

Криушкина Элина Валерьевна
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Загидуллина Гульсина Мансуровна
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Моделирование перспективных тенденций развития малоэтажного строительства региона с использованием интегрального показателя

Аннотация. По мере роста городских территорий малоэтажное строительство становится важным компонентом устойчивых и пригодных для проживания городов. Такой подход к городскому планированию позволяет обеспечить доступное и высококачественное жильё без перегрузки существующей инфраструктуры, что делает его идеальным решением для агломераций, сталкивающихся с нехваткой жилого фонда и быстрым ростом населения. В статье представлен концептуальный подход к моделированию перспективных тенденций развития малоэтажного строительства региона с использованием интегрального показателя. Интегральный показатель включает в себя 6 групп индикаторов, охватывающих экономические, инфраструктурные, социально-демографические, инвестиционные, инновационные и энергетические аспекты. Разработанная модель позволяет оценить взаимосвязь этих факторов и спрогнозировать динамику развития сегмента с учётом региональной специфики, что способствует обоснованному принятию управленческих решений в сфере градостроительства.

Ключевые слова: жильё, модель, развитие, регион, строительство.

Kriushkina Elina Valeryevna
Kazan State University of Architecture and Engineering
Zagidullina Gulsina Mansurovna,
Kazan State University of Architecture and Engineering

Modeling of promising trends in the development of low-rise construction in the region using an integral indicator

Abstract. As urban areas grow, low-rise construction becomes an important component of sustainable and livable cities. This approach to urban planning ensures affordable and high-quality housing without overloading existing infrastructure, making it an ideal solution for agglomerations facing a shortage of housing stock and rapid population growth. The article presents a conceptual approach to modelling promising trends in the development of low-rise construction in a region using an integral indicator. The integral indicator includes six groups of indicators covering economic, infrastructural, socio-demographic, investment, innovation and energy aspects. The developed model makes it possible to assess the interrelation of these factors and forecast the dynamics of the segment's development taking regional specifics into account, which contributes to well-founded decision-making in urban planning.

Keywords: housing, model, development, region, construction.

В связи с ростом населения в городах, спросом на более доступное жильё и расширением возможностей трудоустройства, возведение новых объектов жилого фонда стало основным направлением развития строительного сектора. Однако прогрессирующая урбанизация, хотя и является положительным явлением, сопровождается также рядом социальных, экономических, экологических и технологических проблем [1]. Более высокая плотность, которую часто ошибочно путают с компактным проектированием, является

основным показателем, свидетельствующим о необходимости изменений в политике землепользования, в связи с уплотнением городов и запросом на перепланировку старых районов с использованием более прогрессивных моделей городского развития. В частности, это относится к жилым кварталам и жилым комплексам, где наблюдается устойчивая тенденция к росту городского энергопотребления, более высокой концентрации населения, дефициту озеленённых территорий и формированию высокоплотной инфраструктуры.

Вследствие отмеченных обстоятельств и новых вызовов городское развитие в настоящее время претерпевает значительные изменения: малоэтажные здания — как правило, до 4-5 этажей — становятся преобразующей силой, меняющей облик агломераций во многих странах мира. Эти сооружения представляют собой идеальный баланс между плотностью застройки и комфортностью проживания. Малоэтажные здания революционизируют современное представление о городской жизни, предлагая решение проблемы нехватки жилья и сохраняя при этом характер устоявшихся районов [2].

Международный опыт показывает, что компактные поселения с интегрированной сетью малоэтажных хорошо спроектированных и многофункциональных районов имеют много преимуществ. Эти территории, как правило, предлагают более комфортный доступ к услугам и удобствам, лучшую интеграцию с существующей инфраструктурой и общественным транспортом, более эффективное использование земли, а также способствуют и поддерживают переход к жизни с более низким уровнем выбросов углерода [3].

В таблице 1 систематизированы данные, наглядно отражающие преимущества малоэтажного строительства по сравнению с другими форматами организации жилья для населения.

Табл. 1 Сравнительная эффективность различных типов жилья для населения (составлено автором)

Показатель	Малоэтажные дома (МКД)	Высотные многоквартирные дома	Индивидуальное жилье (ИЖС)
Стоимость кв.м.	Сравнима или немного выше, чем в высотных домах	Зависит от региона, но часто ниже из-за экономии на масштабе	Заметно выше из-за индивидуального строительства и стоимости земли
Срок строительства	1-1,5 года	2-3+ лет	1-2 года, зависит от подрядчика
Энерго-эффективность	Выше	Ниже	Зависит от проекта, может быть как очень высокой, так и очень низкой
Затраты на отопление	Ниже на 15-30% (из-за меньшей площади стен)	Выше	Сильно варьируются
Затраты на содержание	Ниже (нет лифтов, меньше общедомовых площадей)	Выше	Ниже, но владелец несет все расходы самостоятельно

Очевидным является тот факт, что смена подходов к городскому планированию и задачи пространственной оптимизации актуализируют задачи моделирования региональных и отраслевых стратегий развития малоэтажного строительства с учетом специфики конкретной территории. Главной особенностью такого рода моделей является их интегральный характер, поскольку для оптимизации землепользования и планировки городов требуется динамичный и комплексный подход. Это в свою очередь предопределяет необходимость учета широкого спектра детерминант как экзогенного, так и эндогенного

характера, которые отражают не только экономические и социальные факторы, но также экологические и энергетические.

Итак, функциональная роль экономико-математических методов моделирования и прогнозирования динамики малоэтажного строительства региона заключается в том, чтобы выявить принципы и внутреннюю логику формирования региональной специфики, отраслевых перспектив, определить ее структуру и элементы, их взаимосвязи и механизмы функционирования. Это создает новые возможности расширения использования инструментария и методов управления городским планированием в регионе с использованием эконометрических моделей и современных компьютерных технологий.

Таким образом, актуальность, теоретическая и практическая значимость рассматриваемых вопросов предопределили выбор темы данной статьи.

Научная дискуссия, касающаяся изучения динамических взаимосвязей между развитием строительного сектора и ростом региональной экономики, представлена работами таких ученых как: Римшин В.И., Анпилов С.М., Рощина С.И., Усанов С.В., Laam Hae, Jamie Doucette, Jian Gong, Tingchen Fang.

Над разработкой модели, которая показывает, как взаимодействующая динамика населения, рабочих мест или услуг может создавать спрос на новое жилье, трудятся Султанов А.А., Морозова Н.И., Строев Е.А., Шенкман Р.И., Свинцов Е.В., Петренева О.В., Ryosuke Okajima, Takuu Futagami.

Применимость моделей системной динамики для понимания взаимосвязанных конкурентных сил, действующих в строительной отрасли, где множество заинтересованных сторон сотрудничают одновременно как вертикально, так и горизонтально на протяжении всего жизненного цикла типичного строительного проекта, детально изучают Русланова А.В., Лабудин Б.В., Куницкая О.А., Стородубцева Т.Н., Швецова В.В., Akesh B. Kakarla.

Однако, несмотря на имеющиеся публикации и наработки, проблема построения эконометрических моделей для обоснования управленческих решений в различных отраслях экономики, в том числе и в строительном секторе, окончательно еще не решена. Отдельного внимания заслуживают динамические комбинации между различными факторами, влияющими на динамику застройки определенного региона или территории. Также в уточнении нуждается математическая модель оценки развития того или иного сегмента строительного сектора в регионе, которая способна адекватно формализовать влияние на него социально-экономических систем на разных иерархических уровнях, имея гибкую структуру и высокую способность адаптировать экспертные данные.

Таким образом, цель статьи заключается в изучении особенностей моделирования перспективных тенденций развития малоэтажного строительства региона с использованием интегрального показателя.

На фоне ускоряющихся экономических изменений, обновления промышленных технологий и возросших требований к устойчивому проектированию новых городов и городских кварталов, особенно актуальной потребностью является обеспечение непрерывного и достоверного мониторинга социально-экономической ситуации и разработка новых методов и моделей формирования системы управления строительным сектором, способного удовлетворить спрос населения на комфортное и безопасное жилье [4].

Многомерность характеристик и показателей, формирующих динамику возведения жилых зданий, требует использования интегрального подхода на основе объединения совокупности статистических показателей для повышения качества оценки перспектив развития малоэтажного строительства.

Очевидным является тот факт, что для разработки интегрального показателя необходимо обосновать перечень индивидуальных индикаторов в разрезе различных групп, оказывающих значимое влияние на перспективы малоэтажного строительства в конкретном регионе. Анализ имеющейся по данной тематике литературы свидетельствует о том, что ученые традиционно сосредотачиваются на таких аспектах как экономический масштаб территории, структура населения, качество имеющегося жилья, потребление энергии,

занятость и экологическое развитие [5, 6].

На основании изученного материала автором сформулировано несколько руководящих принципов отбора показателей, которые позволят обеспечить эффективность и точность оценки.

1. **Согласованность:** показатели должны быть взаимосвязаны и последовательно отражать взаимное влияние строительной отрасли и экономического развития региона. Это позволит понять общее взаимодействие между динамикой застройки и экономическим ростом на конкретной территории.

2. **Доступность и анализ:** сбор показателей и статистических данных не должен вызывать особых трудностей и требовать больших затрат. Данные могут быть получены в ходе опросов или экспериментов, также они должны быть просты для математического анализа. Кроме того, ожидается, что индикаторы будут понятными, четкими и актуальными для целей оценки.

3. **Объективность:** показатели призваны точно отражать реальный спрос на жилье, состояние строительной отрасли и уровень экономического развития региона. Важно использовать надежные источники данных и обеспечить беспристрастность и справедливость оценки.

4. **Сопоставимость:** показатели должны позволять проводить сравнения между разными регионами. Это крайне важно для анализа того, как динамика городского строительства и экономическое развитие региона варьируются от одного района к другому, что позволит сделать полезные сравнения и выводы.

Учитывая вышеизложенное, в таблице 2 представлены отобранные автором показатели для построения математической модели оценки перспективных тенденций развития малоэтажного строительства региона.

Табл. 2 Факторы и технические показатели для моделирования перспектив развития малоэтажного строительства в регионе (составлено автором)

Группа факторов	Показатели	Описание и технические параметры
Экономические	Стоимость строительства	1. Цена 1 м ² : средняя стоимость строительства малоэтажного дома по сравнению с высотным (руб./м ²) 2. Стоимость инженерных сетей: затраты на подведение коммуникаций (газ, электроэнергия) на 1 домовладение (тыс. руб./участок)
	Доступность инвестиций	3. Объем ипотечного кредитования: доля выданных льготных ипотек на ИЖС в общем объеме ипотеки (%) 4. Инвестиционная активность: количество проектов малоэтажных жилых комплексов, получивших финансирование за год (ед.)
Инфраструктурные	Транспортная доступность	5. Плотность дорожной сети: число км дорог на 100 км ² территории 6. Среднее время в пути: время от центра агломерации до нового малоэтажного поселка в часы пик (мин.)
	Обеспеченность коммуникациями	7. Доля подключенных объектов: процент домовладений, подключенных к центральному газопроводу и электросетям (%) 8. Качество сетей: количество аварий на инженерных сетях на 1000 жителей в год (ед.)
Социально-демографическая	Миграционные процессы	9. Коэффициент миграционного прироста: число прибывших на 1000 человек населения, с разбивкой на

		город/пригород 10. Доля семей с детьми: процент молодых семей (возраст 25-45 лет) в общем миграционном потоке
	Покупательская способность	11. Медианный доход населения: средний доход, который позволяет приобрести 1 м ² жилья 12. Социологические индикаторы: результаты опросов о предпочтениях в выборе жилья, ранжированные по этажности (баллы)
Инвестиционно-правовые	Наличие свободных земель	13. Площадь свободных земель: общая площадь земли, выделенной под малоэтажное строительство (га) 14. Коэффициент освоения: процент освоенных территорий от общего объема, выделенного под застройку (%)
	Регулирование и поддержка	15. Количество программ поддержки: наличие региональных и муниципальных программ субсидирования (ед.) 16. Скорость получения разрешений: среднее время получения разрешения на строительство (дней)
Энергетические	Энергоэффективность	17. Класс энергоэффективности: доля построенных домов класса А+, А, В (%) 18. Теплотери: средний показатель теплотерь на 1 м ² жилья (кВт·ч/м ² в год) 19. Удельное потребление энергии: среднее потребление энергии на отопление и горячее водоснабжение (кВт·ч/м ² в год)
	Использование возобновляемых источников	20. Доля альтернативной энергии: процент малоэтажных комплексов, использующих солнечные панели, тепловые насосы, геотермальные системы (%)
Инновационные	Применение новых технологий	21. Распространение модульного строительства: доля модульных домов в общем объеме малоэтажного строительства (%) 22. Умные технологии: доля домов, оборудованных системами «Умный дом» (автоматизированное управление освещением, отоплением, безопасностью) (%)
	Цифровизация процессов	23. BIM-технологии: процент проектов, разработанных с использованием BIM-моделирования (%) 24. Скорость документооборота: среднее время прохождения строительной документации через электронные сервисы (дни)

Далее с использованием показателей, представленных в таблице 2, необходимо провести анализ координации взаимосвязи между ними, который позволит изучить отношения между отдельными характеристиками строительной отрасли и индикаторами экономического развития региона в разные периоды времени. Этот анализ также даст возможность определить, каким образом, различные стимулы и препятствия, льготные режимы и специальные программы, политики и инструменты регионального роста взаимодействуют друг с другом.

Один из примеров результатов такого анализа представлен на рис. 1, стрелки и цвета имеют следующее обозначение:

1. Сплошная черная стрелка: это прямая, положительная связь. Она показывает, что увеличение значения исходного фактора приводит к увеличению значения зависимого фактора. Это ключевые стимулы для рынка. Например, рост доступности инвестиций напрямую и положительно влияет на малоэтажное строительство, так как у застройщиков

появляется больше средств для реализации проектов.

2. Пунктирная синяя стрелка: это регулирующая обратная связь. Эта связь показывает, как итоговый результат (объем строительства) влияет на один из исходных факторов, регулируя процесс. Например: рост малоэтажного строительства приводит к росту нагрузки на городские сети в контексте обеспеченности коммуникациями (инфраструктура не успевает за темпами строительства), что в будущем может стать сдерживающим фактором.

3. Пунктирная красная стрелка: это обратная, отрицательная связь. Она показывает, что рост одного фактора ведет к снижению другого. Такие связи являются тормозом для развития рынка. Например, рост стоимости строительства имеет обратную, отрицательную связь с малоэтажным строительством, так как делает проекты менее рентабельными.

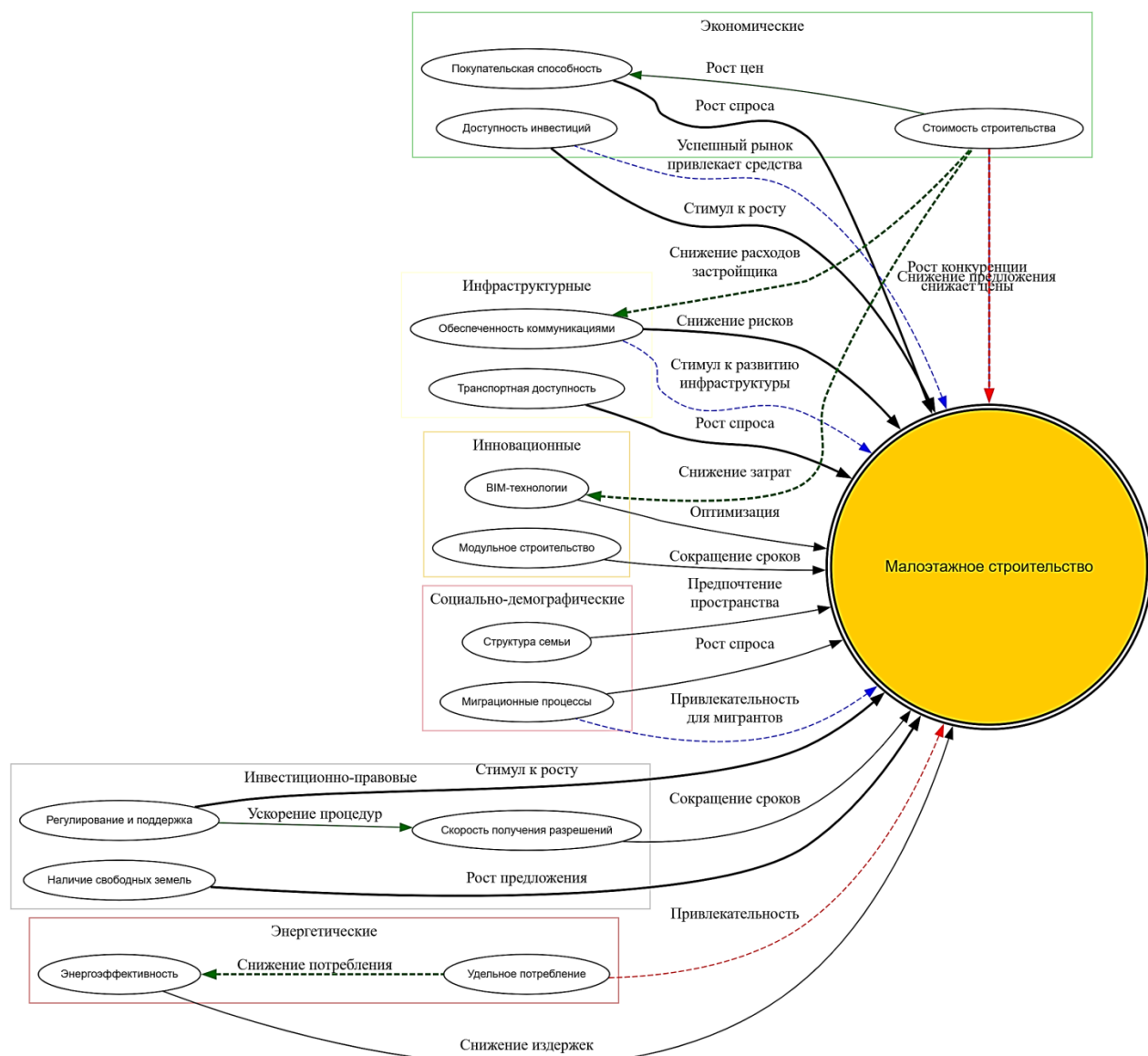


Рис. 1 Схема взаимосвязей факторов для моделирования перспективных тенденций развития малоэтажного строительства региона (составлено автором)

Результаты анализа, представленного на рис. 1 не являются исчерпывающими и не охватывают все возможные проекции взаимодействия динамики развития малоэтажного строительства и регионального роста. Схема может быть расширена и дополнена с учетом специфики строительного сектора и конкретных территориальных условий.

Далее рассмотрим более подробно математическую формализацию решаемой задачи.

Частные показатели, описанные в таблице 2 обозначим как $U_1, \dots, U_{24}$, а значение показателя U_i в t -й период времени запишем как $U_i(t)$, где $t = 1, \dots, p$.

Поскольку между исходными показателями существуют заметные различия в единицах измерения и порядках величин, необходимо их нормализовать, чтобы устранить влияние единиц измерения на результаты расчетов:

$$U'_{it} = \frac{U_{it} - U_{tmin}}{U_{tmax} - U_{tmin}} \text{ (положительное влияние)}$$

$$U'_{it} = \frac{U_{tmax} - t}{U_{tmax} - U_{tmin}} \text{ (негативное влияние)}$$

где U_{it} представляет значение показателя i в t -й период времени, U_{tmax} — максимальное значение показателя, достигнутое на протяжении анализируемого временного отрезка, U_{tmin} — минимальное значение этого показателя, достигнутое на протяжении

анализируемого временного отрезка, а U'_{it} — нормализованное безразмерное значение, которое находится в диапазоне $[0, 1]$.

Далее представляется целесообразным использовать метод энтропии для оценки весов индикаторов на основе их информационного содержания [7]. В данном исследовании этот метод, по мнению автора, необходим для повышения объективности оценки путем представления вклада каждого изучаемого показателя в динамику развития малоэтажного строительства в регионе.

$$\begin{aligned} P_{it} &= \frac{U'_{it}}{\sum_{i=1}^m U'_{it}} \\ E_i &= -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{it} \ln(P_{it}) \\ D_{it} &= 1 - E_{it} \\ W_i &= \frac{t}{\sum_{i=1}^n D_i} \end{aligned}$$

где U'_{it} — безразмерное значение показателя i в период времени t , P_{it} — доля порядкового параметра, E_i — вклад показателя, $0 \leq E_{it} \leq 1$, D_{it} — разница показателей i между периодами t , $0 \leq D_{it} \leq 1$, W_i — вес показателя i , n — общее количество показателей.

Степень связи C между малоэтажным строительством - $F(X)$ и развитием региона - $G(Y)$ является основным компонентом модели координации связи, ее значения варьируются от 0 до 1 и отражают силу взаимодействия между системами. Степень связи C для этих двух систем имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} C &= \sqrt{\left(1 - \sqrt{F(X) - G(Y)}\right)^2 \times \frac{F(X)}{G(Y)}} \quad (G(Y) > F(X)) \\ C &= \sqrt{\left(1 - \sqrt{F(X) - G(Y)}\right)^2 \times \frac{G(Y)}{F(X)}} \quad (F(X) > G(Y)) \end{aligned}$$

$$F(X) = \sum_{j=1}^n U'_j W_j \quad G(Y) = \sum_{i=1}^n U'_i W_i$$

где $F(X)$ и $G(X)$ индивидуально обозначают значения оценки степени развития малоэтажного строительства и развития региона, $F(X) \in [0, 1]$, $G(Y) \in [0, 1]$. U'_i символизирует нормализованное или стандартизированное значение индикатора i , а W_i обозначает вес, связанный с индикатором.

Необходимым дополнением анализа считаем моделирование пространственно-временной эволюции плотности населения $p(x, t)$ в регионе (количество жителей на квадратный километр) и доли малоэтажного строительства, $s(x, t)$ (доля земли, занятой такими сооружениями), в месте x и в момент времени t .

Привлекательность малоэтажного строительства для проживающего населения, $A(x, t)$ отражает предположение, что квартиры в таких домах и в целом микрорайон является более привлекательными, в связи с невысокой плотностью застройки и достаточным количеством услуг для удовлетворения ежедневных потребностей населения, и задается как произведение нелокального среднего значения доли услуг и локальной доли жилого пространства:

$$A(x, t) = A(S(x, t), s(x, t)) = S(x, t)(1 - s(x, t))$$

$$S(x, t) = \int \omega_{p_1}(x - y) s(y, t) dy = \omega_{p_1} \times s(x, t)$$

Здесь p_1 — это весовое ядро, которое учитывает нелокальный вклад плотности застройки. Мы предполагаем, что ядро имеет вид гауссовой функции [8] с характерным масштабом β_1 .

$$\omega_{p_1}(x) = G(x, \beta_1)$$

$$G(x, \beta) = \frac{1}{\beta \sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x^2}{2\beta^2}\right)} \quad G(x, \beta) = \frac{1}{2\pi\beta^2} e^{-(|x|^2/2\beta^2)}$$

Такое ядро означает, что точки, которые находятся дальше от x , имеют меньшее влияние, чем точки, расположенные ближе к x . Скорость затухания задается β , где большее значение β дает более распределенную форму, что является синонимом стандартного отклонения нормального распределения [9, 10]. Таким образом, параметр β_1 характеризует, насколько население стремится жить в микрорайонах с малоэтажным строительством.

Таким образом, подводя итоги, отметим, что в статье предложен концептуальный подход к применению эконометрических моделей для определения перспективных тенденций развития малоэтажного строительства региона с использованием интегрального показателя. Основу подхода составляют модели пространственной корреляции и 6 групп факторов.

Ожидается, что этот подход позволит осуществить обоснованный выбор стратегии развития городских пространств, планирования территорий и обеспечит повышение качества, надежности и эффективности принятия управленческих решений по стабильному развитию регионов.

Список источников

1. Водяников М.В., Анисимов А.Ю. Управление строительным комплексом в условиях реализации стратегии строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства до 2030 года // Естественнo-гуманитарные исследования. 2023. № 2 (46). С. 343-346.
2. Петрова З.К., Долгова В.О. Влияние системы расселения и социально-экономических условий на развитие малоэтажной застройки в России // Academia. Архитектура и строительство. 2022. № 2. С. 69-76.
3. Wei-Hua Hu, Zeng-Mao Xu Operational modal analysis and continuous dynamic monitoring of high-rise building based on wireless distributed synchronized data acquisition system // Structural Control and Health Monitoring. 2022. Volume 29, Issue 11. P. 29-34.
4. Федорова А.В. Трансформация показателей рынка жилищного строительства: основные тенденции и прогнозы // Фундаментальные исследования. 2022. № 10-1. С. 129-135.
5. Natthanij Soonsawad, Raymundo Marcos-Martinez City-scale assessment of the material and environmental footprint of buildings using an advanced building information model: A case study from Canberra, Australia // Journal of Industrial Ecology. 2024. Volume 28, Issue 2. P. 98-105.
6. Михеев Г.В. Разработка модели управления малоэтажным жилищным строительством в условиях современного экономического пространства России // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. 2024. № 4 (44). С. 54-62.
7. Михеев Г.В. Формирование инструментальных и методологических решений управления в малоэтажном жилищном строительстве // Экономика строительства. 2024. № 6. С. 436-442.
8. Abdisalam Yusuf Duale, Werku Koshe Hareru Assessment of Factors Causing Construction Delays in Building Construction Projects in Somaliland // Advances in Civil Engineering. 2025. Volume 22, Issue 19. P. 18-23.
9. Ali Hassan Identifying and assessing modular construction implementation barriers in developing nations for sustainable building development // Sustainable Development. 2023. Volume 31, Issue 5. P. 76-83.
10. Golmaei S. M., Vahidi J. Whale Algorithm for Schedule Optimization of Construction Projects Employing Building Information Modeling // Engineering Reports. 2025. Volume 7, Issue 3. P. 22-31.

Сведения об авторах

Криушкина Элина Валерьевна, Соискатель ученой степени кандидата экономических наук, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, Казань

Загидуллина Гульсина Мансуровна, доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедры экономики и предпринимательства в строительстве, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, Казань.

Information about the authors:

Kriushkina Elina Valeryevna, PhD Candidate in Economics, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan

Zagidullina Gulsina Mansurovna, Dr.Sc of Economics, Professor, Head of the Department of Economics and Entrepreneurship in building, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia.