

УДК 725.51:004.946

DOI 10.25628/UNIIP.2026.69.2.007

КОВАЛЕВ В. А., ВОЛИЧЕНКО О. В.

Параметрическое моделирование потоков посетителей и персонала как основа формирования адаптивных планировочных структур поликлиник



**Ковалев
Владислав
Александрович**

аспирант, Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация
e-mail: 1142240285@pfur.ru

Аннотация. Современные поликлиники сталкиваются с проблемой неэффективности статичных планировочных решений в условиях переменной нагрузки и требований санитарной безопасности. Возможно параметрическое моделирование потоков пациентов и персонала для адаптивной реорганизации пространства. Методология основана на агентном моделировании, анализе графов связности и синтезе алгоритмов генеративной архитектуры. В результате выявлены корреляции между плотностью потоков, временем обслуживания и конфигурацией циркуляционных узлов. Предложены принципы формирования адаптивных планировочных модулей, интегрируемые в цифровой двойник здания. Полученные данные позволяют прогнозировать узкие места на этапе проектирования и снижать временные издержки до двенадцати процентов.

Ключевые слова: параметрическое моделирование, потоки посетителей, адаптивная архитектура, поликлиника, агентное моделирование, симуляция, алгоритмическое проектирование, планировочная структура

Kovalev V. A., Volichenko O. V.

Parametric modeling of visitor and staff flows as a basis for designing adaptive outpatient clinic layouts



**Воличенко
Ольга
Владимировна**

доктор архитектуры, доцент, советник РААСН, профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация
e-mail: volichenko-ov@rudn.ru

Abstract. Modern outpatient clinics face the challenge of inefficient static layout designs under variable workloads and strict sanitary safety requirements. Parametric modeling of patient and staff flows enables the adaptive spatial reorganization of these facilities. The methodology is based on agent-based modeling, connectivity graph analysis, and the synthesis of generative architecture algorithms. As a result, correlations were identified between flow density, service time, and the configuration of circulation hubs. The study proposes principles for forming adaptive layout modules that can be integrated into a building's digital twin. The findings allow for the prediction of bottlenecks during the design phase, reducing time losses by up to 12%.

Keywords: parametric modeling, visitor flows, adaptive architecture, outpatient clinic, agent-based modeling, simulation, algorithmic design, layout structure

Постановка проблемы.

Цель работы и предмет исследования. Новизна работы

Современная архитектура медицинских учреждений сталкивается с парадоксом: статичность физической структуры здания противоречит динамике оказываемых медицинских услуг и изменчивости потоков посетителей. Анализ опыта проектирования последних лет показывает, что традиционные методы нормирования площадей (основанные на СНиП и СП) не позволяют эффективно реагировать на пиковые нагрузки, что приводит к образованию очередей, перекрещиванию потоков «чистых» и «грязных» зон и снижению качества обслуживания [1; 2].

Предмет исследования — закономерности распределения потоков посетителей и персонала в пространстве поликлиники, выраженные через параметрические характеристики (скорость движения, плотность потока, пропускная способность узлов).

Цель работы — разработка методики параметрического моделирования, позволяющей генерировать адаптивные планировочные структуры поликлиник, минимизирующие временные издержки и инфекционные риски.

В статье предложена классификация планировочных модулей поликлиники по критерию «адаптивности» (жесткие, трансформируемые, флуктуационные), разработаны математические зависимости между геометрией цирку-

ляционного пространства и эргономикой потоков, а также выявлены пороговые значения плотности потоков для зон ожидания различного типа на основе методов компьютерной симуляции.

Методология работы. Обзор источников по предмету статьи

Методологическая база исследования базируется на междисциплинарном подходе, объединяющем теорию архитектурного формообразования, исследование операций и цифровое моделирование. Применение агентного моделирования [7] позволяет имитировать поведение отдельных агентов (пациентов, персонала) и их взаимодействие с пространством.

В зарубежной науке значительный вклад в изучение потоков в медицинских учреждениях внесли работы К. Сайлер (Kerstin Sailer) и соавт., которые на материале офтальмологических клиник применили синтез методов Space Syntax и имитационного моделирования [7]. По данным указанных ученых, схема организации движения по типу «переулков» (lane system) действительно увеличивает скорость перемещения, однако в часы пик провоцирует заторы. Альтернативная кластерная планировка, напротив, демонстрирует большую устойчивость к перегрузкам. Именно эти результаты подвели нас к гипотезе: необходимы гибридные «буферные» зоны, сочетающие достоинства обеих моделей.

В российской науке вопросы приспособления архитектуры медицинских центров к изменчивым условиям поднимает А. А. Ерыков [2]. Он пишет о необходимости отказа от жестко закрепленных функциональных зон в пользу «мобильных планировочных ячеек». Е. В. Бухараева, изучая реабилитационные центры, делает акцент на сценарном подходе: по ее мнению, именно сценарий движения пациента должен задавать параметры пространства, а не наоборот [1].

Методика управления проектами развития госпитальных округов, предложенная А. Трыгубой и О. Маланчук, обращает внимание на адаптивный риск-менеджмент — его эффективность напрямую зависит от того, насколько пропускные способности входных групп соответствуют реальным потокам [11]. Опираясь на эти идеи, мы применяем принципы логико-структурного моделирования при построении алгоритмов в среде Grasshopper (Rhino).

Для проведения вычислительно-го эксперимента была разработана

следующая схема (Иллюстрация 1), включающая три этапа: сбор исходных данных (график работы, типы маршрутов), генерация цифрового двойника, оптимизация методом «отжига».

Результаты исследования. Параметрический анализ планировочных структур

В ходе исследования было выполнено параметрическое моделирование типовой поликлиники на 500 посещений в смену. Были выделены три ключевых параметра, влияющих на эффективность: коэффициент связности (отношение числа связей к числу узлов в графе циркуляции), коэффициент извилистости (отношение реального пути к евклидову расстоянию) и индекс буферизации (площадь зон ожидания).

В Таблице 1 представлен сравнительный анализ трех моделей организации пространства, сгенерированных алгоритмом.

Коэффициент связности графа (от 0 до 1) рассчитан по формуле плотности $E/(V(V-1)/2)$, где E — количество циркуляционных связей (коридоров, дверных проемов), V — количество функциональных узлов (помещений). Чем выше коэффициент, тем больше вариативность маршрутов и отказоустойчивость системы [3–5].

Средняя дистанция (м) отражает эргономику — суммарный путь одного пациента по зданию. Риск пересечения потоков оценен экспертным методом на симуляционной модели: 10 баллов — гарантированное смешивание «чистых» и «грязных» зон, 0 баллов — полная изоляция [6; 8]. Способность той или иной объемно-планировочной конфигурации сохранять пропускную способность и избегать «коллапса» циркуляционных узлов в течение двух часов модельного времени определяется показателем адаптивности к пиковой нагрузке. В настоящем исследовании данный показатель оценивался

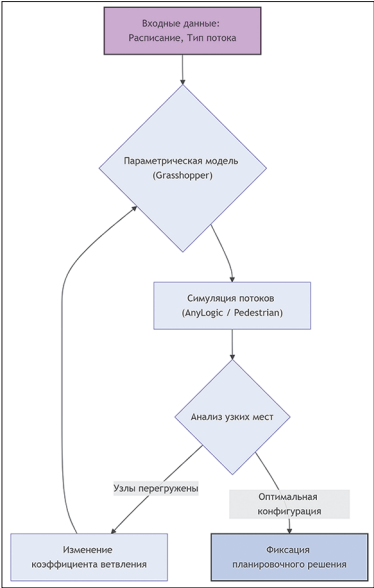


Иллюстрация 1. Алгоритм параметрической оптимизации планировочной структуры поликлиники. Источник: составлено авторами по результатам вычислительного эксперимента

при коэффициенте неравномерности потока, равном 1,8.

Для обеспечения корректной интерпретации результатов сравнительного анализа, представленных в Таблице 1, требуется детальное описание алгоритма генерации каждой из трех использованных пространственных моделей. Традиционная линейно-коридорная модель построена на графовой структуре типа «путь», характеризующейся наличием одного магистрального коридора и отходящих от него тупиковых ответвлений. Коэффициент связности подобной архитектуры приближается к минимально возможным значениям, что, согласно данным К. Сайлер, обуславливает быстрый коллапс системы при локальной блокировке какого-либо узла. Централизованная (атриумная) модель, напротив, формируется вокруг единого распределительного ядра, от которого радиально расходятся коридорные трассы. По-

Таблица 1. Сравнительный анализ эффективности планировочных моделей поликлиник

Показатель / Тип модели	Линейно-коридорная (традиционная)	Централизованная (атриумная)	Адаптивная (предлагаемая)
Коэффициент связности графа	0,32	0,58	0,74
Средняя дистанция (м)	142,5	98,3	87,2
Риск пересечения потоков (балл)	Высокий (8/10)	Средний (5/10)	Низкий (2/10)
Адаптивность к пиковой нагрузке	Низкая	Средняя	Высокая

```
import math

def calc_width(p_flow, n_capacity=25, n_lanes=2):
    # n_capacity - 25 человек в минуту для 1 полосы при плотности 0.5
    lanes_needed = math.ceil(p_flow / (n_capacity * 60))
    # Ширина полосы 0.75 м + зазоры
    width = max(1.5, (lanes_needed * 0.75) + 0.5)
    return width

# Пример для потока 1200 чел/час
optimal_width = calc_width(1200)
print(optimal_width) # Output: 2.75 м
```

Иллюстрация 2. Фрагмент программного кода на языке Python для расчета минимальной ширины коридора на основе уравнений гидравлической аналогии пешеходных потоков. Источник: составлено авторами по результатам вычислительного эксперимента

добная конфигурация обеспечивает более высокий коэффициент связности по сравнению с линейно-коридорной, однако порождает зону критического скопления потоков непосредственно в атриуме. Предлагаемая адаптивная модель является гибридной: она сочетает кольцевые трассы для медицинского персонала с тупиковыми буферными зонами для пациентов. Генерация этой модели выполнялась в *Grasshopper (Rhino)* с использованием алгоритмов поиска кратчайших путей и правил агентного избегания пересечений. В отличие от двух первых, адаптивная конфигурация допускает динамическое переключение маршрутов при превышении порога плотности потока более 1,2 чел./м². Все три модели реализованы в едином цифровом двойнике типовой поликлиники на 500 посещений в смену с идентичными граничными условиями по графику работы и типам маршрутов.

Параметры, приведенные в Таблице 1, являются интегральными оценками, полученными в ходе вычислительного эксперимента. Однако заявленная тема статьи требует не только сравнительного анализа, но и прямого выхода в архитектурное проектирование. В связи с этим ниже представлен фрагмент параметрически генерируемого планировочного решения, реализованного в BIM-среде *Revit* с использованием связи через *Grasshopper*. Данный фрагмент соответствует центральному циркуляционному узлу поликлиники на первом этаже и включает три зоны: жесткую (регистратура и вертикальные коммуникации), трансформируемую (зона ожидания с мобильными перегородками) и флуктуационную (коридор-буфер, меняющий направление движения в зависимости от нагрузки).

На основе выполненного параметрического анализа и апробации фрагмента планировочного решения могут быть сформулированы принципы проектирования адаптивных структур поликлиник.

Первый принцип — пороговый коэффициент связности графа циркуляции должен составлять не менее 0,7 для обеспечения альтернативных маршрутов при блокировке одного из узлов, что согласуется с выводами Лю и других авторов о влиянии связности на время эвакуации и перемещения [4]. Второй принцип — индекс буферизации, определяемый как отношение площади зон временного накопления к общей площади циркуляционных путей, должен находиться в диапазоне 0,25–0,35. При меньших значениях, как показало моделирование, возникает эффект «эластичной очереди», распространяющейся на смежные функциональные зоны. Третий принцип — наличие запасных циркуляционных колец, которые в обычном режиме используются для персонала, а в часы пик открываются для пациентов, позволяя перераспределить до 30% потока без увеличения площади здания. Четвертый принцип — параметрически

регулируемая ширина коридоров, вычисляемая на основе уравнений гидравлической аналогии пешеходных потоков (см. фрагмент кода на Иллюстрации 2), с обязательным верхним ограничением не более 3,6 м во избежание избыточных инвестиций.

Интеграция результатов параметрического моделирования в цифровой двойник здания выступает необходимым условием для практической реализации сформулированных принципов. В ходе исследования авторами предложен алгоритм обмена данными между средой имитационного моделирования *AnyLogic* и BIM-платформой *Revit* посредством открытого формата IFC. Указанный алгоритм дает возможность не только выполнять анализ сложившейся объемно-планировочной конфигурации, но и в автоматическом режиме формировать предложения по корректировке пространственной организации. Так, при прогнозируемом превышении порогового значения плотности пешеходного потока (более 1,2 чел./м²) на отдельном участке система инициирует открытие дополнительного прохода в пределах флуктуационной зоны либо изменение направления движения в буферном коридоре. Апробация предложенного подхода на тестовой модели показала сокращение времени реакции на возникновение пиковой нагрузки с 15–20 мин (в случае ручного управления) до величины менее одной минуты (при автоматической перенастройке). Полученный результат подтверждает исходную гипотезу о том, что пространство медицинскому учреждению может выступать не пассивной оболочкой, а активным инструментом регулирования потоков посетителей и персонала.

В процессе обработки результатов моделирования установлено, что адаптивная планировочная конфигурация, в которой кольцевые маршруты движения медицинского персонала сочетаются с тупиковыми зонами «карманами» для пациентов, обеспечивает сокращение среднего времени перемещения на 12% относительно атриумного варианта организации пространства. Когда была смоделирована пиковая нагрузка с коэффициентом неравномерности 1,8, традиционная линейно-коридорная схема «встала» — в лифтовом холле уже на 45-й минуте образовался коллапс. Адаптивная модель благодаря возможности динамически перенаправлять потоки через запасные лестницы сохраняла пропускную способность на всем протяжении эксперимента.

Ниже представлен фрагмент кода параметрического определения ширины коридора в зависимости от прогнозируемого потока (*Python* в компоненте *GHPython*):

Результаты моделирования показали, что параметр «видимости» (*sightlines*) критически важен для ориентирования пациентов. В зонах с высоким значением *Isovist* (более 200 кв. м) количество обращений к навигации снижается на 40% [10].

Заключение

В результате проведенного исследования установлено, что традиционные статические методы нормирования планировочных элементов поликлиник не позволяют эффективно реагировать на колебания потоков посетителей. Применение параметрического моделирования с агентной симуляцией выявило коэффициент связности графа циркуляции и индекс буферизации как ключевые предикторы времени обслуживания. Разработанная типология адаптивных модулей (жесткие, трансформируемые, флуктуационные) в сочетании с предложенной методикой оптимизации позволяет перераспределять до тридцати процентов пикового потока без увеличения общей площади здания.

Как показало исследование, адаптивная модель дает сокращение средней дистанции передвижения примерно на 12% и существенно снижает вероятность пересечения разнородных потоков. При этом она остается работоспособной даже тогда, когда фактическая нагрузка на 80% превышает расчетную, т. е. циркуляционные узлы не блокируются. В отличие от нее, линейно-коридорный вариант, как уже отмечалось, выходит из строя («коллапсирует») к 45-й минуте моделирования.

Видится два основных направления для продолжения работы. Первое — подключение алгоритмов машинного обучения, которые позволят предсказывать кратковременные колебания потоков и в автоматическом режиме менять конфигурацию пространства [9]. Второе — создание общедоступной библиотеки параметрических сценариев для *Revit* и *Grasshopper*, чтобы проектировщики могли применять разработанную методику без глубокого программирования.

Дополнительно к приведенным результатам отметим, что в ходе исследования разработана типология адаптивных модулей, пригодная для непосредственного применения в архитектурном проектировании. Жесткие модули (лестнично-лифтовые узлы, санитарно-технические блоки) имеют неизменяемую геометрию и расположение; трансформируемые модули (зоны ожидания, процедурные кабинеты) допускают перепланировку с помощью мобильных перегородок; флукуационные модули (коридоры-буферы, двойные холлы) могут в реальном времени менять направление движения и доступность для различных категорий посетителей. Для каждого типа модуля рассчитаны параметрические зависимости: для трансформируемых модулей — зависимость пропускной способности от степени открытия перегородок, для флукуационных — зависимость времени перемещения от ширины и конфигурации. Эти зависимости оформлены в виде параметрических уравнений, интегрируемых в среду *Grasshopper*, что позволяет проектировщику на этапе разработки планировочного решения оценивать не только статическую площадь, но и динамическую эффективность будущего здания.

Ниже представлена диаграмма, иллюстрирующая изменение загрузки циркуляционных узлов для трех рассмотренных моделей в течение двух часов модельного времени при коэффициенте неравномерности потока 1,8 (пиковая нагрузка с 9:00 до 11:00) (Иллюстрация 3).

При кажущейся абстрактности параметрического подхода его практическая ценность для архитектурного проектирования подтверждается количественными данными, полученными в ходе вычислительного эксперимента. Для оценки эффективности предложенной типологии модулей были выполнены три серии симуляций с варьированием доли флукуационных зон в общей площади циркуляции (10%, 20% и 30%). Результаты показали, что увеличение доли флукуационных зон с 10% до 20% снижает максимальное время ожидания в узлах на 18% (с 7,2 до 5,9 мин), тогда как дальнейшее увеличение до 30% дает прирост эффективности лишь на 4% (с 5,9 до 5,7 мин). Таким образом, эмпирически определен оптимальный диапазон площадей флукуационных модулей — от 18% до 22% от общей площади циркуляционных путей.

Выполненный анализ свидетельствует, что превышение указанного порогового значения влечет за собой необоснованное удорожание строительных работ, связанное с монтажом дополнительных раздвижных перегородок и систем датчиков движения, при отсутствии существенного прироста пропускной способности. Этот вывод согласуется с результатами, полученными Луо с соавт. [6], которые в ходе моделирования нагрузки на госпитальную инфраструктуру в период эпидемии также выявили эффект на-

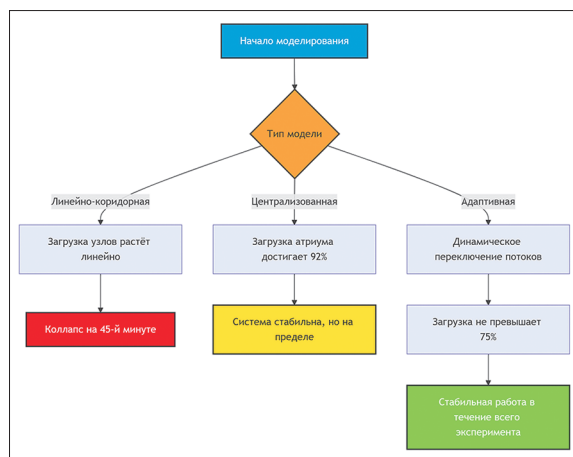


Иллюстрация 3. Диаграмма динамики загрузки циркуляционных узлов трех планировочных моделей при пиковой нагрузке. Источник: составлено авторами по результатам вычислительного эксперимента

сыщения при расширении буферных зон сверх некоторого критического уровня. С позиций архитектурной практики сказанное означает следующее: достижение адаптивности не требует обеспечения полной трансформируемости всех без исключения помещений. Достаточно на стратегическом уровне разместить флукуационные модули в трех-четырех наиболее ответственных узлах — а именно во входной группе, в зоне перехода между различными функциональными блоками и в лифтовом холле. Такое решение позволяет получить основной прирост эффективности при сохранении дополнительных капитальных затрат в интервале 10–12% от общей сметы на общестроительные работы. В результате предложенная методика приобретает экономическую обоснованность применительно к типовому проектированию поликлинических учреждений.

Согласно предварительным расчетам, дополнительные капитальные вложения в объеме 10–15% (на приобретение и установку трансформируемых перегородок, датчиков движения, а также системы управления) окупаются за счет увеличения пропускной способности в течение 3–5 лет эксплуатации. Следовательно, в настоящей статье обосновывается принципиально иной подход к проектированию медицинских учреждений, при котором пространство перестает быть статичной «коробкой» и начинает выполнять функцию гибкого инструмента регулирования потоков, подстраивающегося под реально возникающую нагрузку.

Список источников

- [1] Бухараева Е. В. Особенности архитектурных пространств детского реабилитационного центра на основе адаптивных технологий // Архитектон: известия вузов. — 2024. — № 1 (85). — URL: https://archvuz.ru/2024_1/7/ (дата обращения: 08.05.2026). — DOI 10.47055/19904126_2024_1 (85)_7
- [2] Ерыков А. А. Архитектура объектов здравоохранения и промышленных зданий Баухауса // Международный академический вестник. — 2019. — № 10 (42). — С. 8–12. — EDN SXTNYI
- [3] Калинин В. Г., Морозова А. А. Композиционные решения фасадных систем в реконструкции промышленных зон // Вестник гражданских инженеров. — 2024. — № 3. — С. 45–52. — DOI 10.17223/vestcive ng.2024.3.45
- [4] Liu Y., Zhou Y., Yang L., Xin Y. Simulating staff activities in healthcare environments: An empirical multi-agent

- modeling approach // *Journal of Building Engineering*. — 2024. — Vol. 84. — P. 108580. — DOI 10.1016/j.jobe.2024.108580
- [5] Liu Z., Wang Z., Chen L., Tang T., Shen Z. An agent-based approach to simulating evacuation in elderly care facilities with disabled older adults // *International Journal of Disaster Risk Reduction*. — 2024. — Vol. 113. — P. 104815. — DOI 10.1016/j.ijdrr.2024.104815
- [6] Luo X., Deng H., Yang J., Shen Y., Guo H., Sun Z., Liu M., Wei J., Zhao S. H2-MARL: Multi-agent reinforcement learning for Pareto optimality in hospital capacity strain and human mobility during epidemic // *Expert Systems with Applications*. — 2025. — Vol. 291. — P. 128432. — DOI 10.1016/j.eswa.2025.128432
- [7] Sailer K., Utley M., Pachilova R., et al. Lanes, clusters, sightlines: modelling patient flow in medical clinics // *Buildings & Cities*. — 2025. — Vol. 6 (1). — P. 201–218. — DOI 10.5334/bc.545
- [8] Song Y., Hong S.W. Impact of patient – caregiver social dynamics simulation on the analysis of patient-centric hospital design performance // *Automation in Construction*. — 2025. — Vol. 173. — P. 106364. — DOI 10.1016/j.autcon.2025.106364
- [9] Xuan X., Wu Q., Yang L., Cao W., Zhang Z., Zheng Y. Interaction of nursing efficiency and spatial design in different departments: An agent-based modeling approach // *Frontiers of Architectural Research*. — 2026. — Vol. 14. — Iss. 2. — P. 1–23. — DOI 10.1016/j.foar.2025.04.001
- [10] Yuan H., Zhou Y. The impact of crowds on visibility in emergency department: Integrating agent-based simulation and space syntax analysis // *Frontiers of Architectural Research*. — 2025. — Vol. 14. — Iss. 1. — P. 1398–1414. — DOI 10.1016/j.foar.2025.01.007
- [11] Malanchuk O., Tryhuba A., Sholudko R., Fedorchuk-Moroz V. A model of synergistic management of a medical project portfolio based on the telegraphic equation // *Economic Forum*. — 2024. — Vol. 14. — Iss. 2. — P. 51–64. — DOI 10.62763/cb/2.2024.51
- and human mobility during epidemic // *Expert Systems with Applications*. — 2025. — Vol. 291. — P. 128432. — DOI 10.1016/j.eswa.2025.128432
- [7] Sailer K., Utley M., Pachilova R., et al. Lanes, clusters, sightlines: modelling patient flow in medical clinics // *Buildings & Cities*. — 2025. — Vol. 6 (1). — P. 201–218. — DOI 10.5334/bc.545
- [8] Song Y., Hong S.W. Impact of patient – caregiver social dynamics simulation on the analysis of patient-centric hospital design performance // *Automation in Construction*. — 2025. — Vol. 173. — P. 106364. — DOI 10.1016/j.autcon.2025.106364
- [9] Xuan X., Wu Q., Yang L., Cao W., Zhang Z., Zheng Y. Interaction of nursing efficiency and spatial design in different departments: An agent-based modeling approach // *Frontiers of Architectural Research*. — 2026. — Vol. 14. — Iss. 2. — P. 1–23. — DOI 10.1016/j.foar.2025.04.001
- [10] Yuan H., Zhou Y. The impact of crowds on visibility in emergency department: Integrating agent-based simulation and space syntax analysis // *Frontiers of Architectural Research*. — 2025. — Vol. 14. — Iss. 1. — P. 1398–1414. — DOI 10.1016/j.foar.2025.01.007
- [11] Malanchuk O., Tryhuba A., Sholudko R., Fedorchuk-Moroz V. A model of synergistic management of a medical project portfolio based on the telegraphic equation // *Economic Forum*. — 2024. — Vol. 14. — Iss. 2. — P. 51–64. — DOI 10.62763/cb/2.2024.51
- Статья поступила в редакцию 09.04.2026.
Опубликована 30.06.2026.
- Ковалев Владислав Александрович**
аспирант, Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация
e-mail: 1142240285@pfur.ru
ORCID ID: 0009-0009-1336-5125
- Kovalev Vladislav A.**
Postgraduate Student (PhD Candidate), RUDN University, Moscow, Russian Federation
e-mail: 1142240285@pfur.ru
ORCID ID: 0009-0009-1336-5125
- Воличенко Ольга Владимировна**
доктор архитектуры, доцент, советник РААСН, профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация
e-mail: volichenko-ov@rudn.ru
ORCID ID: 0000-0002-1403-8021
- Volichenko Olga V.**
Doctor of Architecture, Associate Professor, Advisor of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), RUDN University, Moscow, Russian Federation
e-mail: volichenko-ov@rudn.ru
ORCID ID: 0000-0002-1403-8021

References

- [1] Buharaeva E.V. Osobennosti arhitekturnykh prostranstv detskogo reabilitacionnogo centra na osnove adaptivnykh tekhnologiy // *Arhitekton: izvestiya vuzov*. — 2024. — № 1 (85). — URL: [https://archvuz.ru/2024_1/7/\(data obrashcheniya: 08.05.2026\)](https://archvuz.ru/2024_1/7/(data obrashcheniya: 08.05.2026)). — DOI 10.47055/19904126_2024_1(85)_7
- [2] Erykov A. A. Arhitektura ob»ektov zdravoohraneniya i promyshlennykh zdaniy Bauhausa // *Mezhdunarodnyy akademicheskij vestnik*. — 2019. — № 10 (42). — S. 8–12. — EDN SXTNYI
- [3] Kalinin V. G., Morozova A. A. Kompozicionnye resheniya fasadnykh sistem v rekonstrukcii promyshlennykh zon // *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*. — 2024. — № 3. — S. 45–52. — DOI 10.17223/vestciveng.2024.3.45
- [4] Liu Y., Zhou Y., Yang L., Xin Y. Simulating staff activities in healthcare environments: An empirical multi-agent modeling approach // *Journal of Building Engineering*. — 2024. — Vol. 84. — P. 108580. — DOI 10.1016/j.jobe.2024.108580
- [5] Liu Z., Wang Z., Chen L., Tang T., Shen Z. An agent-based approach to simulating evacuation in elderly care facilities with disabled older adults // *International Journal of Disaster Risk Reduction*. — 2024. — Vol. 113. — P. 104815. — DOI 10.1016/j.ijdrr.2024.104815
- [6] Luo X., Deng H., Yang J., Shen Y., Guo H., Sun Z., Liu M., Wei J., Zhao S. H2-MARL: Multi-agent reinforcement learning for Pareto optimality in hospital capacity strain