характеристики в зависимости от зоны размещения и оценить экономическую эффективность использования загрузки.

Материалы и методы

Объектом исследования являлись биологические очистные сооружения хозяйственно-бытовых сточных вод производительностью от 500 до 10 000 м³/сут.

Оценивались эксплуатационные характеристики биореакторов с загрузочным материалом, учитывая:

- зону биореактора (аэробную и анаэробную);
- расположение в схеме (включая наличие или отсутствие первичных отстойников);
- тип загрузочного материала.

Исследуемые загрузочные материалы представлены в табл. 1. Пористости и величина удельной поверхности указаны в соответствии с данными, указанными производителем.

Таблица 1. Исследуемые полимерные загрузочные материалы

Загрузка	Пористость, %	Удельная поверхность, м²/м³
Листовая (поливом)	до 90	2500
ББЗ (блок биологической загрузки)	До 90	150
Подвижная	До 95	650
Ершовая	До 95	65

Оценка технологических показателей осуществлялась по дозе прикрепленной биомассы, эффективность очистки оценивалась по количественным химическим анализам.

Анализ использования загрузочного материала в разных зонах биореактора

С целью интенсификации работы биореакторов загрузочный материал располагают, как правило, в аэробной зоне биореактора, где происходят процессы нитрификации. Реже загрузочный материал используют в зонах денитрификации (анаэробной и анаэробной). Рассмотрим особенности использо-

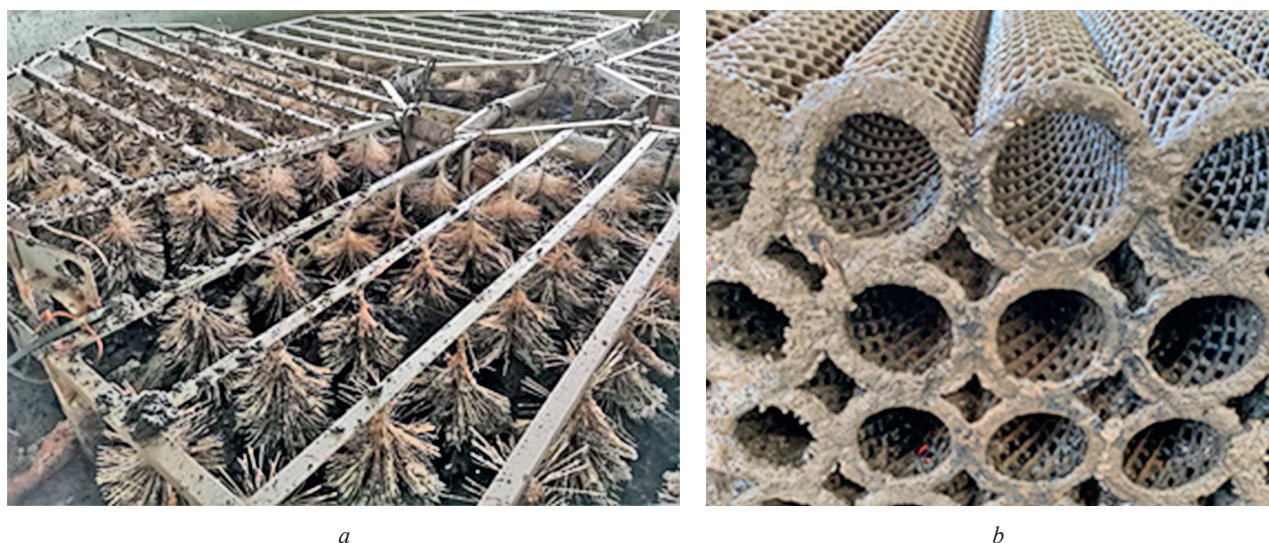


Рис. 1. Примеры неудачной эксплуатации загрузочного материала, размещенного в анаэробной и аноксидной зоне биореактора: *a* — ершовый загрузочный материал; *b* — ББЗ

вания загрузочного материала в разных зонах биореактора.

Аноксидная и анаэробная зона аэротенка характеризуются отсутствием аэрации и наличием мешалок. Вследствие этого возникает ряд ограничений использования загрузочного материала.

Так, подвижный загрузочный материал может попадать в перемешивающее устройство, поэтому стоит либо использовать сетки (что усложняет процесс регенерации), либо выбирать стационарный загрузочный материал.

На рис. 1 представлены примеры неудачной эксплуатации биореактора с загрузочным материалом в анаэробной либо аноксидной зоне.

Микробиологический анализ показывает практически полное отсутствие микроорганизмов в такой пленке, загрузка забита песком и взвешенными веществами. Не наблюдается какой-либо очистки.

Такая ситуация возникает вследствие проектных и эксплуатационных ошибок:

- песок на загрузочном материале возникает из-за отсутствия первичных отстойников (либо их некорректной работы), а также некорректной работы песколовок;
- в анаэробной и аноксидной зоне следует регулярно проводить регенерацию загрузочного материала, отсутствие регенерации ведет к возникновению застойных зон, загниванию биомассы.

Также следует отметить, что наличие загрузочного материала в аноксидной или анаэробной зоне препятствует процессу перемешивания и поддержанию активного ила во взвешенном состоянии.

Таким образом, наблюдается негативный эффект от наличия загрузочного материала в аэробной или аноксидной зоне биореактора, связанный, прежде

всего, с трудностями эксплуатации и ошибками проектирования. Использование загрузочного материала в анаэробной и аноксидной зоне должно иметь серьезные обоснования и приводить к положительному эффекту в ряде случаев (необходимость источника дополнительного питания для реализации процессов денитрификации) [7, 12].

Аэробная зона аэротенка характеризуется наличием аэрации и традиционно используется для расположения загрузочного материала.

Однако ошибки монтажа загрузочного материала также могут привести к отсутствию эффекта очистки сточных вод. На рис. 2 представлены примеры ошибок монтажа, которые приводят к ухудшению качества очистки.

В аэробной зоне следует уделять особое внимание креплению загрузочного материала, так как может произойти всплытие носителя биомассы на поверхность (рис. 2, *a*).

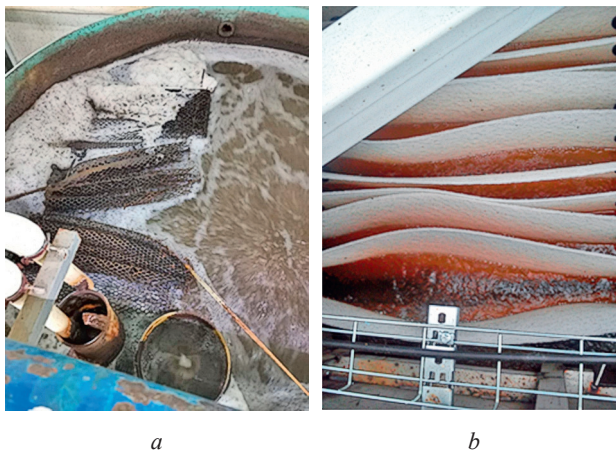


Рис. 2. Примеры неудачного монтажа загрузочного материала, размещенного в аэробной зоне биореактора: *a* — ББЗ; *b* — поливом

Следует также отметить, что плотное расположение загрузки, соприкосновение материала между собой (рис. 2, *b*) ведут к образованию застойных зон.

Однако при правильном монтаже и эксплуатации использование загрузочного материала в аэробной зоне биореактора приводит к увеличению окислительной мощности по удалению соединений азота и органическим загрязнениям на 30–50 % [13].

Технологические показатели исследуемого загрузочного материала

Для использования загрузочных материалов с целью интенсификации работы биореакторов следует определить их технологические показатели.

Одним из наиболее важных параметров эксплуатации является регенерация загрузочного материала. На рис. 3 представлен загрузочный материал ББЗ, который не подвергался принудительной регенерации.

Обозначенная проблема решается организацией принудительной регенерации, частота которой в среднем составляет 1 раз в месяц.

В ходе исследования также определялась доза прикрепленной биомассы, результаты исследования представлены в табл. 2.

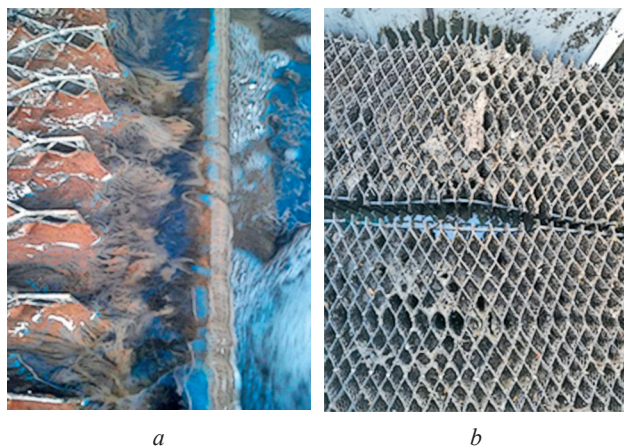


Рис. 3. Загрузочный материал ББЗ: *a* — без принудительной регенерации; *b* — зарастание межъячеистых пространств и загнивание биомассы

Таблица 2. Технологические показатели загрузочных материалов

Технологические показатели	Вид загрузочного материала		
	ББЗ	Поливом	Подвижная
Способность к саморегенерации	Нет	Есть	Есть
Периодичность регенерации	1 раз в месяц	Не требуется	Не требуется
Доза прикрепленной биомассы, г/л	0,5–0,6	0,5–0,7	0,2–0,6

Как видно из табл. 2, не все загрузочные материалы требуют принудительной регенерации, в некоторых случаях происходит саморегенерация за счет аэрации, биоценоза прикрепленной биомассы, строения загрузочного материала и других факторов.

Также отмечается низкая доза (0,2–0,7 г/л) прикрепленной биомассы. При этом наблюдается увеличение окислительной мощности (по соединениям азота и органическим загрязнениям) на 30–50 % [14].

Технико-экономическое обоснование применения загрузочного материала

Расчет технико-экономического обоснования применения загрузочного материала следует производить отдельно в каждом случае. Однако для понимания экономического эффекта приведем пример расчета капитальных затрат.

В соответствии со сборником 19 НЦС 81-02-19–2025 [15] произведем расчет стоимости одного аэротенка условного объема (95 500 м³/сут), которая составит 1 459 048 500 руб. в ценах 2025 г. При применении загрузочного материала можно использовать на 30 % меньше объема сооружения, тогда стоимость одного аэротенка составит 1 122 345 000 руб. При этом следует учесть стоимость загрузочного материала, которая для сооружения такого объема составит 30 000 000 руб.

Приведенный укрупненный расчет капитальных затрат является частным случаем, однако дает представление об экономической эффективности применения загрузочных материалов.

Выводы

1. Использование загрузочного материала в аэробных зонах биореакторов может существенно снизить объем сооружения.
2. Использование загрузочного материала при ошибках проектирования и эксплуатации снижает эффективность очистки.
3. Расчет биореактора, основанный на дозе биомассы, не всегда корректен.
4. Применение загрузочного материала в условиях корректного проектирования, монтажа и эксплуатации позволяет снизить стоимость капитальных затрат более чем на 20 %.

Заключение

Результаты исследований, приведенные в данной работе, показали высокую эффективность применения загрузочного материала в аэробной зоне биореактора при низкой дозе биомассы. Использование данной технологии требует особого внима-

ния к механической ступени очистки, корректного монтажа загрузочного материала, высокого уровня квалификации персонала, задействованного в экс-

плуатации сооружения. Исследования показывают, что целесообразно применение загрузочных материалов, прежде всего, в аэробных зонах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гогина Е.С., Гульшин И.А., Спасибо Е.В. Исследования работы и основы расчета затопленного биореактора для очистки сточных вод в условиях периодического использования // Современные инженерные проблемы ключевых отраслей экономики страны : сб. науч. тр. IV Междунар. Косыгинского форума «Проблемы инженерных наук: формирование технологического суверенитета». М. : РГУ им. А.Н. Косыгина, 2024. С. 204–207. EDN UCAAZW.
2. Макиша Н.А., Смирнов Д.Г. Глубокое удаление аммонийного азота из сточных вод с применением плавающего загрузочного материала // Водоочистка. 2013. № 11. С. 23–27. EDN REVUZH.
3. Ha Quan T., Gogina E., Makisha N. et al. Improving Nitrogen Removal Efficiency in SBR Reactors by Controlling Operational Phases // Applied Sciences (Switzerland). 2023. Vol. 13. No. 19. P. 10906. DOI: 10.3390/app131910906. EDN NDDDYD.
4. Слоцов А.А. Совершенствование процессов биологической очистки сточных вод с помощью прикрепленных биоценозов // Вестник МГСУ. 2008. № 3. С. 80–85.
5. Швецов В.Н., Морозова К.М., Смирнова И.И. и др. Использование блоков биологической загрузки на сооружениях очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 10–2. С. 25–31. EDN MVREYB.
6. Бочкунова Д.Г. Использование носителя биомассы для интенсификации работы аэротенков. 2019.
7. Янцен О.В., Гогина Е.С. Технология очистки сточных вод от соединений азота на биофильтрах // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 12. С. 60–64. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.12.60-64. EDN BVHEKK.
8. Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю. Применение каркасной загрузки для формирования иммобилизованного биоценоза в аэротенке // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4 (51). С. 753–763.
9. Харькина О.В. Новые разработки Инженерно-технологического центра МГУП «Мосводоканал» // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2011. № 2 (38). С. 56–68. EDN NXVAEN.
10. Пукемо М. Проблемы обслуживания очистных сооружений и способы их решения // ВОДА MAGAZINE (Издательский дом «ЭкоМедиа»). 2016. Т. 6. № 106. С. 32–35.
11. Макиша Н.А., Смирнов Д.Г. Комплексная очистка сточных вод с минимизацией образования избыточного активного ила и осадка // Вестник МГСУ. 2012. № 12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnaya-ochistka-stochnyh-vod-s-minimizatsiey-obrazovaniya-izbytochnogo-aktivnogo-ila-i-osadka-1> (дата обращения: 15.12.2025).
12. Цитлишвили Е.А. Удаление соединений азота и фосфора из сточных вод предприятий пищевой промышленности // Экология и промышленность. 2018. № 3–4 (56–57). С. 51–56. EDN YWBXNJ.
13. Янцен О.В., Канхва В.С., Гогина Е.С. Управление техническими и технологическими рисками канализационных очистных сооружений на всех стадиях жизненного цикла // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2022. № 1 (37). С. 97–105. DOI: 10.21869/2311-1518-2022-37-1-97-105. EDN PFNAJD.
14. Бобылева Т.Н., Шамаев А.С., Янцен О.В. Математическая модель фильтра для водоочистки с использованием биопленок // Сибирский журнал индустриальной математики. 2023. Т. 26. № 2 (94). С. 25–36. DOI: 10.33048/SIBJIM.2023.26.203. EDN XIGNQJ.
15. Об утверждении укрупненных нормативов цены строительства : приказ Минстроя России от 5 марта 2025 г. № 136/пр. Укрупненные нормативы цены строительства. НЦС 81-02-19–2025. Сборник № 19. Здания и сооружения городской инфраструктуры.

Об авторах: **Ольга Викторовна Февральских** — канд. техн. наук, инженер; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии строительных наук (НИИСФ РААСН)**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр-д, д. 21; старший преподаватель кафедры строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения; **Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ)**; 117485, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23; e-mail: olgafevralskih@yandex.ru;

Елена Сергеевна Гогина — канд. техн. наук, доцент, главный научный сотрудник; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии строительных наук (НИИСФ РААСН)**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр-д, д. 21; зав. кафедрой строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения; **Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ)**; 117485, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23; e-mail: gogina-es@yandex.ru;

Николай Юрьевич Кондюрин — аспирант кафедры строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения; **Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ)**; 117485, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23; главный инженер-технолог; **ООО «ВТ ЭКСПЕРТ»**; 127006, г. Москва, ул. Малая Дмитровка, д. 4, помещ. 1/3; e-mail: n@knd88.ru.

REFERENCES

1. Gogina E.S., Gulshin I.A., Spasibo E.V. Research on the operation and calculation basics of a submerged bioreactor for wastewater treatment under periodic use conditions. *Modern engineering problems of key sectors of the national economy : collection of scientific works of the IV International Kosygin Forum "Engineering Science Challenges: Forming Technological Sovereignty"*. Moscow, Kosygin Russian State University, 2024; 204-207. EDN UCAAZW. (rus.).
2. Makisha N.A., Smirnov D.G. Deep removal of ammonium nitrogen from wastewater using floating loading material. *Water Treatment*. 2013; 11:23-27. EDN REVUZH. (rus.).
3. Ha Quan T., Gogina E., Makisha N. et al. Improving Nitrogen Removal Efficiency in SBR Reactors by Controlling Operational Phases. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2023; 13(19):10906. DOI: 10.3390/app131910906. EDN NDDDYD.
4. Slovtsov A.A. Improving biological wastewater treatment processes using attached biocenoses. *Vestnik MGSU*. 2008; 3:80-85. (rus.).
5. Shvetsov V.N., Morozova K.M., Smirnova I.I. et al. Using biological loading units in wastewater treatment facilities. *Water Supply and Sanitary Engineering*. 2010; 10-2:25-31. EDN MVREYB. (rus.).
6. Bochkunova D.G. *Use of a biomass carrier to intensify the operation of aeration tanks*. 2019. (rus.).
7. Yanczen O.V., Gogina E.S. Technology for treating wastewater from nitrogen compounds in biofilters. *Industrial and Civil Construction*. 2022; 12:60-64. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.12.60-64. EDN BVHEXX. (rus.).
8. Kulkov V.N., Soloponov E.Yu. Application of frame loading for the formation of an immobilized biocenosis in an aeration tank. *Proceedings of Universities. Investments. Construction. Real Estate*. 2024; 14:(51):753-763. (rus.).
9. Kharkina O.V. New developments of the Engineering and Technology Center of MGUP "Mosvodokanal". *Water Treatment. Water Preparation. Water Supply*. 2011; 2(38):56-68. EDN NXVAEN. (rus.).
10. Pukemo M. Problems of wastewater treatment plant maintenance and ways to solve them. *VODA MAGAZINE (Publishing House "EcoMedia")*. 2016; 6(106):32-35. (rus.).
11. Makisha N.A., Smirnov D.G. Comprehensive wastewater treatment with minimization of excess activated sludge and sediment formation. *Vestnik MGSU*. 2012; 12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnaya-ochistka-stochnyh-vod-s-minimizatsiey-obrazovaniya-izbytochnogo-aktivnogo-ila-i-osadka-1> (accessed:15.12.2025). (rus.).
12. Tsitlshvili E.A. Removal of nitrogen and phosphorus compounds from wastewater of food industry enterprises. *Ecology and Industry*. 2018; 3-4(56-57):51-56. EDN YWBXNJ. (rus.).
13. Yanczen O.V., Kanhva V.S., Gogina E.S. Managing technical and technological risks of sewage treatment plants at all stages of the life cycle. *Biospheric Compatibility: Human, Region, Technology*. 2022; 1(37):97-105. DOI: 10.21869/2311-1518-2022-37-1-97-105. EDN PFNAJD. (rus.).
14. Bobyleva T.N., Shamaev A.S., Yanczen O.V. Mathematical model of a water treatment filter using biofilms. *Siberian Journal of Industrial Mathematics*. 2023; 26:(94):25-36. DOI: 10.33048/SIBJIM.2023.26.203. EDN XIGNQJ. (rus.).
15. On approval of enlarged construction price standards : Order of the Ministry of Construction of Russia dated March 5, 2025 No. 136/pr. Enlarged construction price standards. NCS 81-02-19-2025. Collection No. 19. Buildings and structures of urban infrastructure.

About the authors: **Olga V. Fevral'skikh** — Candidate of Technical Sciences, Engineer; **Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Locomotivnyi passage, Moscow, 127238, Russian Federation; Senior Lecturer at the Department of Construction of Water Supply and Sanitation Systems and Facilities; **Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI)**; 23 Miklouho-Maclay st., Moscow, 117485, Russian Federation; e-mail: olgafevral'skikh@yandex.ru;

Elena S. Gogina — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Scientific Office; **Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Locomotivnyi passage, Moscow, 127238, Russian Federation; Head of the Department of Construction of Water Supply and Sanitation Systems and Facilities; **Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI)**; 23 Miklouho-Maclay st., Moscow, 117485, Russian Federation; e-mail: gogina-es@yandex.ru;

Nikolay Yu. Kondyurin — Postgraduate student at the Department of Construction of Water Supply and Sanitation Systems and Facilities; **Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI)**; 23 Miklouho-Maclay st., Moscow, 117485, Russian Federation; Chief Process Engineer; **VT EXPERT LLC**; 4 Malaya Dmitrovka st., build. 1/3, Moscow, 127006, Russian Federation; e-mail: n@knd88.ru.

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 65–72.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 697.433.4

DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.65-72

ВЫСВОБОЖДЕНИЕ ГАЗОВ ИЗ РАСТВОРЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ТРУБАХ СИСТЕМ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Алексей Юрьевич Кашуркин¹, Сергей Михайлович Усиков²,
Инна Вячеславовна Мельникова¹, Владислав Михайлович Флоренский¹

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры
и строительных наук (НИИСФ РААСН); г. Москва, Российская Федерация;

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ); г. Москва, Российская Федерация

В настоящей работе описывается процесс высвобождения растворенных газов в системах водяного отопления. Проанализированы условия и стадии перехода газа из растворенного состояния в свободное. Ключевым результатом работы является вывод аналитической формулы для определения диаметра отрыва пузырька, учитывающей шероховатость трубы, температуру теплоносителя и среднюю скорость потока. Предложенные формулы распределения скоростей в сечении потока учитывают наличие ламинарного подслоя. На примере расчетов для вертикального стояка девятиэтажного здания показано, что статическое давление теплоносителя незначительно влияет на размер отрывающегося пузырька, в то время как снижение скорости потока существенно его увеличивает. Расчеты демонстрируют, что процесс дегазации в стандартных условиях является крайне медленным, что приводит к длительному пребыванию теплоносителя в состоянии перенасыщения кислородом. Это способствует интенсификации коррозионных процессов. Сделан вывод о недостаточности стандартных автоматических воздухоотводчиков для эффективного удаления растворенных газов при подпитке воды недеаэрированной водой. Обоснована необходимость применения сепараторов воздуха для быстрой стабилизации газового режима системы и защиты оборудования от коррозии. Практическая значимость работы заключается в предоставлении методики для оценки интенсивности выделения газов в свободное состояние при движении теплоносителя по трубам.

Ключевые слова: система водяного отопления, теплоноситель, растворимость газов, воздухоудаление, воздухоотводчики

Для цитирования: Кашуркин А.Ю., Усиков С.М., Мельникова И.В., Флоренский В.М. Высвобождение газов из растворенного состояния в трубах систем водяного отопления // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 65–72. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.65-72

GAS LIBERATION FROM THE DISSOLVED STATE IN PIPES OF WATER HEATING SYSTEMS

Alexey Yu. Kashurkin¹, Sergey M. Usikov², Inna V. Melnikova¹, Vladislav M. Florensky¹

¹ Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences
(NIISF RAASN); Moscow, Russian Federation;

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation

This paper describes the process of dissolved gas liberation in water heating systems. The conditions and stages of gas transition from the dissolved to the free state are analyzed. A key result of the work is the derivation of an analytical formula for determining the bubble detachment diameter, which accounts for pipe wall roughness, heat transfer fluid temperature, and average flow velocity. The proposed formulas for velocity distribution in the flow cross-section consider the presence of a laminar sublayer. Calculations for a vertical riser of a nine-story building show that the static pressure of the heat transfer fluid has an insignificant effect on the size of a detaching bubble, while a decrease in flow velocity substantially increases it. The calculations demonstrate that the degassing process under standard conditions is extremely slow, leading to a prolonged state of oxygen supersaturation in the heat transfer fluid. This intensifies corrosion processes. It is concluded that standard automatic air vents are insufficient for the effective removal of dissolved gases when the system is replenished with non-deaerated water. The necessity of using air separators for rapid stabilization of the system's gas regime and for equipment corrosion protection is substantiated. The practical significance of the work lies in providing a methodology for assessing the intensity of gas liberation into the free state during the movement of the heat transfer fluid through pipes.

Keywords: water heating system, heat transfer fluid, gas solubility, air removal, air vents

For citation: Kashurkin A.Yu., Usikov S.M., Melnikova I.V., Florensky V.M. Gas liberation from the dissolved state in pipes of water heating systems. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2025; 4:65-72. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.65-72 (rus.).

Введение

В системах водяного отопления важным фактором, влияющим на долговечность системы, является скорость протекания процесса электрохимической и химической коррозии. Основным агентом процесса электрохимической коррозии является кислород, концентрация которого в значительной мере влияет на скорость протекания процесса [1–3]. Теплоноситель систем отопления обладает определенным регламентируемым диапазоном показателя pH (около 8,5, что относится к слабощелочным средам [4]), что характерно для нейтральных вод [5, 6]. Также на скорость коррозии сильно влияет материал, из которого изготавливаются элементы системы отопления [7], однако для черных не легированных сталей значительным фактором будет являться именно концентрация кислорода.

Растворимость газов в теплоносителе систем водяного отопления зависит от температуры и, в большей мере, от давления [8]. При превышении порога растворимости наличие избыточного количества газа приводит к процессу перехода его из растворенного в свободное состояние, что, в свою очередь, приводит к образованию воздушных пробок. Тем не менее для высвобождения газа в свободное состояние необходим целый ряд условий. Образование пузырьков высвобождающегося газа, как и в случае кипения, не может происходить в объеме жидкости, для этого необходимо наличие так называемого очага, или нуклеационного центра. Очагом может выступать либо шероховатость стенок канала, либо взвешенные частицы в теплоносителе. Таким образом, для высвобождения газа из раствора необходимо одновременное наличие двух факторов: насыщения раствора газами и шероховатость поверхности канала.

Можно выделить следующие стадии процесса выхода пузырьков из растворенного состояния в свободное, с последующим появлением воздушных пробок:

1. Зарождение пузырьков газа (достижение минимального радиуса пузырька $r_{\text{мин}}$) на поверхности труб/теплообменных аппаратов.
2. Рост пузырьков и их отрыв при диаметре $d_{\text{отр}}$.
3. Движение пузырька [9] в верхнюю часть системы отопления с увеличением его объема V .
4. «Застревание» пузырьков воздуха в горизонтальных трубных участках или отопительных приборах.
5. Накопление объема воздушных «полостей».

Важными, с точки зрения количества высвобождающегося газа из системы, являются второй и третий этапы, так как они определяют объем высвободившегося газа и объем газовых пробок в верхней части системы.

Научная новизна проведенного исследования заключается в следующем:

1. Получение зависимости диаметра отрывающегося пузырька кислорода от гидродинамических характеристик потока теплоносителя, его температуры и шероховатости поверхности стенки.

2. Определена единая формула для расчета скорости потока в ламинарном подслое и турбулентном ядре потока.

Практической значимостью исследования является представленная методика, позволяющая определить способность отдельных элементов системы отопления (стенка трубы, арматуры или отопительного прибора) выводить растворенный в теплоносителе кислород в свободное состояние для последующего удаления воздухоотводящими устройствами. Указана недостаточная эффективность мероприятий по установке автоматических воздухоотводчиков в верхней части системы.

Модели и методы

В неподвижной жидкости нахождение пузырька газа на шероховатой поверхности канала может продолжаться при соблюдении условия гидростатического равновесия [10]:

$$H_z = H_0 + \frac{g\Delta\rho z}{2\sigma_t}, \quad (1)$$

где H_z и H_0 — средняя кривизна тела вращения на высоте z и на начальном участке, 1/м;

g — ускорение свободного падения, 9,81 м/с²;

$\Delta\rho$ — разность плотностей газа и жидкости, кг/м³;

σ_t — коэффициент поверхностного натяжения теплоносителя, Н/м;

При учете динамического давления, вызванного потоком жидкости, формула (1) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} H_z &= H_0 + \frac{g\Delta\rho z + P_{\text{дин}}}{2\sigma_t} = \\ &= H_0 + \frac{g(\rho_v - \rho_g)z + \rho_v v^2/2}{2\sigma_t}, \end{aligned} \quad (2)$$

где ρ_v — плотность воды, кг/м³;

ρ_g — плотность газа в пузырьке, кг/м³;

v — средняя скорость движения потока, действующая на пузырек, м/с.

С учетом формулы (2) и преобразований, представленных в работе [10], предлагается следующая формула для определения диаметра отрыва газового пузырька, учитывающая динамическое давление, оказываемое потоком на пузырек, и условие равновесия:

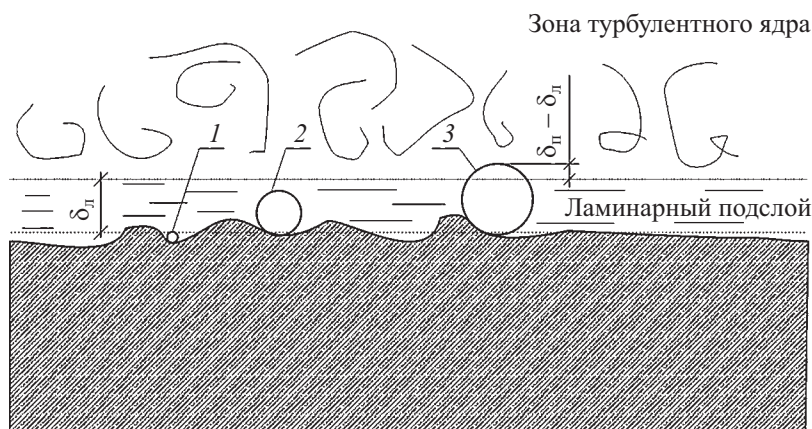


Рис. 1. Варианты размера пузырька на шероховатом слое трубы: 1 — зарождение пузырька при его диаметре $d_n < d_k$; 2 — развитие пузырька при $d_n < \delta_l$; 3 — развитие пузырька при $d_n > \delta_l$

$$d_{отр} = \sqrt[3]{\frac{6d_k\sigma_t}{g(\rho_B - \rho_r) + \frac{\rho_B v^2}{d_{отр}}}}, \text{ м}, \quad (3)$$

где d_k — характерный размер шероховатости стенки, м;

$d_{отр}$ — диаметр отрывающегося пузырька, м.

Поскольку пузырек начинает формироваться в углублении шероховатости стенки (рис. 1), где поток практически не обладает скоростью, то и динамическое давление практически не оказывает влияния на отрыв пузырька. Как только его размеры становятся больше углубления, то он попадает в ламинарный подслой турбулентного потока, скорость движения жидкости в котором увеличивается по мере отдаления от стенки трубы.

Согласно гипотезе Прандтля [4], толщина ламинарного подслоя может определяться формулой:

$$\delta_l \approx \frac{11,6v_B}{v^*}, \quad (4)$$

где δ_l — толщина ламинарного подслоя, мм;

v_B — кинематическая вязкость теплоносителя, $\text{м}^2/\text{с}$;

v^* — скорость сдвига, м/с, определяющаяся для цилиндрической трубы по формуле [11]:

$$\frac{v^*}{v_{cp}} = \sqrt{\frac{\lambda}{8}}, \quad (5)$$

где v_{cp} — средняя скорость турбулентного потока, м/с;

λ — коэффициент гидродинамического трения (коэффициент Дарси), который для переходного и ламинарного режима может быть определен по формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{\text{Re}} + \frac{k_\Sigma}{d_{BH}} \right)^{0,25}, \quad (6)$$

где k_Σ — коэффициент эквивалентной шероховатости, м;

d_{BH} — внутренний диаметр трубы, м;

Re — число Рейнольдса, определяемое по формуле:

$$\text{Re} = \frac{v_{cp} d_{BH}}{v_B}. \quad (7)$$

С учетом формул (5)–(7) толщина ламинарного подслоя, мм, может быть определена как:

$$\delta_l \approx \frac{11,6v_B}{v_{cp} \sqrt{\frac{\lambda}{8}}} = \frac{98,925v_B d_{BH}^{0,125}}{v_{cp}^{0,825} (68v_B + v_{cp} k_\Sigma)^{0,125}}. \quad (8)$$

Предложенная формула (8) позволяет определить, находится ли формирующийся пузырек воздуха в ламинарном подслое, или уже верхней частью попадает в турбулентный поток.

Логарифмическое распределение в пристенном турбулентном сечении, полученное Прандтлем, позволяет определить скорость движения теплоносителя в ламинарном подслое, в зависимости от координаты по высоте:

$$v_y = v^* \left(5,75 \lg \frac{yv^*}{v_B} + 5,5 \right), \quad (9)$$

где y — координата по оси, перпендикулярной скорости потока, м.

С учетом формул (5)–(7) уравнение (9) примет следующий вид:

$$v_y = 0,674 v_{cp}^{0,875} \left(\frac{68v_B + v_{cp} k_\Sigma}{d_{BH}} \right)^{0,125} \times \lg \frac{1,061 y v_{cp}^{0,875} (68v_B + v_{cp} k_\Sigma)^{0,125}}{d_{BH}^{0,125} v_B}. \quad (10)$$

Предположим, что динамическое давление, оказываемое на пузырек в зоне ламинарного подслоя, может быть определено от средней скорости в верхней и нижней части пузырька. Поскольку в нижней части скорость равна нулю, то средняя скорость будет равна половине скорости на отметке верха пузырька, т.е. его диаметра $d_{\text{п}}$. Тогда скорость в формуле (3) определяется как скорость на отметке половины диаметра пузырька, $v = d_{\text{отр}}/2$.

Подставляя уравнение (10) в (3) методом последовательных приближений, можно получить диаметр отрывающегося пузырька, если его конечный размер не будет превышать ламинарный подслон (рис. 1). Если $\delta_{\text{л}} < d_{\text{отр}}$, то необходимо учитывать скорость потока, сформировавшуюся в турбулентном ядре потока. В турбулентном потоке зависимость осредненной скорости потока от координаты описывается следующим логарифмическим законом [12]:

$$\frac{v_y}{v^*} = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{y v^*}{v_b} \right) + C, \quad (11)$$

где k — константа Кармана, 0,41;

C — эмпирическая константа, 5.

Подставив формулы (5)–(7) в (11) и проведя несколько преобразований, получим аналог уравнения (10), но уже для координат, попадающих в турбулентное ядро потока:

$$v_y^{\text{турб}} = 0,2855 v_{\text{ср}}^{0,875} \left(\frac{68 v_b + v_{\text{ср}} k_{\text{э}}}{d_{\text{вн}}} \right)^{0,125} \times \ln \frac{0,908 y v_{\text{ср}}^{0,875} (68 v_b + v_{\text{ср}} k_{\text{э}})^{0,125}}{d_{\text{вн}}^{0,125} v_b}. \quad (12)$$

В формуле (12) можно преобразовать натуральный логарифм в десятичный и привести к виду формулы (10):

$$v_y^{\text{турб}} = 0,658 v_{\text{ср}}^{0,875} \left(\frac{68 v_b + v_{\text{ср}} k_{\text{э}}}{d_{\text{вн}}} \right)^{0,125} \times \lg \frac{0,908 y v_{\text{ср}}^{0,875} (68 v_b + v_{\text{ср}} k_{\text{э}})^{0,125}}{d_{\text{вн}}^{0,125} v_b}. \quad (13)$$

Формулы (10) и (13) отличаются только численными коэффициентами, поэтому можно их привести к единому выражению:

$$v_y = A v_{\text{ср}}^{0,875} \left(\frac{68 v_b + v_{\text{ср}} k_{\text{э}}}{d_{\text{вн}}} \right)^{0,125} \times \lg \frac{B y v_{\text{ср}}^{0,875} (68 v_b + v_{\text{ср}} k_{\text{э}})^{0,125}}{d_{\text{вн}}^{0,125} v_b}, \quad (14)$$

где A и B — постоянные, зависящие от толщины ламинарного подслоя:

$$\begin{cases} A = 0,658; B = 0,908 \text{ при } \delta_{\text{л}} \leq y; \\ A = 0,674; B = 1,061 \text{ при } \delta_{\text{л}} > y. \end{cases} \quad (15)$$

Если часть растущего пузырька попадает в турбулентное ядро, то скорость в формуле (3) определяется как:

$$v = v_{\delta}^{\text{лам}} \frac{\delta_{\text{л}}}{d_{\text{п}}} + \frac{v_{\delta}^{\text{турб}} + v_d^{\text{турб}}}{2} \frac{d_{\text{п}} - \delta_{\text{л}}}{d_{\text{п}}} = \frac{v_{\delta}^{\text{лам}} 2\delta_{\text{л}} + (v_{\delta}^{\text{турб}} + v_d^{\text{турб}})(d_{\text{п}} - \delta_{\text{л}})}{2d_{\text{п}}}, \quad (16)$$

где $d_{\text{п}}$ — диаметр пузырька, м.

Поскольку скорость на границе между турбулентным и ламинарными слоями одинакова, т.е. $v_{\delta}^{\text{турб}} = v_{\delta}^{\text{лам}}$, и учитывая размеры отрывающегося пузырька $d_{\text{п}} = d_{\text{отр}}$, получим итоговую формулу для подстановки в уравнение (3):

$$v = \frac{\delta_{\text{л}} (v_{\delta} - v_d^{\text{турб}}) + d_{\text{отр}} (v_{\delta} + v_d^{\text{турб}})}{2d_{\text{отр}}}. \quad (17)$$

Поскольку газы являются сжимаемыми, то плотность газа в пузырьке будет значительно зависеть от статического давления. Значение плотности, в зависимости от давления, можно определить из уравнения Менделеева – Клапейрона. Тогда итоговая формула, полученная подстановкой уравнений (14) и (17) в (3), будет выглядеть следующим образом:

$$d_{\text{отр}} = \sqrt[3]{\frac{6d_{\text{к}}\sigma_t}{g(\rho_b - \frac{P_{\text{стат}}M}{RT}) + \frac{\rho_b v^2}{d_{\text{отр}}}}}, \quad (18)$$

где $P_{\text{стат}}$ — статическое давление теплоносителя в наблюдаемой точке, Па;

M — молярная масса газа, г/моль;

R — универсальная газовая постоянная 8,314 Дж/(К·моль);

T — температура газа, К.

Результаты исследования и их анализ

Рассмотрим следующий пример. Имеется вертикальный стояк системы отопления, выполненный из водогазопроводной трубы Ду 40, высотой 29 м (девятиэтажный дом). Давление в нижней части составляет 4,5 ат (3,5 избыточной атмосферы), средняя скорость потока 1,5 м/с. Необходимо определить диаметр отрывающихся пузырьков по высоте стояка. Температура теплоносителя 60 °С.

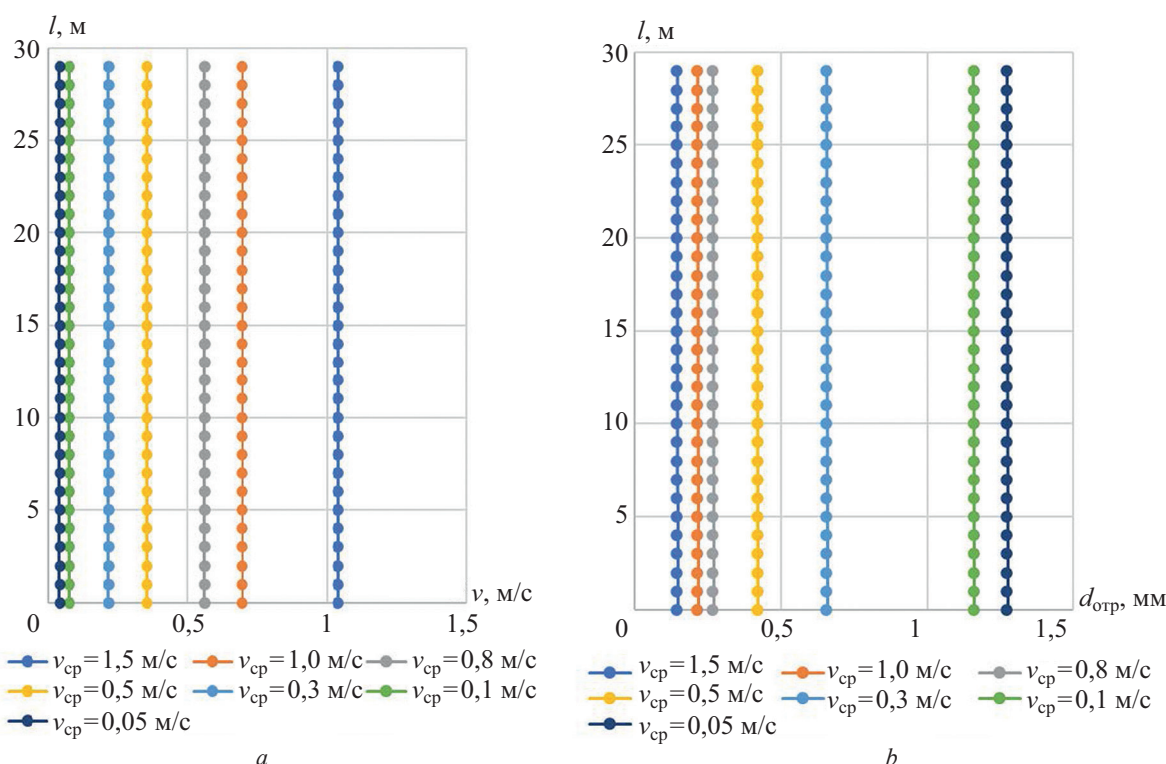


Рис. 2. Зависимость скорости, воздействующей на поток (а), и размера отрывающегося пузырька кислорода (b) от отметки вертикальной трубы

Без учета потери в местных сопротивлениях падение циркуляционного давления в стояке составит 23 759 Па. Падение статического давления между верхним и нижним сечением стояка составит 282 214 Па. Тогда общее падение давления между сечениями составит 305 973 Па или 10 551 Па/м. Толщина ламинарного подслоя, определенная по формуле (8), составит 0,085 мм.

Если предположить, что диаметр отрывающегося пузырька будет выступать из зоны ламинарного подслоя, то скорость на границе подслоя и турбулентного ядра, определенная по формуле (14), составит 1,01 м/с.

Определить среднюю скорость потока, действующую на пузырек напрямую, невозможно, потому что решение системы уравнений из (17) и (18) возможно только методом последовательных приближений.

Результаты расчета для пузырька кислорода при различной средней скорости потока представлены на рис. 2.

Из графиков видно, что изменение статического давления мало влияет на размер отрывающегося пузырька, а при уменьшении скорости потока в трубе с 1,5 до 0,05 м/с размер пузырька при отрыве увеличивается в 8,8 раза. Тогда, пренебрегая изменением статического давления, для пузырька кислорода можно получить зависимость диаметра отрывающегося пузырька от средней скорости потока (рис. 3), упростив формулу (18):

$$d_{отр} = \sqrt[3]{\frac{6d_k \sigma_t}{g\rho_v + \rho_v v^2/d_{отр}}}, \text{ м.} \quad (19)$$

Гидростатическое абсолютное давление в нижней части трубы составляет 455 963 Па, в верхней — 173 709 Па. Согласно работе [8], насыщение в нижней части при таких условиях воды кислородом происходит при концентрации кислорода c , равной 51 г/м³. По мере снижения давления и постоянной температуры растворимость газов снижается по закону Генри:

$$c_{верх} = c_{низ} \left(\frac{P_{ст.верх}}{P_{ст.низ}} \right) = 51 \frac{173\,700}{455\,963} = 19,43 \text{ г/м}^3, \quad (20)$$

где $c_{верх}$, $c_{низ}$ — концентрация кислорода в нижней и верхней части стояка, г/м³;

$P_{ст.верх}$, $P_{ст.низ}$ — статическое давление теплоносителя в верхней и нижней точке стояка, Па.

Объем воды в рассматриваемой трубе составляет 0,038 м³, следовательно, при движении жидкости из нижней в верхнюю точку должно выделиться 0,74 г кислорода. Объем свободного кислорода, скопившийся в верхней части трубы, при давлении в верхней части составит:

$$V = \frac{mRT}{MP_{ст.верх}} = \frac{0,74 \cdot 8,134 \cdot (273,15 + 40)}{32 \cdot 173\,700} = 0,00035 \text{ м}^3 = 0,35 \text{ л}, \quad (21)$$

где m — масса кислорода, г.

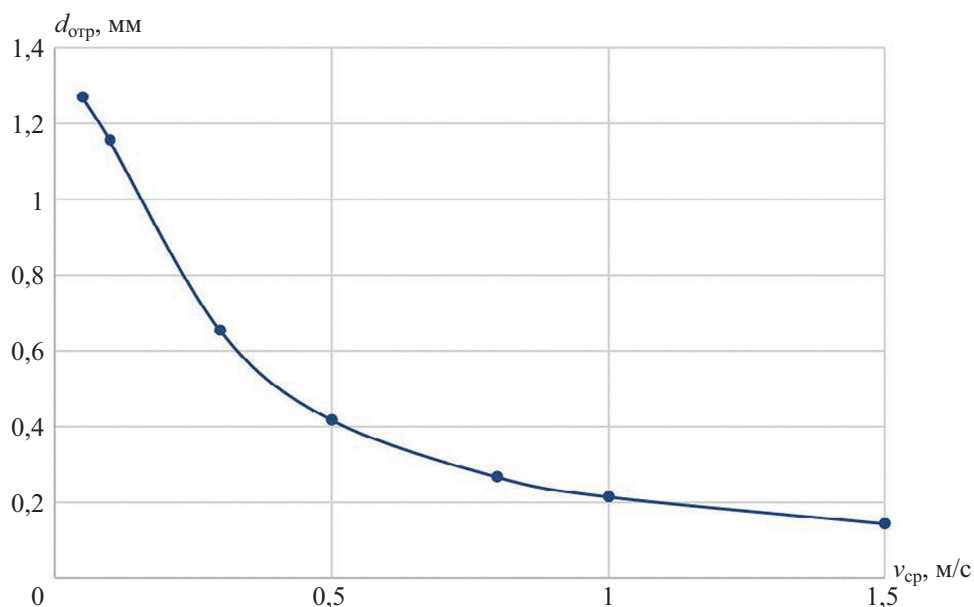


Рис. 3. Зависимость диаметра отрывающегося пузырька кислорода от средней скорости потока

Согласно закону Генри, для данного примера снижение концентрации кислорода на каждый метр высоты стояка составляет $1,09 \text{ г/м}^3$, или на каждый метр трубы должно выделиться из растворенного состояния $0,026 \text{ г}$ кислорода. С учетом формулы (19) на первом метре трубы должно образоваться и оторваться 2,95 миллиона пузырьков. С учетом площади основания пузырьков, при скорости $1,5 \text{ м/с}$ на 1 пог. м трубы максимально может образоваться (при условии плотного расположения) не более 7500 пузырьков одновременно. Таким образом, при прохождении всей длины трубы выделится примерно $1,332 \cdot 10^{-6} \text{ г}$ кислорода, а значит, необходимо 555 365 циклов, чтобы в верхней части системы стабилизировалась концентрация $19,43 \text{ г/м}^3$. При скорости $1,5 \text{ м/с}$ и длине циркуляционного кольца 100 м понадобится 428,5 сут непрерывной циркуляции.

Естественно, сам процесс образования пузырьков будет проходить не только в одном участке стояка, а во всех элементах системы, а также часть кислорода будет тратиться на коррозию. Но важным стоит отметить, что, несмотря на снижение давления в трубе по высоте и наличие большого количества растворенного кислорода, его высвобождение невозможно исключительно под влиянием изменения давления, необходима развитая площадь поверхности, на которой могут формироваться пузырьки. Применение обыкновенных автоматических воздухоотводчиков не решит вопрос скорости удаления газов из

перенасыщенного теплоносителя. Однако применение сепараторов воздуха [13, 14] может привести к более скорому выходу концентрации кислорода в теплоносителе системы отопления на требуемые значения [15].

Выводы

В результате исследования получена формула для определения диаметра отрывающегося пузырька в зависимости от шероховатости трубы, температуры теплоносителя и его средней скорости потока. Учитывая результаты расчета, на примере стояка трубы девятиэтажного здания можно сделать следующие выводы:

1. Статическое давление теплоносителя практически не оказывает влияние на диаметр отрывающегося пузырька.
2. Несмотря на снижение давления по высоте трубы, растворенный кислород не успевает высвободиться, а значит теплоноситель будет находиться в состоянии перенасыщения. Это может привести к интенсификации электрохимической коррозии.
3. Установка воздухоотводчика в верхней части системы может быть недостаточной, чтобы высвободить растворенный кислород из теплоносителя, при заполнении системы водой в состоянии полного насыщения. В таких случаях следует устанавливать сепараторы воздуха.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Shahzad K., Sliem M.H., Shakoор R.A., Radwan A.B. et al.* Electrochemical and thermodynamic study on the corrosion performance of API X120 steel in 3.5 % NaCl solution // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. No. 1. P. 4314.
2. *Katiyar P.K., Misra S., Mondal K.* Corrosion behavior of annealed steels with different carbon contents (0.002, 0.17, 0.43 and 0.7 % C) in freely aerated 3.5 % NaCl solution // *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2019. Vol. 28. Pp. 4041–4052.
3. *Василенко Г.В.* Влияние концентрации кислорода на коррозию тепловых сетей и теплообменных аппаратов // *Теплоэнергетика*. 2007. № 2. С. 66–68.
4. *Song G.D., Jeon S.H., Son Y.H., Kim J.G., Hur D.H.* Galvanic effect of magnetite on the corrosion behavior of carbon steel in deaerated alkaline solutions under flowing conditions // *Corrosion Science*. 2018. Vol. 131. Pp. 71–80.
5. *Родионова И.Г., Амежнов А.В., Зайцев А.И., Могутнов Б.М., Бакланова О.Н.* Коррозионная стойкость нелегированных и низколегированных сталей в нейтральных водных средах. М. : Metallurgizdat, 2021. 388 с.
6. *Satoh T., Shao Y., Cook W.G., Lister D.H., Uchida S.* Flow-assisted corrosion of carbon steel under neutral water conditions // *Corrosion*. 2007. Vol. 63. Pp. 770–780.
7. *Ракоч А.Г., Лобач А.А., Монахова Е.П. и др.* Коррозионное поведение стали 08Ю в растворе, имитирующем условия ее эксплуатации в системах отопления // *Черные металлы*. 2023. № 7. С. 72–78. DOI: 10.17580/chm.2023.07.09. EDN FETGFU.
8. *Кашуркин А.Ю., Усиков С.М., Мельникова И.В.* Определение растворимости газов в теплоносителе водяных систем отопления при характерных эксплуатационных режимах // *Инженерный вестник Дона*. 2024. № 12 (120). С. 561–571.
9. *Викулина В.Б., Инешина Л.В.* Теоретические исследования движения пузырьков воздуха в потоке воды при аэрации // *Сантехника, Отопление, Кондиционирование*. 2019. № 10 (214). С. 22–24.
10. *Ягов В.В., Лабунцов Д.А.* Механика двухфазных систем. М. : Издательский дом «МЭИ», 2007. 384 с.
11. *Лурье М.В., Астрахан И.М., Кадет В.В.* Гидравлика и ее приложения в нефтегазовом производстве. М. : МАКС Пресс, 2010. 331 с.
12. *Игнатенко Е.В., Брянская Ю.В.* Распределение скоростей в каналах различной геометрии и шероховатости // *Гидротехническое строительство*. 2023. № 4. С. 50–55.
13. *Смирнова О.* Сепараторы Flamco — надежная защита системы отопления вашего дома // *Сантехника, Отопление, Кондиционирование*. 2015. № 11 (167). С. 48–49.
14. *Топоркова А.А., Кобченко А.В.* Применение сепараторов воздуха и шлама для эффективной очистки теплоносителя // *Современные условия взаимодействия науки и техники : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Пермь, 11 ноября 2018 года. Часть 2*. С. 109–111.
15. *Правила технической эксплуатации объектов теплоснабжения и теплопотребляющих установок : утв. Приказом Минэнерго России от 14 мая 2025 г. № 511.*

Об авторах: **Алексей Юрьевич Кашуркин** — заведующий лабораторией; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии строительных наук (НИИСФ РААСН)**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр-д, д. 21; SPIN-код: 7630-3139, РИНЦ ID: 804282, Scopus AuthorID: 57205226051, ORCID: 0000-0001-6582-4332; e-mail: leontiii@mail.ru;

Сергей Михайлович Усиков — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 1432-2254, РИНЦ ID: 814697, Scopus AuthorID: 57201094063, ORCID: 0000-0003-0115-7491; e-mail: usikov-work@yandex.ru;

Инна Вячеславовна Мельникова — инженер; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии строительных наук (НИИСФ РААСН)**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр-д, д. 21; SPIN-код: 8024-1181; e-mail: melnickova.d2014@ya.ru;

Владислав Михайлович Флоренский — инженер; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии строительных наук (НИИСФ РААСН)**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр-д, д. 21; SPIN-код: 5800-2878, РИНЦ ID: 1311320, Scopus AuthorID: 58534954300, ORCID: 0009-0001-9255-3352; e-mail: florenskyvladislav@yandex.ru.

REFERENCES

1. Shahzad K., Sliem M.H., Shakoor R.A., Radwan A.B. et al. Electrochemical and thermodynamic study on the corrosion performance of API X120 steel in 3.5 % NaCl solution. *Scientific Reports*. 2020; 10(1):4314.
2. Katiyar P.K., Misra S., Mondal K. Corrosion behavior of annealed steels with different carbon contents (0.002, 0.17, 0.43 and 0.7 % C) in freely aerated 3.5 % NaCl solution. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2019; 28:4041-4052.
3. Vasilenko G.V. Effect of oxygen concentration on the corrosion of district heating networks and heat exchangers. *Thermal Engineering*. 2007; 2:66-68. (rus.).
4. Song G.D., Jeon S.H., Son Y.H., Kim J.G., Hur D.H. Galvanic effect of magnetite on the corrosion behavior of carbon steel in deaerated alkaline solutions under flowing conditions. *Corrosion Science*. 2018; 131:71-80.
5. Rodionova I.G., Amezhnov A.V., Zaitsev A.I., Mogutnov B.M., Baklanova O.N. *Corrosion Resistance of Unalloyed and Low-Alloy Steels in Neutral Aqueous Media*. Moscow, Metallurgizdat, 2021; 388. (rus.).
6. Satoh T., Shao Y., Cook W.G., Lister D.H., Uchida S. Flow-assisted corrosion of carbon steel under neutral water conditions. *Corrosion*. 2007; 63:770-780.
7. Rakoch A.G., Lobach A.A., Monakhova E.P. et al. Corrosion Behavior of Steel 08Yu in a Solution Simulating its Operational Conditions in Heating Systems. *Ferrous Metals*. 2023; 7:72-78. DOI: 10.17580/chm.2023.07.09. EDN FETGFU. (rus.).
8. Kashurkin A.Yu., Usikov S.M., Melnikova I.V. Determination of gas solubility in heat transfer fluid of water heating systems under typical operating conditions. *Engineering Bulletin of the Don*. 2024; 12(120):561-571. (rus.).
9. Vikulina V.B., Ineshina L.V. Theoretical studies of air bubble motion in water flow during aeration. *Plumbing, Heating, Air Conditioning (SANTEHNIKA)*. 2019; 10(214):22-24. (rus.).
10. Yagov V.V., Labuntsov D.A. *Mechanics of Two-Phase Systems*. Moscow, MPEI Publishing House, 2007; 384. (rus.).
11. Lurie M.V., Astrakhan I.M., Kadet V.V. *Hydraulics and Its Applications in Oil and Gas Production*. Moscow, MAKS Press, 2010; 331. (rus.).
12. Ignatenko E.V., Bryanskaya Yu.V. Velocity distribution in channels of various geometries and roughness. *Hydro-technical Construction*. 2023; 4:50-55. (rus.).
13. Smirnova O. Flamco separators — reliable protection of your home's heating system. *Plumbing, Heating, Air Conditioning (SANTEHNIKA)*. 2015; 11(167):48-49. (rus.).
14. Toporkova A.A., Kobchenko A.V. Application of air and dirt separators for effective heat transfer fluid purification. *Modern Conditions of Interaction between Science and Technology : collection of Articles of the International Scientific-Practical Conference. Perm, November 11, 2018*. 2:109-111. (rus.).
15. Rules for the Technical Operation of Heat Supply Facilities and Heat-Consuming Installations : Approved by Order No. 511 of the Ministry of Energy of Russia dated May 14, 2025. (rus.).

About the authors: **Alexey Yu. Kashurkin** — Head of the laboratory; **Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Locomotivniy passage, Moscow, 127238, Russian Federation; SPIN-code: 7630-3139, ID RSCI: 804282, Scopus AuthorID: 57205226051, ORCID: 0000-0001-6582-4332; e-mail: leontiii@mail.ru;

Sergey M. Usikov — Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Heat, Gas Supply and Ventilation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 1432-2254, ID RSCI: 814697, Scopus AuthorID: 57201094063, ORCID: 0000-0003-0115-7491; e-mail: usikov-work@yandex.ru;

Inna V. Melnikova — Engineer; **Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Locomotivniy passage, Moscow, 127238, Russian Federation; SPIN-code: 8024-1181; e-mail: melnickova.d2014@ya.ru;

Vladislav M. Florensky — Engineer; **Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Locomotivniy passage, Moscow, 127238, Russian Federation; SPIN-code: 5800-2878, ID RSCI: 1311320, Scopus AuthorID: 58534954300, ORCID: 0009-0001-9255-3352; e-mail: florenskyvladislav@yandex.ru.

ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА В МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЯХ В ПЕРВЫЕ ГОДЫ ПОСЛЕ ПОСТРОЙКИ

Илья Владимирович Ярмошенко, Алексей Владимирович Васильев,
Георгий Петрович Малиновский, Александра Дмитриевна Онищенко,
Михаил Владимирович Жуковский

Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук (ИПЭ УрО РАН);
г. Екатеринбург, Российская Федерация

В работе представлены результаты масштабного исследования долгосрочной динамики объемной активности (ОА) радона в современных многоэтажных жилых зданиях повышенного класса энергоэффективности в мегаполисах России. Целью исследования был анализ изменений концентрации радона в первые годы эксплуатации зданий и оценка связи этих изменений с деградацией строительных конструкций и снижением энергоэффективности. Исследование базируется на комплексном анализе данных, полученных с помощью двух взаимодополняющих методов: интегрирующих измерений в более чем 500 квартирах (130 в Екатеринбурге и 388 в других крупных городах) и длительного непрерывного мониторинга с часовым разрешением в 11 квартирах, включая три случая повторных измерений с интервалом 5–7 лет.

Была выявлена устойчивая тенденция к снижению ОА радона в первое десятилетие эксплуатации зданий. В г. Екатеринбурге средние значения ОА радона снижаются со 120 Бк/м³ в новостройках до 52 Бк/м³ в зданиях возрастом 11–20 лет. Особое внимание уделено анализу взаимосвязи между изменением ОА радона и параметрами воздухообмена, что позволило установить ключевые факторы, влияющие на этот процесс.

Результаты работы имеют важное практическое значение для двух областей:

- радиационная безопасность населения: полученные данные позволяют уточнить оценки долгосрочных доз облучения в современных энергоэффективных домах и указывают на необходимость приоритетного контроля радона в новостройках;
- строительство и энергосбережение: выявленная обратная связь между возрастом здания, проницаемостью конструкций и концентрацией радона является важным индикатором для оценки реальной долговременной эффективности энергосберегающих технологий и прогнозирования изменения эксплуатационных характеристик зданий.

Ключевые слова: радон, жилые здания, энергосбережение, воздухообмен

Благодарности. Исследование выполнено за счет субсидий Минобрнауки РФ на выполнение научной темы FUMN-2024-0001.

Для цитирования: Ярмошенко И.В., Васильев А.В., Малиновский Г.П., Онищенко А.Д., Жуковский М.В. Изменения объемной активности радона в многоэтажных зданиях в первые годы после постройки // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 73–82. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.73-82

RADON CONCENTRATION CHANGES IN MULTI-STOREY BUILDINGS IN THE FIRST YEARS AFTER CONSTRUCTION

Ilya V. Yarmoshenko, Alexey V. Vasilyev, Georgy P. Malinovsky,
Aleksandra D. Onishchenko, Mikhail V. Zhukovsky

Institute of Industrial Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IPE UB RAS);
Ekaterinburg, Russian Federation

The paper presents the results of a large-scale study of the long-term dynamics of radon concentration in modern multi-storey residential buildings of increased energy efficiency class in Russian megalopolises. The aim of the study was to analyze changes in radon concentration during the first years of building operation and to assess the relationship between these changes and the degradation of building structures and the reduction of energy efficiency. The research is based on a comprehensive analysis of data obtained using two complementary methods: integrating measurements in more than 500 apartments (130 in Ekaterinburg and 388 in other large cities), and long-term continuous monitoring with hourly resolution in 11 apartments, including three cases of repeated measurements at intervals of 5–7 years.

A stable trend towards a decrease in radon VA in the first decade of building operation was identified. In Ekaterinburg, the average values of radon VA decrease from 120 Bq/m³ in new buildings to 52 Bq/m³ in buildings aged 11–20 years. Particular attention is paid to the analysis of the relationship between changes in radon VA and air exchange parameters, which allowed us to identify the key factors influencing this process.

The obtained results are of crucial practical importance for two areas:

- *radiation safety of the population: the data allow for refining estimates of long-term radiation doses in modern energy-efficient houses and indicate the necessity of priority radon control in new buildings;*
- *construction and energy saving: the revealed inverse relationship between building age, permeability of structures, and radon concentration is an important indicator for assessing the real long-term effectiveness of energy-saving technologies and for predicting changes in the operational characteristics of buildings.*

Keywords: radon, residential buildings, energy efficiency, air exchange

Acknowledgements. The study was carried out at the expense of subsidies from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the implementation of the scientific topic FUMN-2024-0001.

For citation: Yarmoshenko I.V., Vasilyev A.V., Malinovskiy G.P., Onishchenko A.D., Zhukovsky M.V. Intensification of biological wastewater treatment plants using loading material. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2025; 4:73-82. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.73-82 (rus.).

Введение

Радоновая безопасность в жилых помещениях продолжает оставаться актуальной задачей радиационной гигиены. Как убедительно показано в работах [1, 2], существующие уровни облучения радоном в жилых помещениях вносят существенный вклад в риск развития рака легких, что требует постоянного мониторинга и анализа факторов, влияющих на концентрацию этого радиоактивного газа.

Современные строительные технологии, направленные на повышение энергоэффективности зданий, создают новые вызовы в области радиационной безопасности. Как показано в целом ряде исследований, при одинаковых условиях эксплуатации происходит значительное увеличение объемной активности (ОА) радона в домах повышенного класса энергоэффективности с низкой проницаемостью оболочки здания по сравнению с домами низкого класса энергоэффективности [3–8]. Ключевым фактором, влияющим на радоновую обстановку в зданиях с повышенным классом энергоэффективности, является низкая кратность воздухообмена (КВО) в неконтролируемом режиме эксплуатации здания, когда перекрыты пути естественного притока свежего воздуха и отключены другие системы вентиляции [9]. Российские исследования последних лет [10, 11] демонстрируют, что в зданиях, построенных после 2000 г. с применением энергосберегающих технологий, средние значения ОА радона существенно превышают аналогичные значения для зданий старой постройки. При этом особый интерес представляет изучение динамики ОА радона в первые годы эксплуатации зданий, когда происходят наиболее интенсивные изменения физико-механических характеристик строительных конструкций.

Значение ОА радона внутри зданий непостоянно и может изменяться со временем под воздействием различных факторов. Эти изменения можно разделить на три категории: суточные, среднесрочные и долгосрочные вариации [12]. Суточные вариации

связаны с изменениями климатических параметров и условиями проветривания помещений в течение дня. Среднесрочные сезонные изменения обусловлены теми же факторами, но происходят в течение года. Долгосрочные вариации могут быть связаны как с климатическими изменениями год от года, так и с процессами, происходящими в зданиях. Долгосрочные вариации ОА радона изучаются как в контексте анализа факторов, влияющих на его накопление в жилищах, так и в эпидемиологических исследованиях связи между радоном и раком легкого (например, исследования S. Darby в Канаде и Италии [13]). Анализ долгосрочных изменений ОА радона может быть источником дополнительной информации о процессах, связанных со снижением энергоэффективности зданий после их постройки, связанных с изменением проницаемости ограждающих конструкций здания. Эти процессы включают усадку фундамента, просыхание бетонных конструкций и появление трещин.

В России политика повышения энергоэффективности новых зданий в первую очередь осуществляется в отношении многоэтажных, многоквартирных зданий. Как показало недавнее исследование в крупных мегаполисах, почти все здания, возведенные после 2000 г., могут быть отнесены к повышенному классу энергоэффективности. В этих домах концентрация радона примерно в 1,5 раза выше, чем в многоэтажных домах, возведенных с применением менее развитых энергосберегающих подходов до 2000 г. [9].

Цель настоящего исследования — изучить долгосрочные изменения ОА радона в современных многоэтажных жилых зданиях в первое десятилетие после их постройки и оценить их связь с изменением энергоэффективности зданий со временем. Гипотеза данного исследования предполагает, что деградация строительных материалов и конструкций оказывает прямое влияние на эффективность энергосбережения и условия накопления радона.

Модели и методы

Для проверки гипотезы исследования были проанализированы результаты выборочных радоновых обследований с использованием интегрирующих средств измерения и данных длительных мониторинговых измерений ОА радона в многоквартирных зданиях повышенного класса энергоэффективности. При анализе учитывался возраст здания на момент проведения измерений.

Исследование проводилось с использованием комплексного подхода, сочетающего два взаимодополняющих метода измерения ОА радона.

Первый метод основан на применении радиометров радона типа RSKS венгерского производства, оснащенных твердотельными трековыми детекторами CR-39. Эти приборы экспонировались в жилых помещениях в течение 2–3 месяцев, что позволило охватить исследованиями более 1000 квартир в различных городах России. Для обеспечения точности и воспроизводимости результатов измерений радиометры радона RSKS были также откалиброваны в лаборатории ИПЭ УрО РАН. Для калибровки использовался эталон NIST (SRM 4973–16) с известной скоростью эманации и активностью радия-226, камера известного объема и радон-монитор AlphaGuard PQ2000Pro. Учет сезонных колебаний концентрации радона осуществлялся на основе ранее разработанной модели [14].

Подходы к формированию квазислучайной выборки для проведения радонового обследования представлены в работе [11]. Радиометры радона передавались участникам обследования лично. В измерительный комплект входило два радиометра, анкета и подробная инструкция по размещению радиометров радона в квартире. В анкете участники измерений указывали характеристики здания и своей квартиры, дату начала и окончания экспонирования радиометров. Время экспозиции радиометров радона в квартирах составляло 2–3 месяца. Расчет среднегодовой ОА радона проводился с учетом модели сезонных вариаций радона в многоквартирных зданиях, представленной в работе [15].

В ходе ранее выполненных научных проектов проведено радоновое обследование квартир в многоквартирных жилых зданиях в Екатеринбурге, Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде, Челябинске, Краснодаре, Новосибирске, Тюмени и Салехарде. Результаты этих исследований в части частотного распределения ОА радона и факторов, влияющих на ОА радона, представлены в работах [10, 11, 15]. Необходимо отметить, что такой фактор, как возраст здания, на момент измерения ранее не рассматривался.

В 2022–2023 гг. в Екатеринбурге было проведено специальное радоновое обследование в новых зда-

ниях. В выборку включались многоквартирные здания, возведенные не ранее 15 лет до проведения измерений (т.е. после 2008 г.). Всего были получены данные о значениях ОА радона в 130 квартирах. Для дальнейшего анализа результаты радоновых исследований в г. Екатеринбурге, полученные в рамках различных проектов, были объединены.

Статистическая обработка данных включала применение методов множественной нелинейной регрессии для анализа зависимости ОА радона от возраста здания, а также многомерного дисперсионного анализа для сравнения различных групп зданий.

Второй метод предполагал проведение непрерывного длительного мониторинга с помощью профессиональных радон-мониторов AlphaGuard PQ2000Pro, которые обеспечивали регистрацию ОА радона с часовым разрешением [15]. Этот подход был реализован в 11 квартирах, причем в трех случаях удалось провести повторные измерения через 5–7 лет после первоначального обследования (табл. 1). Особое внимание уделялось анализу параметров воздухообмена, в частности расчету эффективной площади натекания (ELA), что позволило количественно оценить изменения проницаемости строительных конструкций.

Таблица 1. Характеристика объектов для непрерывного мониторинга ОА радона

Характеристика	Квартиры		
	Kul-1*	Sem-6*	LR2**
Год постройки	2012	2013	2019
Этажность здания	16	9	19
Этаж	13	2	9
Материал стен	Монолит	Монолит	Монолит
УА Ra-226 в строительных материалах, Бк/кг	33	37	48
Год первого измерения ОА радона	2013	2016	2019
Год повторного измерения ОА радона	2020	2023	2024

Примечание: * — идентификатор указан в соответствии с работой [15]; ** — идентификатор указан в соответствии с работой [16].

Экспозиция радон-мониторов AlphaGuard PQ2000Pro варьировалась от 1 до 7 месяцев (преимущественно не менее 5 месяцев). Данные измерения представляют собой часовые временные серии ОА радона, радон-монитор работал в диффузионном режиме. Для анализа результатов были использованы разработанные ранее подходы к анализу результатов мониторинговых измерений [17]. В частности, анализ часовых временных серий ОА

радона позволяет проанализировать зависимость кратности воздухообмена от температуры и, исходя из этой зависимости, рассчитать эффективную площадь натекания ELA для неконтролируемого режима вентиляции [18].

Результаты исследования и их анализ

Проведенный анализ выявил четкую зависимость ОА радона от времени эксплуатации здания. На рис. 1, 2 показана зависимость среднегодовой ОА радона в квартирах многоквартирных домов, построенных после 2010 г. в Екатеринбурге и других городах России, от возраста здания на момент измерения. В Екатеринбурге эта зависимость описывается убывающей степенной функцией, показатель степени которой статистически значимо отличается от нуля ($p < 0,05$). Регрессионная модель показала, что начальное значение ОА радона в новых зданиях составляет 155 ± 20 Бк/м³, с показателем степени $0,13 \pm 0,03$ год⁻¹. Это соответствует приблизительно двукратному уменьшению ОА радона за девятилетний период. Аналогичная тенденция наблюдается и в других городах России с более низкими средними значениями ОА радона, хотя она статистически незначима ($p > 0,05$). Возраст здания объясняет примерно 17 % вариации ОА радона в Екатеринбурге и менее 2 % в других городах.

Объем выборки в Екатеринбурге позволяет сформировать достаточно большие ($N > 10$ квартир) подгруппы зданий в зависимости от года постройки и возраста на момент измерения. Возрастная динамика демонстрирует последовательное снижение

средних значений ОА радона: от 120 Бк/м³ в зданиях возрастом 0–5 лет до 52 Бк/м³ для зданий 11–20 лет (табл. 2).

Таблица 2. Характеристики ОА радона в выборке зданий в г. Екатеринбурге

Возраст здания на момент измерения, лет	N	AM , Бк/м ³	GM , Бк/м ³	$SD_{\ln}$
0–5	91	120	84	0,75
6–10	74	83	62	0,67
11–20	48	52	37	0,66
0–20 (все данные)	213	92	63	0,77

Примечание: N — размер выборки; AM — среднее арифметическое; GM — среднее геометрическое; $SD_{\ln}$ — стандартное отклонение логарифма.

На рис. 3 представлены средние геометрические значения ОА радона в этих подгруппах с 95 % доверительными интервалами. Общая тенденция снижения ОА радона с возрастом зданий статистически значима (MANOVA, $p < 0,05$). Среднеарифметическая ОА радона в зданиях особенно высока в первые годы после строительства для всех периодов строительства зданий: 138, 127 и 115 Бк/м³ для периодов строительства 2008–2011, 2010–2016 и 2017–2023 гг. соответственно.

Особый интерес представляют результаты мониторинговых измерений. Средние значения ОА радона в квартирах Sem-6 и Kul-1, рассчитанные по температурным интервалам в 3 °С, представлены на рис. 4. Как видно на рисунке, через семь лет после первых измерений наблюдалось значительное сни-

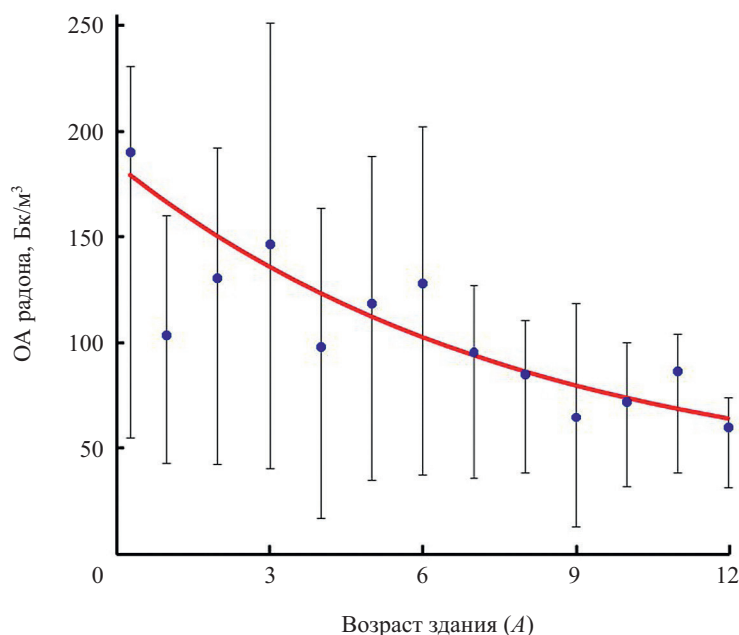


Рис. 1. Зависимость средних арифметических ОА радона в группах по возрасту здания на момент измерения ОА радона от возраста здания в г. Екатеринбурге. Точки — средние арифметические; красная линия — модель: $Rn = 155 \cdot \exp(-0,13 \cdot A) + 30$; усы — интервал от СГ/ГСО до СГ · ГСО (интервал попадания 66,7 % значений ОА радона)

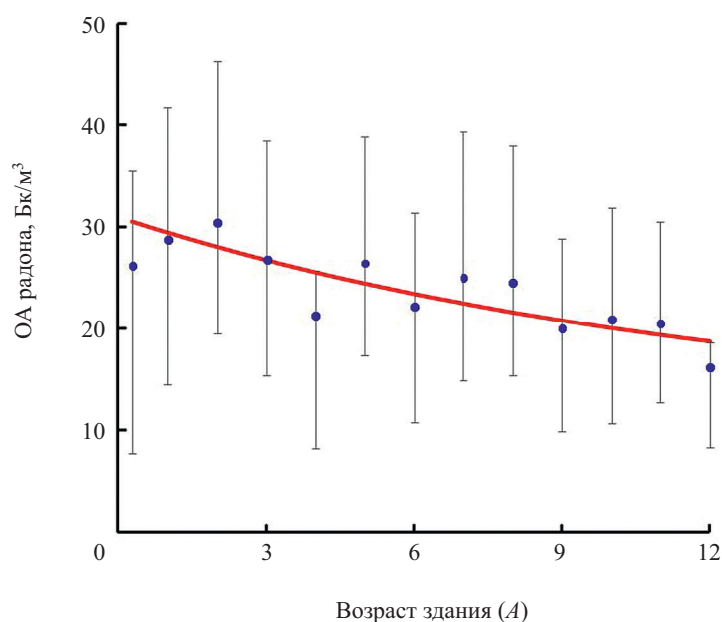


Рис. 2. Зависимость средних арифметических ОА радона в группах по возрасту здания на момент измерения ОА радона от возраста здания. Точки — средние арифметические; красная линия — модель: $Rn = 20 \cdot \exp(-0,08 \cdot A) + 11$; усы — интервал от СГ/ГСО до СГ · ГСО (интервал попадания 66,7 % значений ОА радона)

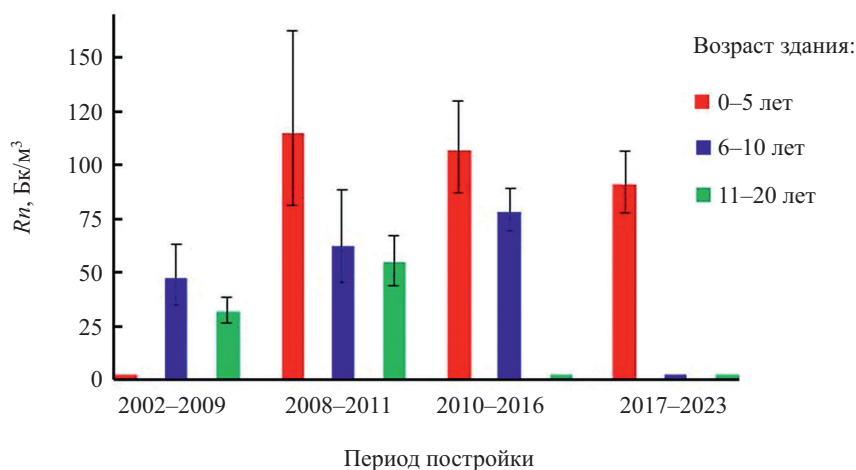


Рис. 3. Средние геометрические значения ОА радона в группах зданий разных лет постройки (с 95%-ными доверительными интервалами)

жение ОА радона в обеих квартирах. В целом, зависимость ОА радона в помещениях от температуры наружного воздуха соответствует закономерностям, наблюдаемым в других многоквартирных многоэтажных домах, и существенно не изменилась за семь лет [15]. При этом температурные зависимости сохранили свой характер (рис. 4), что свидетельствует о неизменности основных механизмов поступления радона.

В квартире LR2 повторные измерения через 5 лет показали 2–3-кратное снижение максимальных значений ОА радона при одинаковых условиях вентиляции (рис. 5). Выбранные графики включают кривые накопления радона при закрытых окнах и примерно одинаковых значениях разницы тем-

ператур наружного и внутреннего воздуха (ΔT). На рис. 5 показано, что максимальные уровни ОА радона, достигаемые через несколько часов после закрытия окон, в 2019 г. были в два-три раза выше, чем в 2024 г. При анализе временных рядов ОА радона мы также рассматривали другие кривые накопления радона, связанные с интервалами неконтролируемого проветривания. Эти интервалы не представлены в данной статье, поскольку в рядах, выполненных в разные годы после строительства, не было обнаружено близких аналогов по длительности и ΔT . Однако следует отметить, что эти ряды в целом подтверждают вывод, что ОА радона в помещениях со временем снижается в многоквартирных энергоэффективных зданиях.

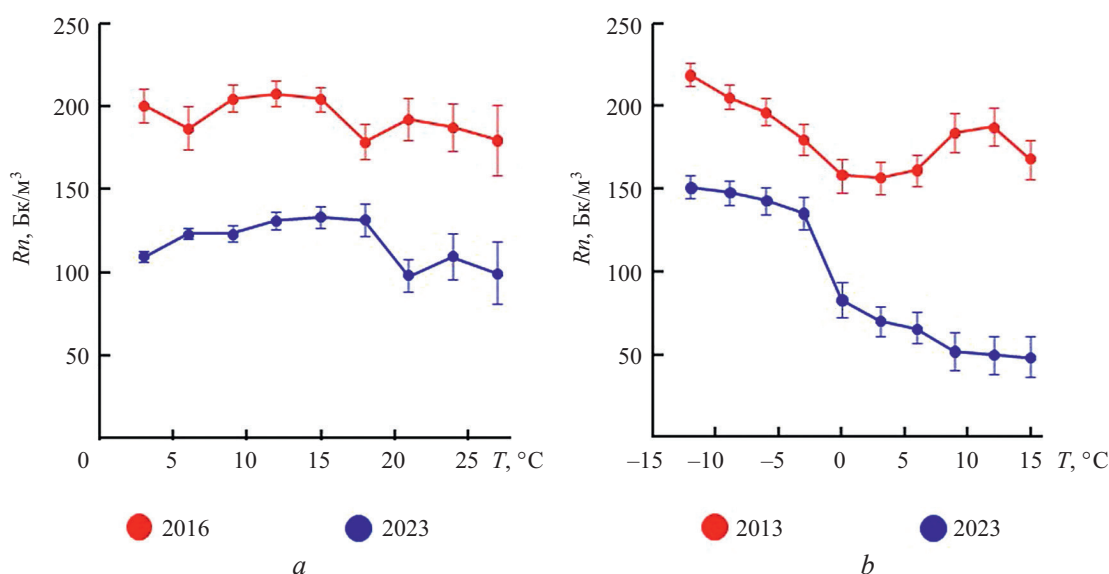


Рис. 4. Средние значения ОА радона в зависимости от температуры наружного воздуха по данным повторных измерений в двух квартирах: *a* — Sem-6; *b* — Kul-1

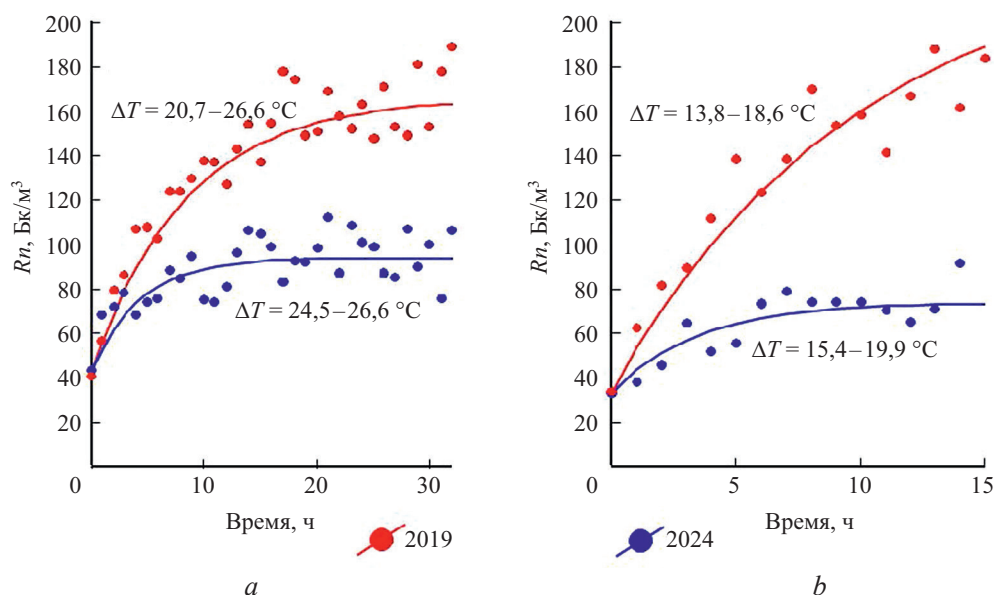


Рис. 5. Временные ряды ОА радона в квартире LR2: *a* — 2019 г.; *b* — 2024 г.

Анализ параметров воздухообмена выявил устойчивую тенденцию к увеличению проницаемости строительных конструкций. Параметр K_{ELA} , характеризующий эффективную площадь натекания, возрос примерно в два раза за десятилетний период (рис. 6), что соответствует увеличению кратности воздухообмена с 0,1 до 0,26 ч⁻¹ при перепаде температур 20 °C.

В рассматриваемой группе возраст здания обуславливает 74 % изменчивости K_{ELA} . Увеличение показателя K_{ELA} в режиме неконтролируемой вентиляции свидетельствует о росте ELA и, соответственно, об увеличении проницаемости ограждающих конструкций.

Полученные результаты позволяют по-новому взглянуть на проблему радоновой безопасности в современных энергоэффективных зданиях. Обнаруженная динамика ОА радона принципиально отличается от наблюдаемой в малоэтажных строениях, где чаще отмечается рост активности в первые годы эксплуатации [19]. Это различие может быть объяснено преобладанием различных механизмов поступления радона: диффузионного — в многоэтажных зданиях и адвективного — в малоэтажных.

Как показано в табл. 2, ОА радона в исследованных новых многоэтажных зданиях Екатеринбурга относительно высока, достигает в среднем 92 Бк/м³, при этом в значительной доле квартир ОА радона превышает 100 Бк/м³. Предыдущие исследования

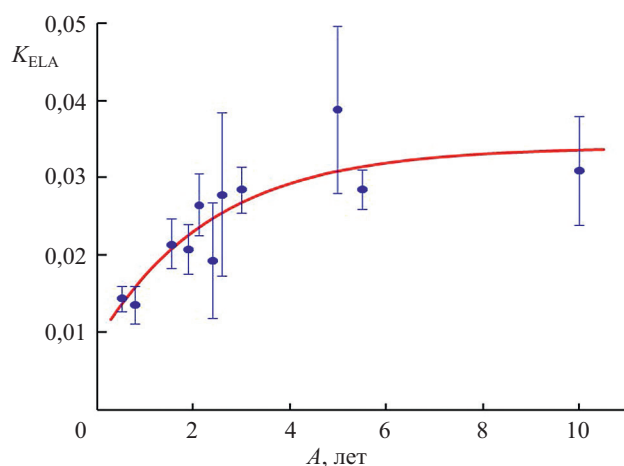


Рис. 6. Зависимость коэффициента K_{ELA} от возраста здания

показали, что уровни радона в новых энергоэффективных зданиях Екатеринбурга, по сравнению с другими городами России, выше из-за относительно более высокой средней удельной активности Ra-226 в строительных материалах и более холодного климата [10, 18].

Следующие результаты анализа свидетельствуют об уменьшении ОА радона в помещениях рассматриваемого типа с течением времени:

- статистически значимая обратная корреляция между ОА радона и возрастом здания на момент измерения в выборке зданий Екатеринбурга и других крупных городов (рис. 1, 2);
- статистически значимая зависимость средней геометрической ОА радона от возраста обнаружена в группах зданий Екатеринбурга одного периода постройки (рис. 3);
- статистически значимое снижение ОА радона при одинаковой температуре воздуха, выявленное при повторных измерениях через семь лет с использованием радонового монитора в двух квартирах (рис. 4);
- статистически значимое снижение уровня максимальной ОА радона при неконтролируемом воздухообмене через ограждающие конструкции (при закрытых окнах) по данным повторных измерений радоновым монитором (рис. 5);
- статистически значимая положительная корреляция между параметром K_{ELA} и возрастом здания по данным измерений радоновым монитором в зданиях г. Екатеринбурга (рис. 6).

По полученным результатам можно также оценить величину и характер уменьшения ОА радона с течением времени после строительства. При достижении ОА радона в помещениях рассматриваемого типа, достигающих значений более 50 Бк/м³, наблюдается значительное снижение ОА радона с течением времени. Результаты анализа измерений ОА радона в выборках зданий г. Екатерин-

бурга, представленные в табл. 1, рис. 1–3, показывают близкую величину скорости уменьшения ОА радона, которая составляет примерно два раза за девять лет. В других городах, где средние значения ОА радона меньше 40 Бк/м³, снижение ОА радона с течением времени менее выражено.

Причину снижения ОА радона в квартирах после строительства здания можно проанализировать на основе данных о зависимости параметра K_{ELA} от возраста здания, рассчитанных на основе анализа временного ряда ОА радона (рис. 6). В период, когда вентиляция осуществляется в неконтролируемом режиме (т.е. при закрытых окнах), параметр K_{ELA} характеризует проницаемость ограждающих конструкций здания. Согласно результатам анализа, представленным в данной статье, параметр K_{ELA} значительно увеличивается в первые несколько лет после строительства. В двух зданиях, обследованных через год после строительства, K_{ELA} составил 0,013, что соответствует КВО 0,1 ч⁻¹ при ΔT между помещением и наружной атмосферой 20 °С. Как показано на рис. 5, можно предположить, что через десять лет после строительства параметр K_{ELA} в рассматриваемом типе зданий увеличится до 0,03–0,035. Это соответствует КВО 0,22–0,26 ч⁻¹ при $\Delta T = 20$ °С. Таким образом, можно предположить, что с течением времени проницаемость ограждающих конструкций многоэтажных зданий высоких классов энергоэффективности увеличивается. Наблюдаемые изменения могут быть связаны с рядом физических процессов: деградацией уплотнительных материалов, образованием микротрещин в бетоне, изменением характеристик теплоизоляционных материалов. Эти процессы требуют дополнительного изучения, так как имеют важное значение для прогнозирования долговременных характеристик зданий.

Заключение

Выявлена статистически значимая устойчивая тенденция к снижению среднегодовой ОА радона в течение первого десятилетия эксплуатации зданий. В Екатеринбурге, где начальные концентрации наиболее высоки, средние значения снижаются со 120 Бк/м³ в новостройках (0–5 лет) до 52 Бк/м³ в зданиях возрастом 11–20 лет. Регрессионная модель демонстрирует приблизительно двукратное уменьшение ОА радона за девятилетний период.

Установлена ведущая роль изменения параметров воздухообмена в наблюдаемой динамике. На основе анализа временных рядов концентрации радона рассчитан параметр (K_{ELA}), характеризующий эффективную площадь натекания (ELA) ограждающих конструкций. Показано, что в течение десяти лет K_{ELA} увеличивается примерно в два раза

(с 0,013 до 0,03–0,035), что соответствует росту кратности воздухообмена с 0,1 до 0,26 ч⁻¹ (при $\Delta T = 20$ °C). Это прямо свидетельствует о прогрессирующем увеличении проницаемости оболочки здания.

Обнаруженная динамика (снижение ОА радона со временем) принципиально отличается от характерной для малоэтажных зданий, где часто наблюдается рост концентрации со временем. Это различие объясняется преобладанием диффузионного

механизма поступления радона из конструкционных материалов в многоэтажных зданиях в отличие от адвективного потока из грунта под малоэтажными строениями. Полученные данные позволяют связать снижение ОА радона с физическими процессами старения зданий. Эти процессы, снижая герметичность, одновременно уменьшают потенциал накопления радона внутри помещений, но могут вести к потере проектной энергоэффективности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Darby S., Hill D., Auvinen A., Barros-Dios J.M., Baysson H. et al. Radon in homes and lung cancer risk: a collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies // *British Medical Journal*. 2005. Vol. 330. Pp. 223–227. DOI: 10.1136/bmj.38308.477650.63
2. Ярмошенко И.В., Малиновский Г.П., Васильев А.В. Обобщение онкоэпидемиологических исследований связи рака легкого с радоном // *Медицина труда и промышленная экология*. 2019. Т. 59. № 2. С. 92–96. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-2-92-96
3. Meyer W. Impact of constructional energy saving measures on radon levels indoors // *Indoor Air*. 2019. Vol. 29. Pp. 680–685. DOI: 10.1111/ina.12559
4. Pigg S., Cautley D., Francisco P.W. Impacts of weatherization on indoor air quality: A field study of 514 homes // *Indoor Air*. 2018. Vol. 28. Pp. 307–317. DOI: 10.1111/ina.12438
5. Symonds P., Rees D., Daraktchieva Z., McColl N., Bradley J., Hamilton I. et al. Home energy efficiency and radon: An observational study // *Indoor Air*. 2019. Vol. 29. Issue. 5. Pp. 854–864. DOI: 10.1111/ina.12582
6. Collignan B., Le Ponner E., Mandin C. Relationships between indoor radon concentrations, thermal retrofit and dwelling characteristics // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2016. Vol. 165. Pp. 124–130. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.09.009
7. Pampuri L., Caputo P., Valsangiacomo C. Effects of buildings' refurbishment on indoor air quality. Results of a wide survey on radon concentrations before and after energy retrofit interventions // *Sustainable Cities and Society*. 2018. Vol. 42. Pp. 100–106. DOI: 10.1016/j.scs.2018.06.034
8. Fojtikova I., Navratilova R.K. Influence of energy-saving measures on the radon concentration in some kindergartens in the Czech Republic // *Radiation Protection Dosimetry*. 2014. Vol. 160. No. 1–3. Pp. 149–153. DOI: 10.1093/rpd/ncu086
9. Ярмошенко И.В., Малиновский Г.П., Онищенко А.Д., Васильев А.В. Проблема облучения радоном в зданиях повышенного класса энергоэффективности // *Радиационная гигиена*. 2019. Т. 12. № 4. С. 56–65. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-4-56-65
10. Yarmoshenko I.V., Malinovsky G.P., Zhukovsky M.V., Izgagin V.S., Onishchenko A.D., Vasilyev A.V. Ra-226 in building materials as a source of indoor radon in high-rise residential buildings in Russian cities // *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 935. P. 173492. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.173492
11. Жуковский М.В., Ярмошенко И.В., Онищенко А.Д., Малиновский Г.П., Васильев А.В., Назаров Е.И. Оценка уровней содержания радона в многоэтажных зданиях на примере восьми крупных городов России // *Радиационная гигиена*. 2022. Т. 15. № 1. С. 47–58. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-1-47-58
12. Киселев С.М. и др. Радон: от фундаментальных исследований к практике регулирования. М. : ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2016.
13. Darby S., Hill D., Deo H. et al. Residential radon and lung cancer-detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14,208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe // *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*. 2006. Vol. 32. No. 1. Pp. 1–83.
14. Васильев А.В., Жуковский М.В., Онищенко А.Д., Вишневский А.А. Строительные материалы как источник радона в зданиях, построенных по современным технологиям // *Строительные материалы*. 2013. № 4. С. 104–107.
15. Yarmoshenko I., Malinovsky G., Vasilyev A., Onishchenko A. Seasonal Variation of Radon Concentrations in Russian Residential High-Rise Buildings // *Atmosphere*. 2021. Vol. 12. P. 930. DOI: 10.3390/atmos12070930
16. Yarmoshenko I.V., Onishchenko A.D., Malinovsky G.P., Vasilyev A.V., Nazarov E.I., Zhukovsky M.V. Radon concentration in conventional and new energy efficient multi-storey apartment houses: results of survey in four Russian cities // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. P. 75274. DOI: 10.1038/s41598-020-74810-6

17. Васильев А.В., Жуковский М.В. Характер и периодичность изменения объемной активности радона в помещении // Аппаратура и новости радиационных измерений. 2015. № 2 (81). С. 42–47.
18. Yarmoshenko I.V., Malinovsky G.P., Zhukovsky M.V., Izgagin V.S., Onishchenko A.D., Vasilyev A.V. Relationship between Ra-226 activity concentration in building materials and indoor radon concentration: An example of Russian high-rise residential buildings // J Environ Radioact. 2024. Vol. 272. P. 107345. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2023.107345
19. Khan S.M., Pearson D.D., Rönnqvist T., Nielsen M.E., Taron J.M., Goodarzi A.A. Rising Canadian and falling Swedish radon gas exposure as a consequence of 20th to 21st century residential build practices // Sci Rep. 2021. Vol. 11. P. 96928. DOI: 10.1038/s41598-021-96628-6

Об авторах: **Илья Владимирович Ярошенко** — канд. физ.-мат. наук, директор; **Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук (ИПЭ УрО РАН)**; 620108, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 20; ORCID: 0000-0002-6591-1513; ivy@ecko.uran.ru;

Алексей Владимирович Васильев — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник; **Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук (ИПЭ УрО РАН)**; 620108, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 20; ORCID: 0000-0003-1916-741X; vav@ecko.uran.ru;

Георгий Петрович Малиновский — канд. биол. наук, зав. лабораторией урбанизированной среды; **Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук (ИПЭ УрО РАН)**; 620108, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 20; georgy@ecko.uran.ru;

Александра Дмитриевна Онищенко — канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник; **Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук (ИПЭ УрО РАН)**; 620108, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 20; ORCID: 0000-0003-1832-1059; onischenko@ecko.uran.ru;

Михаил Владимирович Жуковский — д-р техн. наук, профессор, ведущий науч. сотрудник; **Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук (ИПЭ УрО РАН)**; 620108, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 20; ORCID: 0000-0002-5729-6530; michael@ecko.uran.ru.

REFERENCES

1. Darby S., Hill D., Auvinen A., Barros-Dios J.M., Baysson H. et al. Radon in homes and lung cancer risk: a collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *British Medical Journal*. 2005; 330:223-227. DOI: 10.1136/bmj.38308.477650.63
2. Yarmoshenko I.V., Malinovsky G.P., Vasilyev A.V. Review of cancer epidemiological studies of the relationship between lung cancer and radon. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2019; 59(2):92-96. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-2-92-96 (rus.).
3. Meyer W. Impact of constructional energy saving measures on radon levels indoors. *Indoor Air*. 2019; 29:680-685. DOI: 10.1111/ina.12559
4. Pigg S., Cautley D., Francisco P.W. Impacts of weatherization on indoor air quality: A field study of 514 homes. *Indoor Air*. 2018; 28:307-317. DOI: 10.1111/ina.12438
5. Symonds P., Rees D., Daraktchieva Z., McColl N., Bradley J., Hamilton I. et al. Home energy efficiency and radon: An observational study. *Indoor Air*. 2019; 29(5):854-864. DOI: 10.1111/ina.12582
6. Collignan B., Le Ponner E., Mandin C. Relationships between indoor radon concentrations, thermal retrofit and dwelling characteristics. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2016; 165:124-130. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.09.009
7. Pampuri L., Caputo P., Valsangiacomo C. Effects of buildings' refurbishment on indoor air quality. Results of a wide survey on radon concentrations before and after energy retrofit interventions. *Sustainable Cities and Society*. 2018; 42:100-106. DOI: 10.1016/j.scs.2018.06.034
8. Fojtikova I., Navratilova R.K. Influence of energy-saving measures on the radon concentration in some kindergartens in the Czech Republic. *Radiation Protection Dosimetry*. 2014; 160(1-3):149-153. DOI: 10.1093/rpd/ncu086
9. Yarmoshenko I.V., Malinovsky G.P., Onishchenko A.D., Vasilyev A.V. The problem of radon exposure in buildings of high energy efficiency class. *Radiation Hygiene*. 2019; 12(4):56-65. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-4-56-65 (rus.).
10. Yarmoshenko I.V., Malinovsky G.P., Zhukovsky M.V., Izgagin V.S., Onishchenko A.D., Vasilyev A.V. Ra-226 in building materials as a source of indoor radon in high-rise residential buildings in Russian cities. *Science of The Total Environment*. 2024; 935:173492. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.173492
11. Zhukovsky M.V., Yarmoshenko I.V., Onishchenko A.D., Malinovsky G.P., Vasilyev A.V., Nazarov E.I. Assessment of Radon Levels in Multi-Storey Buildings Using the Example of Eight Large Cities in Russia. *Radiation Hygiene*. 2022; 15(1):47-58. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-1-47-58 (rus.).

12. Kiselev S.M. et al. *Radon: From Fundamental Research to Regulatory Practice*. Moscow, A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, 2016. (rus.).
13. Darby S., Hill D., Deo H. et al. Residential radon and lung cancer-detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14,208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*. 2006; 32(1):1-83.
14. Vasilyev A.V., Zhukovsky M.V., Onishchenko A.D., Vishnevsky A.A. Building materials as a source of radon in buildings constructed using modern technologies. *Construction Materials*. 2013; 4:104-107. (rus.).
15. Yarmoshenko I., Malinovsky G., Vasilyev A., Onishchenko A. Seasonal Variation of Radon Concentrations in Russian Residential High-Rise Buildings. *Atmosphere*. 2021; 12(7):930. DOI: 10.3390/atmos12070930
16. Yarmoshenko I.V., Onishchenko A.D., Malinovsky G.P., Vasilyev A.V., Nazarov E.I., Zhukovsky M.V. Radon concentration in conventional and new energy efficient multi-storey apartment houses: results of survey in four Russian cities. *Scientific Reports*. 2020; 10:17724. DOI: 10.1038/s41598-020-74810-6
17. Vasiliev A.V., Zhukovsky M.V. The nature and periodicity of changes in the volumetric activity of radon in a room. *Equipment and news for radiation measurements*. 2015; 2(81):42-47. (rus.).
18. Yarmoshenko I.V., Malinovsky G.P., Zhukovsky M.V., Izgagin V.S., Onishchenko A.D., Vasilyev A.V. Relationship between Ra-226 activity concentration in building materials and indoor radon concentration: An example of Russian high-rise residential buildings. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2024; 272:107345. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2023.107345
19. Khan S.M., Pearson D.D., Rönnqvist T., Nielsen M.E., Taron J.M., Goodarzi A.A. Rising Canadian and falling Swedish radon gas exposure as a consequence of 20th to 21st century residential build practices. *Scientific Reports*. 2021; 11:17551. DOI: 10.1038/s41598-021-96628-6

About the authors: **Ilya V. Yarmoshenko** — Ph.D. (Phys.-Math.), Director; **Institute of Industrial Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IPE UB RAS)**; 20 S. Kovalevskaya st., Yekaterinburg, 620108, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-6591-1513; ivy@ecko.uran.ru;

Alexey V. Vasilyev — Ph.D. (Eng.), Senior Researcher; **Institute of Industrial Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IPE UB RAS)**; 20 S. Kovalevskaya st., Yekaterinburg, 620108, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-1916-741X; vav@ecko.uran.ru;

Georgy P. Malinovsky — Ph.D. (Biol.), Head of the Laboratory of Urbanized Environment; **Institute of Industrial Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IPE UB RAS)**; 20 S. Kovalevskaya st., Yekaterinburg, 620108, Russian Federation; georgy@ecko.uran.ru;

Aleksandra D. Onishchenko — Ph.D. (Biol.), Senior Researcher; **Institute of Industrial Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IPE UB RAS)**; 20 S. Kovalevskaya st., Yekaterinburg, 620108, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-1832-1059; onishchenko@ecko.uran.ru;

Mikhail V. Zhukovsky — Dr. Sci. (Eng.), Professor, Leading Researcher; **Institute of Industrial Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IPE UB RAS)**; 20 S. Kovalevskaya st., Yekaterinburg, 620108, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-5729-6530; michael@ecko.uran.ru.

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИБРОДЕМПФИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЛАГОПРИЯТНОЙ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Владимир Александрович Смирнов^{1,2}

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Российская Федерация;

² Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН); г. Москва, Российская Федерация

В связи со строительством линий метрополитена мелкого заложения, транспортных магистралей, трамвайных и железнодорожных линий вибрационное воздействие на человека и среду его обитания значительно увеличилось. В настоящее время для защиты от негативного вибрационного воздействия используются как конструкции виброизоляторов, так и различные упругие строительные материалы. От качества материалов зависит в дальнейшем эффективность гашения вибрационных воздействий. Поэтому данная работа направлена на проведение сопоставительной оценки физико-механических характеристик резин при статическом и динамическом сжатии, необходимых для расчетов и конструирования виброизоляторов и сейсмоизоляторов, а также для идентификации феноменологических моделей материала. Исследованы четыре материала: резины марок ИРП-1346 и ИРП-1347, резина марки ТМКШ и композит на основе резиновой крошки (РК), связанной полимерным связующим. Испытания выполнены на пульсаторе при статическом нагружении (управление перемещением) и при гармоническом воздействии с частотами 5, 10 и 20 Гц. По результатам определены удельная нагрузка и относительная деформация, статический модуль упругости, динамическая жесткость, комплексный модуль упругости и его составляющие (E' и E''), фазовый сдвиг, тангенс угла потерь, а также энергетические показатели за цикл. Установлено, что ТМКШ демонстрирует максимальную жесткость в статике и динамике, ИРП-1347 занимает промежуточное положение, ИРП-1346 характеризуется меньшей жесткостью при сопоставимых деформациях, а материал на основе крошки — наименьшей жесткостью и повышенной вариативностью параметров. Показано выраженное влияние амплитуды деформации на E' , E'' и $\tan \delta$, соответствующее нелинейному поведению наполненных эластомеров; при повышении частоты и деформации для ряда материалов возрастает доля потерь, что может быть использовано для повышения демпфирования в вибро- и сейсмозащите при условии контроля температурных и долговременных эффектов.

Ключевые слова: динамические характеристики, модуль упругости, коэффициент потерь, резина, эластомеры, вязкоупругие материалы

Для цитирования: Смирнов В.А. Оценка динамических характеристик вибродемпфирующих материалов для обеспечения благоприятной среды обитания человека // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 83–92. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.83-92

EVALUATION OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF RUBBER MATERIALS UNDER DYNAMIC LOADS

Vladimir A. Smirnov^{1,2}

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation;

² Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences
(NIISF RAASN); Moscow, Russian Federation

The aim of this study is to comparatively evaluate the physical and mechanical properties of rubber materials under static and dynamic compression, which is necessary for the calculation and design of vibration and seismic isolators, as well as for the identification of phenomenological models of the material. Four materials were studied: IRP-1346 and IRP-1347 rubber materials, TMKSh rubber material, and a composite based on rubber crumb (RC) bonded with a polymer binder. The tests were performed on a pulsator under static loading (displacement control) and under harmonic action with frequencies of 5, 10, and 20 Hz. Based on the results, the specific load and relative deformation, static elastic modulus, dynamic stiffness, complex elastic modulus and its components (E' and E''), phase shift, loss tangent, and energy indicators per cycle were determined. It was found that TMKSh demonstrates maximum stiffness in statics and dynamics, IRP-1347 occupies an intermediate position, IRP-1346 is characterized by lower stiffness at comparable deformations, and the crumb-based material has the lowest stiffness and increased variability of parameters. A pronounced effect of deformation amplitude on E' , E'' and $\tan \delta$ is shown, corresponding to the nonlinear behavior of filled elastomers; With increasing

frequency and deformation, the loss factor for some materials increases, which can be used to improve damping in vibration and seismic protection, provided that temperature and long-term effects are controlled.

Keywords: dynamic characteristics, elastic modulus, loss factor, rubber, elastomers, viscoelastic materials

For citation: Smirnov V.A. Evaluation of the Physical and Mechanical Properties of Rubber Materials under Dynamic Loads. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2025; 4:83-92. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.83-92 (rus.).

Введение

Развитие городской инфраструктуры предусматривает использование транспортных потоков для передвижения людей и доставки всего необходимого для человека — продуктов, предметов быта, одежды и прочего. В условиях плотной застройки транспортные магистрали — линии метрополитена, автомобильные дороги, железнодорожные и трамвайные линии пронизывают наши города. Создаваемые ими вибрационные воздействия негативно влияют на человека, состояние его здоровья, сон и настроение. Поэтому достаточно остро стоит проблема защиты от вибрационных воздействий жилых, офисных и других общественных зданий с целью обеспечения благоприятной и комфортной среды обитания человека. Данные проблемы решаются при использовании различных конструкций виброизоляторов и различных виброизоляционных материалов. От их физико-механических характеристик при статическом и динамическом сжатии зависит качество защиты от вибраций и создание комфортных условий для жизни человека.

Современные вибро- и сейсмоизоляторы широко применяют элементы из резины и эластомеров для защиты зданий, сооружений, машин и оборудования от вибраций и ударных нагрузок [1–4]. Резиновые демпферы способны одновременно снижать передачу вибрации благодаря своей упругости и рассеивать часть энергии колебаний за счет внутреннего трения (гистерезисных потерь в материале) [5–7]. Поэтому для проектирования эффективных виброизоляторов (и сейсмоизоляторов) необходимо знать физико-механические характеристики резин как в статических условиях, так и при динамическом нагружении [1–3, 7]. Требования к определенным указанным характеристикам регламентированы, в том числе ГОСТ 59940–2021 [8].

Статические характеристики (например, модуль упругости при сжатии) важны для оценки несущей способности и начальной жесткости элемента [2, 6, 7]. Однако при реальной эксплуатации резиновые элементы работают в условиях переменных нагрузок — малых колебаний вокруг некоторого статического смещения [6, 9]. В этих условиях проявляются вязкоупругие свойства: резина обладает комплексным модулем, включающим упругую и диссипативную составляющие, что проявляется при испытаниях в виде фазового сдвига между нагрузкой и деформацией [5–7, 9]. В результате динами-

ческая жесткость резины обычно отличается от статической, а часть энергии колебаний рассеивается в виде тепла [6, 7, 10]. Для точных расчетов необходимо учитывать эти эффекты. Существуют стандартизованные методы динамических испытаний резины, позволяющие определить динамический модуль и коэффициент механических потерь (тангенс угла δ) материала [11, 12]. На основе таких данных исследователи разрабатывают феноменологические модели (модели наследственности, многопараметрические модели Максвелла и др.), пригодные для прогнозирования работы резиновых элементов при различных амплитудах и частотах нагружения [9, 10, 13].

Динамическое поведение резины во многом определяется ее структурой и рецептурой. Известно, что наполненные резины проявляют нелинейное амплитудное поведение (эффект Пейна [12–15]): при малых амплитудах колебаний их мгновенная жесткость высока из-за ограничения подвижности каучука сажевым наполнителем, но с ростом амплитуды модуль снижается до некоторого постоянного уровня [14, 16–18]. Кроме того, нагружение резины приводит к частичному разупрочнению (эффект Маллинса [19, 20]), что выражается в уменьшении кривой «напряжение – деформация» при повторном нагружении [15, 18]. Частотная зависимость динамического модуля в области невысоких частот (до десятков Гц) для обычных резин обычно выражена слабо: их динамический модуль и коэффициент потерь мало меняются при изменении частоты нагружения [6, 10, 18]. Тем не менее при более высоких частотах или при особом строении материала (например, пористые или композиционные резины) возможно существенное изменение свойств. В целом предыдущие работы [5, 6, 9, 14] отмечают, что для точного учета свойств резины необходимо экспериментально определять их поведение в диапазоне рабочих амплитуд и частот нагружения.

Целью настоящего исследования является сравнительная оценка статических и динамических характеристик четырех типов резин: ИРП-1346, ИРП-1347, резины с крошкой (рециклированная дробленая резина на полиуретановом связующем) и промышленной резины марки ТМКШ. Схожие материалы, выполненные на ином сырье, исследованы в работах [4, 21–23]. Представлены состав и области применения этих материалов, проведены испытания образцов на сжатие в статическом

режиме и при гармонических колебаниях (частоты 5, 10 и 20 Гц). Проанализированы модуль упругости при статическом сжатии, динамическая жесткость (коэффициент упругости) при колебаниях, комплексный динамический модуль ($E^* = E' + iE''$) и его составляющие — упругий модуль E' и модуль потерь E'' , а также фазовый сдвиг и тангенс угла механических потерь $\tan \delta = E''/E'$. Выявлены характерные особенности деформирования и энергопоглощающей способности испытанных резин, а также сделаны выводы об их пригодности для применения в виброизоляторах.

Объекты и методика исследования

В работе рассмотрены четыре типа резиновых композиций: две специализированные резины серии ИРП (например, по ТУ 38.0051166–98 [24]), одна рециклированная резина на основе резиновой крошки и техническая резина марки ТМКЩ. Кратко опишем их состав и назначение:

- ИРП-1346. Это резиновая смесь на основе синтетических каучуков СКИ-3 (полиизопрен) и СКД (бутадиеновый каучук). ИРП-1346 относится к мягким морозостойким резинам (твердость ~40–50 ед. Шор А) с высоким относительным удлинением (до 600 %). Она разработана для изготовления резино-металлических амортизаторов и виброизоляторов, эксплуатируемых в воздухе при температурах от –50 до +80 °С. Благодаря комбинации изопренового и бутадиенового каучуков эта смесь обладает высокой эластичностью при низких температурах и хорошей стойкостью к многократным деформациям;

- ИРП-1347. Резиновая смесь, близкая по составу к ИРП-1346 (также основана на изопреновом и бутадиеновом каучуках), но с другими соотношениями компонентов. Марка ИРП-1347 предназначена для тех же условий: она применяется в резиновых амортизаторах и упругих элементах, работающих в среде воздуха, воды, слабых растворов кислот и щелочей. Твердость ИРП-1347 находится в диапазоне ~50–60 ед. Шор А, то есть несколько выше, чем у ИРП-1346. Эта резина сохраняет работоспособность в интервале температур –60...+70 °С и обладает повышенной прочностью связи с металлом и сопротивлением раздиру (необходимыми для надежной работы резинометаллических узлов). Ожидается, что ИРП-1347 будет более жесткой и демпфирующей по сравнению с ИРП-1346 за счет повышенного содержания наполнителя или иных модифицирующих добавок;

- резина с крошкой (РК). Под этим названием подразумевается рециклированный резиновый композиционный материал, полученный методом склеивания дробленой резиновой крошки полиуретановым связующим. Исходным сырьем обычно

служат переработанные отходы шин или технических резин, измельченные до гранул размером 1–5 мм. При смешивании гранул с полиуретановым преполимером и последующем отверждении образуется упругое пористое полотно с гидрофобными свойствами. Подобные материалы широко применяют как ударопоглощающие травмобезопасные покрытия для спортивных и детских площадок, беговых дорожек, зон вокруг бассейнов и т.д. Они обладают высокой упругостью, устойчивостью к атмосферным воздействиям (в пределах небольшого срока) и способностью гасить ударные нагрузки (за счет комбинированного сжатия гранул и сдвига связующего в порах). Следует отметить, что механические свойства резины с крошкой заметно зависят от соотношения гранулята и связующего, а также от размера и твердости исходной крошки. В целом такой материал обычно менее прочен, чем цельновулканизованные резины, но имеет достаточную демпфирующую способность и дешевизну, что делает его привлекательным для второстепенных и неотвечественных виброизолирующих применений;

- марка ТМКЩ расшифровывается как тепло-, морозо-, кислотощелочестойкая техническая резина. Выпускается в виде листовых техпластин и формовых изделий по ГОСТ 7338–90 [25]. Состав ТМКЩ обычно включает смесь каучуков общего назначения (например, натуральный и бутадиен-стирольный каучук), усиленную наполнителем (сажей), с добавками для повышения озоностойкости и термостойкости. Область применения ТМКЩ — уплотнительные и прокладочные элементы, работающие в агрессивных средах (азот, инертные газы, кислоты и щелочи до 20 % концентрации) при давлении до 0,1–0,4 МПа. Техпластины ТМКЩ используют для изоляции и амортизации в тяжелых условиях: из них вырезают прокладки фланцев трубопроводов, настилы на полы и лестницы, амортизирующие вкладыши в опоры оборудования и т.п. ТМКЩ изготавливается различной твердости: мягкая (40–55 ед. Шор А), средняя (55–70) и твердая (70–90). В нашем исследовании испытана пластина средней твердости (ТМКЩ-С), обладающая значительной жесткостью и умеренной способностью к энергорассеянию.

Сводные характеристики исследованных резин по имеющимся данным приведены в табл. 1.

Образцы перечисленных материалов были изготовлены в виде плиток размером около 100 × 100 мм. Для ИРП-1346 и ИРП-1347 использованы вулканизованные листовые образцы толщиной ~15 мм; резина с крошкой представляла собой фрагмент покрытия толщиной ~20 мм; образец ТМКЩ вырезан из техпластины толщиной 10 мм. Статические испытания проведены в режиме монотонного

Таблица 1. Сводные характеристики резин

Наименование пластины	Температура эксплуатации, °С	Плотность (твердость) единицы Шора А (от 0 до 100)	Прочность при растяжении не менее, МПа	Удлинение при разрыве, не менее %
ИРП-1346	от –60 до +80	40–50	16,7	600
ИРП-1347	от –60 до +70	47–57	16,7	550
ТМКЩ-М	от –45 до +80	35–50	4	300
ТМКЩ-С	от –30 до +80	50–65	5	250
ТМКЩ-Т	от –30 до +80	65–85	6,5	200

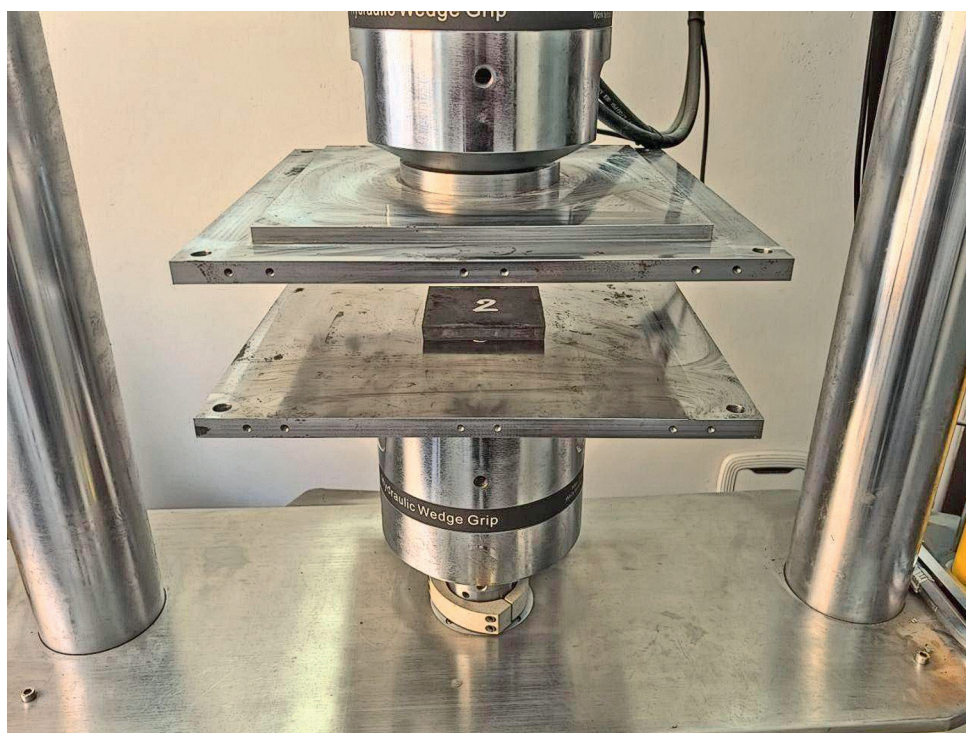


Рис. 1. Фотофиксация образца на испытательной машине

сжатия на стенде с управлением по перемещению (квазистатическое нагружение). Каждое испытание выполнялось до определенной величины деформации (порядка 20–30 % сжатия) непрерывно; при этом регистрировались текущая нагрузка F и сжатие Δh . По этим данным построены кривые $\sigma - \varepsilon$ (напряжение – деформация) сжатия, где условное напряжение σ рассчитывали как силу, отнесенную к начальному сечению образца:

$$\sigma(t) = F(t)/A; \quad \varepsilon(t) = \Delta h/h_0. \quad (1)$$

Статический модуль упругости при сжатии E_{stat} оценивали на третьем шаге приложения нагрузки как секущий модуль на заданном уровне деформации ε :

$$E_{stat}^{sec}(\varepsilon) = \frac{\sigma(\varepsilon)}{\varepsilon}, \quad (2)$$

или касательный (инкрементальный) модуль на интервале $[\varepsilon_1, \varepsilon_2]$:

$$E_{stat}^{tan} = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} = \frac{\sigma(\varepsilon_2) - \sigma(\varepsilon_1)}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}. \quad (3)$$

Динамические испытания проводили на универсальной сервогидравлической машине Метротест УИМ-100-1-5-0,5-0,5-0,5, обеспечивающей статические и динамические испытания на разрыв и сжатие материалов и изделий в частотном диапазоне до 50 Гц. Фотофиксация образца между плоскими пластинами испытательной машины приведена на рис. 1.

Каждый образец устанавливался между жесткими плитами машины и первоначально сжимался до некоторого среднего смещения h_0 (преднаят, как правило, 0,5–2 % относительной деформации) для обеспечения контакта. Далее накладывалась гармоническая нагрузка малой амплитуды, образец возбуждался синусоидальными колебаниями смещения относительно среднего положения:

$$x(t) = \bar{x} + x_0 \sin(\omega t), \quad (4)$$

где $\bar{x}$ — среднее статическое поджатие;
 x_0 — амплитуда гармоника, $\omega = 2\pi f$.

Испытания проводили при трех частотах f : 5, 10 и 20 Гц. Амплитуду нагрузки x_0 подбирали с учетом требований ГОСТ 59940 [8]. Такое нагружение позволяет определить динамическую жесткость $k_{dyn} = \Delta F / \Delta h$ на различных степенях сжатия, а также динамический модуль: $E^* = k_{dyn}(h_0/A)$ (приведенный к текущей толщине образца). Одновременно измеряли фазовый сдвиг ϕ между сигналом перемещения и силы; по нему вычислен $\tan \delta$. Данные обрабатывались с помощью специализированного ПО, рассчитывавшего комплексные модули и энергетические показатели цикла.

Результаты и их обсуждение

Статические свойства. На рис. 2 представлены полученные статические диаграммы сжатия четырех исследованных материалов. Видно, что все образцы проявляют нелинейное упругое поведение: модуль упругости E_{stat} возрастает с ростом деформации (кривые напряжение – деформация имеют восходящую кривизну). При малых деформациях (~1–5 %) резины мягкие, а при укорочении более 10–15 % их сопротивление существенно увеличивается. Это объясняется геометрической компактизацией материала (уменьшение высоты образца повышает его жесткость) и внутренней физической нелинейностью полимера (выпрямление цепей макромолекул при сжатии, рост вклада наполнителя и т.д.).

Четко прослеживаются различия между материалами. Резина с крошкой оказалась наиболее мягкой: даже при 4 % сжатия напряжение в ней не превысило 0,05 МПа. Секущий модуль (отношение напряжения 0,047 МПа к деформации 4,2 %) составил всего около 1,1 МПа — почти на порядок ниже, чем у остальных образцов. настолько низкая жесткость объясняется неомогенной структурой материала: под нагрузкой частицы резины могут перераспределяться (в том числе разрываться), а полиуретан-

новый клей деформируется в основном сдвигом в тонких прослойках между гранулами. ИРП-1346 продемонстрировала умеренную жесткость: при 10 % сжатия напряжение достигло ~0,8 МПа, а при максимальной деформации ~32 % — около 3,0 МПа. Секущий модуль в диапазоне 0–10 % возрос от ~3 до ~8 МПа, а при 30 % деформации составил порядка 12–13 МПа. ИРП-1347 оказалась значительно жестче: уже при 6 % сжатия напряжение было ~0,75 МПа, а при 24 % — около 3,4 МПа. Ее начальный модуль выше, чем у 1346, что согласуется с большей твердостью этой смеси. Модуль E_{stat} для ИРП-1347 слегка снизился с ~17 МПа (на малых деформациях) до ~15 МПа (на больших деформациях); такое поведение может указывать на проявление эффекта Маллинса: материал слегка размягчается после начала пластического течения наполнителя или разрушения связей. ТМКЩ ожидаемо продемонстрировала максимальную жесткость: при 5,5 % деформации напряжение ~0,84 МПа, а при 8,2 % — 2,06 МПа. По трем точкам можно оценить рост секущего модуля: от ~15 МПа (0–3 % деформации) до ~42 МПа (от 3 до 5,5 %) и ~49 МПа (5,5–8,2 %). Таким образом, даже при умеренных сжатиях ТМКЩ обладает модулем упругости порядка 40–50 МПа, что втрое превышает значения у ИРП-1346 и в десятки раз — у резины с крошкой. Это связано с высокой степенью наполнения технической резины и, возможно, с меньшей начальной толщиной образца (геометрический фактор).

Как видно, резины при сжатии обладают выраженным нелинейным поведением, более того, при малых нагрузках разница в величинах модуля особенно велика (между крайними — РК и ТМКЩ — на порядок), что нужно учитывать при выборе материала под заданную несущую способность узла.

Для анализа динамических характеристик рассмотрим результаты при частоте 5 Гц. В табл. 2 приведены сравнения некоторых показателей четырех резин при

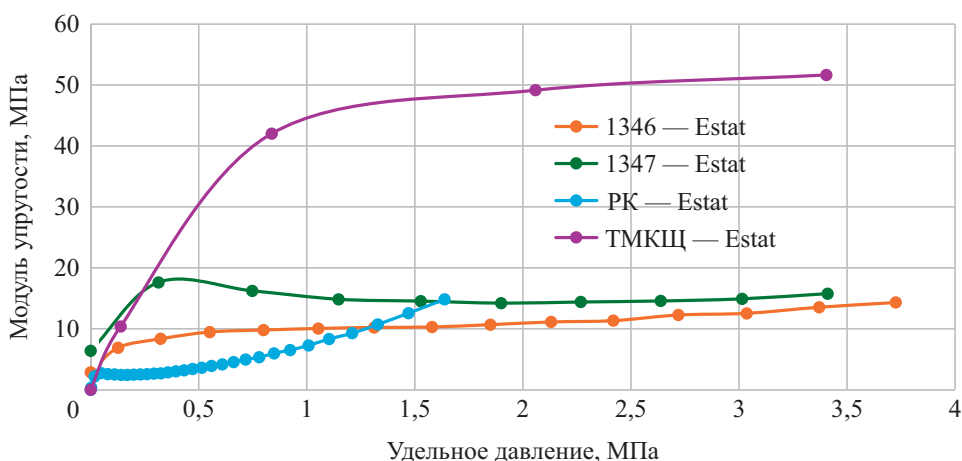


Рис. 2. Статические кривые сжатия образцов резин: ИРП-1346 (оранжевый), ИРП-1347 (зеленый), резина с крошкой (бирюзовый), ТМКЩ (фиолетовый)

Таблица 2. Сравнение динамических упругих характеристик резин при 5 Гц

Материал	Динамический модуль E^* , МПа	Упругий модуль E' , МПа	Модуль потерь E'' , МПа	$\tan \delta$
РК	$\approx 1,0-1,2$	0,99	0,07	0,07
ИРП-1346	≈ 17	15,9	1,3	0,08
ИРП-1347	≈ 37	33,5	4,9	0,15
ТМКЩ	≈ 76	69,6	9,7	0,14

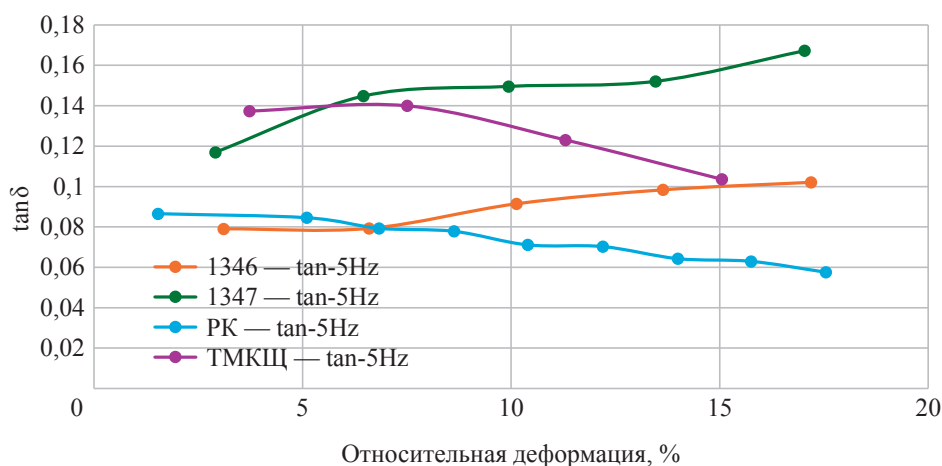


Рис. 3. Характеристики тангенса потерь для образцов резин: ИРП-1346 (оранжевый), ИРП-1347 (зеленый), резина с крошкой (бирюзовый), ТМКЩ (фиолетовый)

примерно 10%-ном статическом сжатии (т.е. в условиях, когда образец несет значительную нагрузку, и на него наложены малые вибрации).

Результаты показывают, что динамическая жесткость резин существенно превосходит их статическую жесткость. Например, для ИРП-1346 при $\sim 10\%$ сжатия статический секущий модуль равен ~ 8 МПа, тогда как динамический модуль $E^* \approx 17$ МПа (т.е. более чем в 2 раза выше). У ИРП-1347 разница еще сильнее: $E^* \approx 37$ МПа против $\sim 14-15$ МПа статического модуля. Даже у достаточно мягкой РК наблюдается, что малые высокочастотные колебания воспринимаются ею несколько жестче, чем статическое нагружение ($1,0-1,2$ МПа против $\sim 0,7$ МПа секущего статического модуля на близкой деформации). Главная причина этого — нелинейность резины: при динамическом испытании образец уже «включен» в работу предварительным сжатием и малые колебания происходят по касательной ветви диаграммы $\sigma - \varepsilon$, наклон которой значительно выше, чем у исходной неподверженной нагрузке резины. Иными словами, динамический модуль соответствует локальной (дифференциальной) жесткости материала при данном уровне деформации, тогда как статический (секущий) модуль усредняется от нуля.

С другой стороны, из табл. 2 и рис. 3 видно, что способность к диссипации энергии заметно различается для разных резин. Коэффициент механических потерь $\tan \delta$ колеблется от $\sim 0,07$ у резины с крошкой до $\sim 0,15$ у ИРП-1347. Модуль потерь E'' (про-

порционален рассеиваемой энергии) у ИРП-1347 достигает ~ 5 МПа, что в несколько раз выше, чем у ИРП-1346 ($E'' \approx 1,3$ МПа) и в десятки раз выше, чем у РК ($E'' \approx 0,07$ МПа). Таким образом, ИРП-1347 обладает наибольшим внутренним трением, способным рассеивать значительную долю энергии колебаний, тогда как в РК демпфирование минимально (видимо, из-за относительно малых внутренних потерь в полиуретановом связующем при таких частотах). ТМКЩ имеет промежуточные характеристики: $\tan \delta \approx 0,14$ и $E'' \approx 9,7$ МПа — это означает, что, несмотря на очень высокую жесткость, данная резина обеспечивает примерно такой же относительный уровень гашения, как и ИРП-1347. Для большинства практических задач (например, сейсмоизоляции) оптимальным является материал, сочетающий высокий E'' (для поглощения энергии) с достаточной упругостью E' (для восприятия нагрузки). В этом смысле ИРП-1347 выглядит предпочтительно: при умеренной жесткости она имеет наибольший модуль потерь. Если же критична минимальная передача вибраций (т.е. нужен низкий E' при допустимом E''), то наоборот — лучше подойдет ИРП 1346.

Дополнительную информацию дает анализ изменения динамических параметров при разных уровнях деформации (предварительного нагружения). Отметим несколько характерных тенденций. Для ИРП-1346 и ИРП-1347 наблюдается увеличение потерь с ростом статического сжатия. Например, у ИРП-1347 при 3 % деформации $\tan \delta \approx 0,12$, а при

17 % — около 0,17 (рис. 3). Видимо, при возрастании нагрузки в резине активируются дополнительные механизмы диссипации, — например, обратимое скольжение цепей, трение наполнителя, — что приводит к росту E'' . Одновременно у этих материалов упругий модуль E' выходит на плато: выше определенной деформации ($\approx 10\text{--}15\%$) дальнейшее сжатие почти не увеличивает E' . Это соответствует упоминавшемуся эффекту Пейна для заполненных резин: при достаточно больших амплитудах/деформациях прежние межфазные связи в материале разрушены, и модуль стабилизируется на некотором уровне. В наших испытаниях для ИРП-1347 такой уровень ~ 40 МПа (достигался уже при $\sim 14\%$ сжатия). У ТМКЩ схожим образом E' выходит на плато (~ 80 МПа) уже при $\sim 10\%$ деформации, однако коэффициент потерь снижается с 0,14 до 0,10 по мере сжатия. Это означает, что при малых деформациях в ТМКЩ действуют какие-то механизмы гистерезиса (возможно, микропористость или внутренние напряжения смеси), которые затем «вырабатываются». В результате материал становится более упругим и менее вязким при сильном сжатии. Интересное поведение показала РК: $\tan\delta$ слегка уменьшается с $\sim 0,086$ до $\sim 0,058$ при росте сжатия от 1,5 до 17,5 % (рис. 3), т.е. относительные потери падают, вероятно, из-за уплотнения структуры: частицы резины входят в более жесткий контакт друг с другом и остается меньше подвижных элементов, способных поглощать энергию. При этом, однако, абсолютное значение E'' у крошки весьма мало на всем интервале (например, E'' снизился с 0,082 до 0,057 МПа, что почти в 100 раз меньше, чем у ИРП-1347).

Поведение образцов при 10 и 20 Гц качественно было аналогичным описанному, однако количественно отмечены некоторые отклонения. В частности, для ИРП-1346 и ИРП-1347 измеренные E' при 20 Гц оказались немного ниже, чем при 5–10 Гц. Для РК, напротив, рост частоты с 5 до 20 Гц сопровождался значительным увеличением динамического модуля: так, при $\sim 10\%$ сжатия E^* вырос с ~ 1 МПа (5 Гц) до ~ 6 МПа (20 Гц). Это указывает на существенную зависимость свойств композиции от скорости деформации, вероятно, полиуретановое связующее обладает собственным временем релаксации и на высоких частотах переходит в более жесткое (менее вязкое) состояние. Отметим, что такой материал лучше гасит ударные одноразовые нагрузки, чем вибрацию: при быстро изменяющемся напряжении он «закрывается» и сопротивляется почти упруго (с высокой жесткостью, но малыми потерями).

Таким образом, проведенные исследования позволили количественно сравнить физико-механические показатели различных резиновых материалов

и выявить их пригодность для задач виброизоляции. ИРП-1347 сочетает высокую энергоемкость с достаточно высокой упругостью и может применяться в ответственных виброизолирующих опорах и демпферах, где важна долговечность и эффективность гашения. ИРП-1346 более мягкая и менее демпфирующая, она подойдет для узлов, требующих пониженной жесткости, например, в приборных виброизоляторах средней нагрузки или в уплотнительных прокладках, где чрезмерное усилие нежелательно. Резина ТМКЩ обеспечивает чрезвычайно большую несущую способность при умеренных виброизолирующих свойствах; она может использоваться в тяжело нагруженных конструкциях (фундаментах, опорах оборудования), где виброизолятор должен выдерживать большие статические силы, хотя эффективность гашения вибраций у нее ограничена ($\tan\delta \sim 0,1\text{--}0,14$). Что касается РК, она проявила себя как экстремально мягкий материал с малым модулем — это выгодно для изоляции высокочастотных вибраций небольшой амплитуды (за счет низкой передаваемой жесткости). Однако характеристики материала существенно отличаются от образца, что не позволяет обеспечить стабильность свойств (и соответственно — стабильное поведение виброзащитной системы).

Заключение

Выполнено комплексное исследование динамических характеристик четырех различных резин: ИРП-1346, ИРП-1347, композиции на основе резиновой крошки и техпластины ТМКЩ. Получены кривые статического сжатия и определены модули упругости, а также проведены динамические испытания при переменных нагрузках (5–20 Гц) с измерением комплексного модуля и механических потерь. Основные выводы работы:

- статическая жесткость материалов возрастает в порядке: РК (самая мягкая, $E_{stat} \sim 1\text{--}2$ МПа) < ИРП-1346 (мягкая морозостойкая резина, $E_{stat} \sim 5\text{--}10$ МПа) < ИРП-1347 (умеренно жесткая резина, $E_{stat} \sim 15$ МПа) < ТМКЩ (жесткая техническая резина, $E_{stat} \sim 40\text{--}50$ МПа);
- динамическая жесткость (E') у всех материалов выше статической секущей жесткости, особенно при малых деформациях. Так, при $\sim 5\text{--}10\%$ сжатия динамический модуль ИРП-1347 ($\sim 30\text{--}40$ МПа) в 2–3 раза превышает ее статический модуль, а у ИРП-1346 и ТМКЩ это превышение составляет ~ 2 раза. Это говорит о том, что расчет виброизоляторов по статической жесткости может недооценивать действительную жесткость узла при вибрации — следует пользоваться динамическими характеристиками, измеренными при малых колебаниях вокруг рабочей точки;

• демпфирующие свойства значительно различаются: наибольшим коэффициентом потерь обладает ИРП-1347 ($\tan\delta$ до $\sim 0,17$, что свидетельствует о высоком внутреннем трении и способности гасить до $\sim 17\%$ энергии за цикл), за ней следует ТМКЩ ($\tan\delta \sim 0,10\text{--}0,14$). У ИРП-1346 потери умеренные ($\tan\delta \sim 0,08\text{--}0,10$), а у РК — низкие ($\tan\delta \sim 0,06\text{--}0,08$). Это означает, что ИРП-1347 предпочтительна для демпфирования вибраций;

• нелинейность поведения: для всех материалов с увеличением статического сжатия (преднагрузки) возрастает их динамическая жесткость, но по-разному меняется коэффициент потерь. У ИРП-1346/1347 наблюдается рост $\tan\delta$ (материал рассеивает больше энергии при больших деформациях), тогда как у ТМКЩ и особенно у РК — снижение $\tan\delta$ (материалы становятся более упругими и менее гистерезисными при уплотнении). У наполненных резин (ИРП, ТМКЩ) при больших деформациях динамический модуль выходит на плато, что согласуется с известным эффектом Пейна. У РК отмечена сильная зависимость от частоты: при 20 Гц ее динамический модуль вырос в 5–6 раз по сравнению с 5 Гц, хотя потери снизились; это указывает на свойства полиуретанового связующего (более жесткое и упругое отклик на высоких скоростях деформации).

В заключение подчеркнем, что экспериментальная оценка динамических характеристик (модулей и демпфирования) необходима для правильного

выбора и моделирования резиновых элементов в виброзащитных системах и сейсмоизоляторах. Полученные данные могут быть использованы для идентификации параметров моделей материала, например расчета эквивалентных параметров моделей Кельвина–Фойгта или стандартного линейного тела, которые воспроизводят наблюдаемые частотно-деформационные зависимости. Кроме того, результаты напрямую применимы при инженерных расчетах: так, для грубой оценки можно принять, что в рабочем диапазоне деформаций (5–15 %) упругая поддерживающая сила резинового элемента рассчитывается с использованием динамического модуля E' , а доля гасимой энергии — по коэффициенту потерь $\tan\delta$. Настоящее исследование подтвердило, что даже близкие по составу резины (ИРП-1346 и 1347) могут различаться по жесткости и демпфированию, а потому выбор материала должен быть обоснован целевыми показателями системы. Полученные экспериментальные зависимости послужат основой для дальнейшего математического моделирования и оптимизации виброизоляторов и сейсмоизоляторов с использованием этих материалов.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить физико-механические свойства 4 видов резин, которые будут использоваться при расчетах систем виброизоляции, что позволит защитить человека от негативного вибрационного воздействия и сделать среду его обитания более комфортной.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. EN 15129:2018. Anti-seismic devices. URL: <https://iteh-standards.uc.r.appspot.com/catalog/standards/cen/78c174c4-d9ec-422e-ae7c-88fab162c80e/en-15129-2018/>
2. Warn G.P., Ryan K.L. A Review of Seismic Isolation for Buildings: Historical Development and Research Needs // *Buildings*. 2012. No. 2 (3). Pp. 300–325. DOI: 10.3390/buildings2030300
3. Aghaeidoost V., Billah A.H.M.M. An advanced rate-dependent analytical model for lead rubber bearings // *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 2024. No. 53 (6). Pp. 1961–1981. DOI: 10.1002/eqe.4100. EDN WXZVFS
4. Akhtar A.Ya., Tsang h.Ho. Dynamic properties of recycled polyurethane-coated rubber-soil mixtures // *Case Studies in Construction Materials*. 2023. No. 18. P. e01859. DOI: 10.1016/j.cscm.2023.e01859. EDN ASHTWR.
5. Sun X., Thompson D. Measurement, Modeling, and Analysis of the Dynamic Properties of Resilient Elements Used for Vibration Isolation // *Journal of Vibration and Acoustics, Transaction of the ASME*. 2023. No. 145 (6). P. 060801. DOI: 10.1115/1.4064541. EDN DDESUT.
6. Kari L. On the dynamic stiffness of preloaded vibration isolators in the audible frequency range: Modeling and experiments // *Journal of the Acoustical Society of America*. 2003. No. 113 (4). Pp. 1909–1921. DOI: 10.1121/1.1557214. EDN LRQUZZ.
7. Kari L. Dynamic Stiffness Matrix of a Long Rubber Bush Mounting // *Rubber Chemistry and Technology*. 2002. No. 75 (4). Pp. 747–770. DOI: 10.5254/1.3545000
8. ГОСТ 59940–2021. Системы виброизоляции зданий и сооружений. Методы испытаний вибродемпфирующих материалов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200182116>
9. Cortazar-Noguerol Ju., Cortés F., Sarria I., Elejabarrieta M.J. Preload Influence on the Dynamic Properties of a Polyurethane Elastomeric Foam // *Polymers*. 2024. No. 13. P. 1844. DOI: 10.3390/polym16131844. EDN ZVGLFO.

10. Li G., Wu L., Zhang Sh., Liu F. Frequency dependence prediction and parameter identification of rubber bushing // *Scientific Reports*. 2022. No. 12 (1). P. 863. DOI: 10.1038/s41598-022-04839-2. EDN IVQCWM.
11. Tsang H.Ho., Tran D.Ph., Hung W.Yi., Gad E.F. Geotechnical seismic isolation based on high-damping polyurethane: centrifuge modelling // *Bull Earthquake Engineering*. 2024. No. 22 (4). Pp. 2001–2023. DOI: 10.1007/s10518-023-01842-4. EDN POQMIV.
12. Yin B., Jiao X., Wen H., Li Ya., Li M. Effect of Prestrain on Payne Effect and Hysteresis Loss of Carbon-Black-Filled Rubber Vulcanizates: Measurements and Modeling // *Polymers*. 2024. No. 16 (3). P. 436. DOI: 10.3390/polym16030436. EDN IPPMVO.
13. Jalocha D. Payne effect: A Constitutive model based on a dynamic strain amplitude dependent spectrum of relaxation time // *Mechanics of Materials*. 2020. Vol. 148. P. 103526. DOI: 10.1016/j.mechmat.2020.103526
14. Hentschke R. The Payne effect revisited // *eXPRESS Polymer Letters*. 2017. No. 11 (4). Pp. 278–292. DOI: 10.3144/expresspolymlett.2017.28. EDN YWUUYT.
15. Song Y., Xu Zh., Zheng Q., Wang W. Payne effect of carbon black filled natural rubber nanocomposites: Influences of extraction, crosslinking, and swelling // *Journal of Rheology*. 2021. No. 65 (5). Pp. 807–820. DOI: 10.1122/8.0000270. EDN HWFFNM.
16. Robertson C.G., Hardman B.J. Nature of Carbon Black Reinforcement of Rubber. Perspective on the Original Polymer Nanocomposite // *Polymers*. 2021. No. 13 (4). P. 538. DOI: 10.3390/polym13040538. EDN KECSNR.
17. Hao D., Li D., Liao Y. A finite viscoelastic constitutive model for filled rubber-like materials // *International Journal of Solids and Structures*. 2015. No. 64, 65. Pp. 232–245. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2015.04.002
18. Wollscheid D., Lion A. Predeformation- and frequency-dependent material behaviour of filler-reinforced rubber: Experiments, constitutive modelling and parameter identification // *International Journal of Solids and Structures*. 2013. No. 50 (9). Pp. 1217–1225. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2012.12.015
19. Diani J., Fayolle B., Gilormini P. A review on the Mullins effect. *European Polymer Journal*. 2009. No. 45 (3). Pp. 601–612. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2008.11.017. EDN KPBXQT.
20. Bokobza L. Elastomer Nanocomposites: Effect of Filler-Matrix and Filler-Filler Interactions // *Polymers*. 2023. No. 15 (13). P. 2900. DOI: 10.3390/polym15132900. EDN VPJOAH.
21. Revelo C.F., Correa M., Agular C., Colorado H.A. Composite materials made of waste tires and polyurethane resin: A case study of flexible tiles successfully applied in industry // *Case Studies in Construction Materials*. 2021. No. 15. P. e00681. DOI: 10.1016/j.cscm.2021.e00681. EDN CNCSAG.
22. Meza-Muñoz A.O., Rivas-Ordoñez F.S., Madera-Sierra I.E., Rojas-Manzano M.A., Patino-Reyes E.D., Salmerón-Becerra M.I. et al. Development of a Matrix for Seismic Isolators Using Recycled Rubber from Vehicle Tires // *Polymers*. 2024. No. 16 (21). P. 2977. DOI: 10.3390/polym16212977. EDN HPFGWM.
23. Yun J., Mazumder M., Na Il.Ho., Lee M.S., Kim H.H. Evaluation of Effect of Thermoplastic Polyurethane (TPU) on Crumb Rubber Modified (CRM) Asphalt Binder // *Materials*. 2022. No. 15 (11). P. 3824. DOI: 10.3390/ma15113824. EDN WQYEYG.
24. ТУ 38.0051166–98. Смеси резиновые для резинотехнических изделий авиационной техники.
25. ГОСТ 7338–90. Пластины резиновые и резинотканевые. Технические условия : утв. постановлением Госстандарта СССР от 13 июня 1990 г. № 1528.

Об авторе: **Владимир Александрович Смирнов** — канд. техн. наук, доцент кафедры СиТМ; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ведущий научный сотрудник; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии строительных наук (НИИСФ РААСН)**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр-д, д. 21; ORCID: 0000-0001-5679-9542, ResearcherID: N-6846-2016; e-mail: belohvost@list.ru.

REFERENCES

1. EN 15129:2018. Anti-seismic devices. URL: <https://iteh-standards.uc.r.appspot.com/catalog/standards/cen/78c174c4-d9ec-422e-ae7c-88fab162c80e/en-15129-2018/>
2. A Review of Seismic Isolation for Buildings: Historical Development and Research Needs. *Buildings*. 2012; 2(3):300-325. DOI: 10.3390/buildings2030300
3. Aghaeidoost V., Billah A.H.M.M. An advanced rate-dependent analytical model for lead rubber bearings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 2024; 53(6): 1961-1981. DOI: 10.1002/eqe.4100. EDN WXZVFS
4. Akhtar A.Ya., Tsang h.Ho. Dynamic properties of recycled polyurethane-coated rubber-soil mixtures. *Case Studies in Construction Materials*. 2023; 18:e01859. DOI: 10.1016/j.cscm.2023.e01859. EDN ASHTWR.
5. Sun X., Thompson D. Measurement, Modeling, and Analysis of the Dynamic Properties of Resilient Elements Used for Vibration Isolation. *Journal of Vibration and Acoustics, Transaction of the ASME*. 2023; 145(6):060801. DOI: 10.1115/1.4064541. EDN DDESUT.

6. Kari L. On the dynamic stiffness of preloaded vibration isolators in the audible frequency range: Modeling and experiments. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2003; 113(4):1909-1921. DOI: 10.1121/1.1557214. EDN LRQUZZ.
7. Kari L. Dynamic Stiffness Matrix of a Long Rubber Bush Mounting. *Rubber Chemistry and Technology*. 2002; 75(4):747-770. DOI: 10.5254/1.3545000
8. GOST 59940–2021. Vibration isolation systems for buildings and structures. Test methods for vibration damping materials. Methods for determining the dynamic characteristics of rubber/rubber materials. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200182116> (rus.).
9. Cortazar-Noguerol Ju., Cortés F., Sarriá I., Elejabarrieta MJ. Preload Influence on the Dynamic Properties of a Polyurethane Elastomeric Foam. *Polymers*. 2024; (13):1844. DOI: 10.3390/polym16131844. EDN ZVGLFO.
10. Li G., Wu L., Zhang Sh., Liu F. Frequency dependence prediction and parameter identification of rubber bushing. *Scientific Reports*. 2022; 12(1):863. DOI: 10.1038/s41598-022-04839-2. EDN IVQCWM.
11. Tsang H.Ho., Tran D.Ph., Hung W.Yi., Gad E.F. Geotechnical seismic isolation based on high-damping polyurethane: centrifuge modelling. *Bull Earthquake Engineering*. 2024; 22(4):2001-2023. DOI: 10.1007/s10518-023-01842-4. EDN POQMIV.
12. Yin B., Jiao X., Wen H., Li Ya., Li M. Effect of Prestrain on Payne Effect and Hysteresis Loss of Carbon-Black-Filled Rubber Vulcanizates: Measurements and Modeling. *Polymers*. 2024; 16(3):436. DOI: 10.3390/polym16030436. EDN IPPMVO.
13. Jalocha D. Payne effect: A Constitutive model based on a dynamic strain amplitude dependent spectrum of relaxation time. *Mechanics of Materials*. 2020; 148:103526. DOI: 10.1016/j.mechmat.2020.103526
14. Hentschke R. The Payne effect revisited. *EXPRESS Polymer Letters*. 2017; 11(4):278-292. DOI: 10.3144/express-polymlett.2017.28. EDN YWUUYT.
15. Song Y., Xu Zh., Zheng Q., Wang W. Payne effect of carbon black filled natural rubber nanocomposites: Influences of extraction, crosslinking, and swelling. *Journal of Rheology*. 2021; 65(5):807-820. DOI: 10.1122/8.0000270. EDN HWFFNM.
16. Robertson C.G., Hardman B.J. Nature of Carbon Black Reinforcement of Rubber. Perspective on the Original Polymer Nanocomposite. *Polymers*. 2021; 13(4):538. DOI: 10.3390/polym13040538. EDN KECSNR.
17. Hao D., Li D., Liao Y. A finite viscoelastic constitutive model for filled rubber-like materials. *International Journal of Solids and Structures*. 2015; 64-65:232-245 DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2015.04.002
18. Wolscheid D., Lion A. Predeformation- and frequency-dependent material behaviour of filler-reinforced rubber: Experiments, constitutive modelling and parameter identification. *International Journal of Solids and Structures*. 2013; 50(9):1217-1225. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2012.12.015
19. Diani J., Fayolle B., Gilormini P. A review on the Mullins effect. *European Polymer Journal*. 2009; 45(3):601-612. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2008.11.017. EDN KPBXQT.
20. Bokobza L. Elastomer Nanocomposites: Effect of Filler-Matrix and Filler-Filler Interactions. *Polymers*. 2023; 15(13):2900. DOI: 10.3390/polym15132900. EDN VPJOAH.
21. Revelo C.F., Correa M., Aguilar C., Colorado H.A. Composite materials made of waste tires and polyurethane resin: A case study of flexible tiles successfully applied in industry. *Case Studies in Construction Materials*. 2021; 15:e00681. DOI: 10.1016/j.cscm.2021.e00681. EDN CNCSAG.
22. Meza-Muñoz A.O., Rivas-Ordoñez F.S., Madera-Sierra I.E., Rojas-Manzano M.A., Patino-Reyes E.D., Salmerón-Becerra M.I. et al. Development of a Matrix for Seismic Isolators Using Recycled Rubber from Vehicle Tires. *Polymers*. 2024; 16(21):2977. DOI: 10.3390/polym16212977. EDN HPFGWM.
23. Yun J., Mazumder M., Na H.Ho., Lee M.S., Kim H.H. Evaluation of Effect of Thermoplastic Polyurethane (TPU) on Crumb Rubber Modified (CRM) Asphalt Binder. *Materials*. 2022; 15(11):3824. DOI: 10.3390/ma15113824. EDN WQYEYG.
24. TU 38.0051166–98. Rubber mixtures for rubber products of aviation equipment. (rus.).
25. GOST 7338–90. Rubber and rubber-fabric plates. Technical conditions : approved by the Resolution of the USSR State Standard of June 13, 1990, No. 1528. (rus.).

About the author: **Vladimir A. Smirnov** — Candidate of technical sciences, associate professor of the Structural and Theoretical Mechanics Department; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Leading research fellow; **Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Locomotivniy passage, Moscow, 127238, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-5679-9542, ResearcherID: N-6846-2016; e-mail: belohvost@list.ru.

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 93–94.

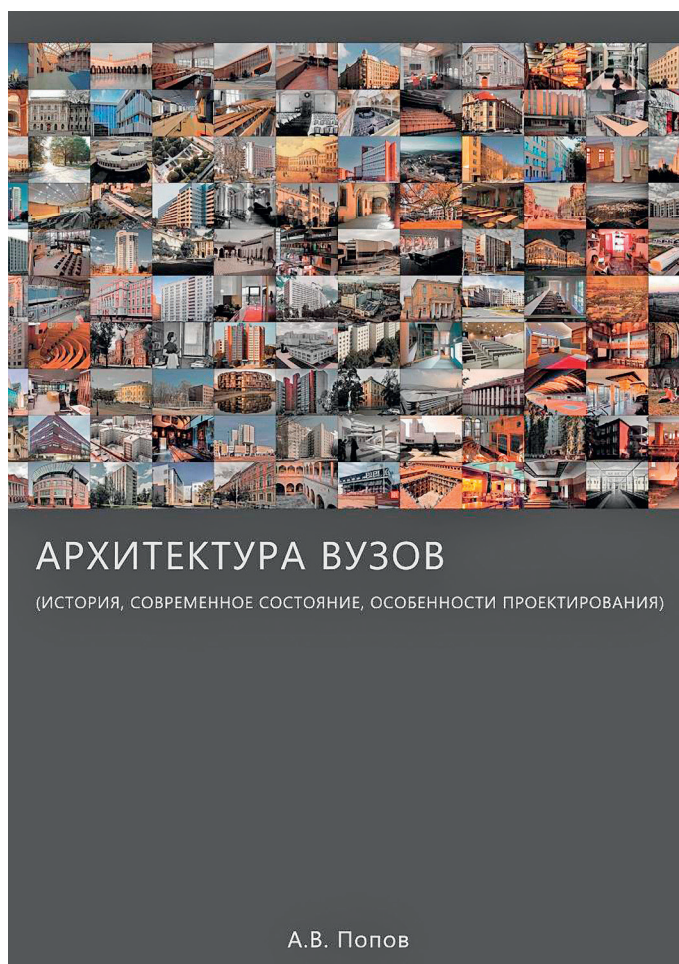
Рецензия на монографию «Архитектура вузов (история, современное состояние, особенности проектирования)»

Автор: **Алексей Владимирович Попов**

Издательство: ИНФРА-М

Год издания: 2024

Объем: 492 страницы



Монография Алексея Попова представляет собой масштабное и комплексное исследование, посвященное эволюции, современному состоянию и актуальным вопросам архитектурного проектирования высших учебных заведений. Работа является результатом многолетних исследований автора.

В работе на основе анализа зданий и комплексов высших учебных заведений сформирована непрерывная картина развития архитектуры учреждений высшей школы от ранних античных, ближневосточных и азиатских прототипов до наших дней и определены место и роль в ней российских вузов. Прослежена эволюция архитектуры учреждений высшей школы, приведшая к трансформации архитектурной среды высших учебных заведений от ранних прототипов древности до современных многофункциональных образовательных комплексов — кампусов.

Анализ педагогических подходов и внедрения новых инструментов в высшей школе, психологических и социологических особенностей взаимодействия позволил сформировать основные требования к среде современного кампуса вуза.

В исследовании определены архитектурная типология и особенности проектирования кампусов вузов как комплексов, отдельных зданий в их составе (учебно-научные здания; общежития, гостиницы и апартаменты; здания и помещения для отдыха, общественного питания, торговли, обслуживания быта, культурно-досуговой деятельности и др.), а также общественных пространств в кампусах вузов. При этом выявлены градостроительные, объемно-пространственные, функционально-планировочные и композиционно-художественные особенности архитектурного формирования каждой из составляющих комплекса. Предложена концепция архитектурного формирования кампусов вузов в России как многофункциональных объектов в единстве составляю-

щих «труд – быт – отдых», объединяющих в общую многофункциональную архитектурную среду учебно-научные здания, здания для досуга и обслуживания, жилище и систему общественных пространств.

Монография А.В. Попова «Архитектура вузов» — это актуальное фундаментальное исследование, а достигнутые автором результаты будут интересны профессиональному и научному сообществу. Замечаний у рецензента к монографии «Архитектура вузов (история, современное состояние, особенности проектирования)» не имеется.

Монография А.В. Попова «Архитектура вузов (история, современное состояние, особенности проектирования)» рекомендуется к широкому использованию в научной и практической деятельности.

Профессор кафедры
градостроительства НИУ МГСУ
Д-р техн. наук, профессор

Н.В. Бакаева

Общие требования

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Статья предоставляется в **1 экземпляре** на бумажном носителе или в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна** статья **одного** автора, включая соавторство.
- Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки — РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

Требования к содержанию научной статьи

- Научная статья, предоставляемая в журналы, должна иметь следующие **обязательные элементы**:
- постановка проблемы или задачи в общем виде;
- анализ достижений и публикаций, в которых предлагается решение данной проблемы или задачи, на которые опирается автор, выделение научной новизны;
- исследовательская часть;
- обоснование полученных результатов;
- выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления.

Требования к оформлению научной статьи

- Статья должна быть набрана шрифтом TimesNewRoman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ — 0,75 см, верхнее поле — 2 см, нижнее поле — 2 см, левое поле — 2 см, правое поле — 2 см.
- Слова внутри абзаца следует разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; не допускаются разрядки слов.
- Рисунки и таблицы располагаются по тексту. Таблицы должны иметь тематические заголовки. Иллюстрации, встраиваемые в текст, должны быть выполнены в одном из стандартных форматов (TIFF, JPEG, PNG) с разрешением не ниже 300 dpi. Качество рисунков должно обеспечивать возможность их полиграфического воспроизведения без дополнительной обработки. **Рисунки, выполненные в MSWord, недопустимы.**
- Для набора формул и переменных следует использовать редактор формул MathType версии 5.2 и выше с размерами: обычный — 12 пт; крупный индекс 7 пт, мелкий индекс — 5 пт; крупный символ — 18 пт; мелкий символ — 12 пт. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).
- Необходимо учитывать, что полоса набора — 75 мм. Если формула имеет больший размер, ее необходимо упростить или разбить на несколько строк. Формулы, внедренные как изображение, не допускаются! Все русские и греческие буквы (Ω , η , β , μ , ω , ν и др.) в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Обозначения тригонометрических функций ($\sin$, $\cos$, $\tg$ и т.д.) — прямым шрифтом. Латинские буквы — курсивом. Химические формулы набираются прямым шрифтом.
- Список литературы к статье обязателен и должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. Пристатейные библиографические списки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на работы, находящи-

еся в печати, не допускаются. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках.

В тексте статьи не рекомендуется применять:

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

Обязательные элементы:

- **заглавие** (на русском и английском языке) публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация** (на русском и английском языке) описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем — 200–250 слов;
- **ключевые слова** (на русском и английском языке) — это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5–10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи, — не менее 15 источников, самоцитирование — до 20 %.
- **сведения об авторах** (на русском и английском языке), включающие ученую степень, ученое звание авторов, место и должность работы, электронную почту. В статье допускается не более 4 соавторов.

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

Тип статьи
УДК
DOI:

ЗАГОЛОВОК СТАТЬИ

Имя Отчество Фамилия¹, Имя Отчество Фамилия²...

¹ Место работы первого автора полное и сокращенное; город, страна

² Место работы второго автора полное и сокращенное; город, страна

Аннотация (от 200 до 250 слов). Текст текст текст.
Ключевые слова: (5–10 слов) текст, текст, текст, текст, текст
Благодарности (если нужно).
Автор, ответственный за переписку: Имя Отчество Фамилия, адрес электронной почты для связи.

ЗАГОЛОВОК СТАТЬИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

Имя О. Фамилия¹, Имя О. Фамилия²... на английском языке

¹ Место работы первого автора полное и сокращенное; город, страна — на английском языке

² Место работы второго автора полное и сокращенное; город, страна — на английском языке

Abstract (200–250 слов). Text.
Keywords: (5–10 слов) text, text, text.
Acknowledgements: text, text, text.
Corresponding author: Имя О. Фамилия, адрес электронной почты для связи — на английском языке

Основной текст [1, 2].
Текст (табл. 1).

Таблица 1. Пример таблицы в статье

Наименование показателя	Единица измерения	Концентрация	Допустимая концентрация	Уровни, требующие вмешательства
Кадмий	мг/кг	0,02–0,1	0,8	12
Никель		1,0–5,5	35	210
Медь		0,7–2,6	36	190

Текст (рис. 1).



Рис. 1. Пример рисунка в статье

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Самарин О.Д. О расчете охлаждения наружных стен в аварийных режимах теплоснабжения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 46–50. URL: <http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publication/fulltext/2-2007.pdf> (дата обращения: 04.12.18).
2. Мусорина Т.А., Петриченко М.Р. Математическая модель тепломассопереноса в пористом теле // Строительство: наука и образование. 2018. Т. 8. № 3. С. 35–53. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.3.3

Об авторах: **Имя, Отчество, Фамилия** (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации; адрес электронной почты;

Имя, Отчество, Фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение, **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор, почтовый адрес организации, адрес электронной почты.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Samarin O.D. On calculation of external walls coling in emergency condition of heat supply. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Construction*. 2007; 2:46-50. URL: <http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publication/full-text/2-2007.pdf> (Accessed 19th June 2015). (rus.).
2. Musorina T.A., Petrichenko M.R. Mathematical model of heat and mass transfer in porous body. *Construction: science and education*. 2018; 8(3):35-53. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.3.3 (rus.).

About the author (сведения об авторах на английском языке приводятся в полном виде, без сокращений слов): **Имя, Отчество, Фамилия** (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации (в последовательности: офис, дом, улица, город, индекс, страна); адрес электронной почты;

Имя, Отчество, Фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации (в последовательности: офис, дом, улица, город, индекс, страна); адрес электронной почты.

Contribution of the authors: all authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Учредители журнала:

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ)
305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94
Тел.: +7 (4712) 50-48-00, www.swsu.ru
E-mail: swsu.ee@gmail.com

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Брянский государственный инженерно-технологический университет»
(БГИТУ)
241037, Россия, г. Брянск, проспект Станке Димитрова, 3
Тел.: +7(4832) 74-60-08, www.bgita.ru
E-mail: mail@bgita.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН)
127238, Россия, г. Москва, Локомотивный проезд, 21
Тел.: +7 (495) 482-39-67, E-mail: niisf@niisf.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет» (НИУ МГСУ)
129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26
Тел.: +7(495) 781-80-07, www.mgsu.ru
E-mail: kanz@mgsu.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства
строительства и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации» (ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России»)
119331, Россия, г. Москва, проспект Вернадского, 29
Тел: +7 (499) 951-95-21, www.cniipminstroy.ru
E-mail: info@cniipminstroy.ru

Адрес редакции и издателя

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет».
Издательство МИСИ – МГСУ
129337, Москва, Ярославское ш., д. 26.
Сайт: www.mgsu.ru
E-mail: journals@mgsu.ru

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

Ответственный за выпуск:

канд. техн. наук Анна Евгеньевна Коробейникова
Выпускающий редактор: Алла Русланбековна Табекова
Редактор: Людмила Борисовна Корзухина
Корректор: Оксана Валерьевна Ермихина
Дизайн и верстка: Владимир Викторович Дёмкин

Подписано в печать 30.12.2025
Формат 60×84 1/8. Печ. л. 11,63
Тираж 1000 экз.
Заказ № 401.

Отпечатано с готового оригинал-макета