
ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ/THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE, RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.66.6>

ЭВОЛЮЦИЯ АЛГОРИТМИЗАЦИИ АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО МЫШЛЕНИЯ: ОТ КИБЕРНЕТИКИ К ИИ-УРБАНИСТИКЕ

Научная статья

Адонина А.В.^{1,*}

¹ ORCID : 0009-0002-3053-3484;

¹ Самарский государственный технический университет, Самара, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (adoninanna[at]gmail.com)

Аннотация

В статье рассматривается эволюция идей алгоритмизации в архитектурно-градостроительном мышлении — от кибернетики и первых ЭВМ до современных методов искусственного интеллекта (ИИ). Исследуются ключевые труды отечественных и зарубежных исследователей (Н. Винер, Л.Н. Авдотьев, Я.В. Косицкий, Дж. Форрестер, Ч.А. Дженкс, К. Александер, К. Доксиадис), оказавшие влияние на становление концептуальных и методологических основ цифрового проектирования. На основе сравнительного анализа выделены три этапа: кибернетический, имитационно-моделирующий и генеративно-нейросетевой. В заключении сформулированы рекомендации по интеграции исторических алгоритмов и паттернов проектирования в базы данных для обучения систем ИИ.

Ключевые слова: искусственный интеллект, алгоритмизация архитектурно-градостроительного проектирования, ИИ-урбанистика, цифровые двойники города, генеративный дизайн.

THE EVOLUTION OF ALGORITHMISATION IN ARCHITECTURAL AND URBAN PLANNING THINKING: FROM CYBERNETICS TO AI URBANISTICS

Research article

Adonina A.V.^{1,*}

¹ ORCID : 0009-0002-3053-3484;

¹ Samara State Technical University, Samara, Russian Federation

* Corresponding author (adoninanna[at]gmail.com)

Abstract

The article examines the evolution of algorithmisation ideas in architectural and urban planning thinking — from cybernetics and the first computers to modern methods of artificial intelligence (AI). The key works of domestic and foreign researchers (N. Wiener, L.N. Avdotin, Ya.V. Kositsky, J. Forrester, Ch.A. Jencks, K. Alexander, K. Doxiadis) that influenced the development of the conceptual and methodological foundations of digital design are studied. Based on a comparative analysis, three stages are identified: cybernetic, simulation-modelling, and generative-neural network. The conclusion formulates recommendations for integrating historical algorithms and design patterns into databases for training AI systems.

Keywords: artificial intelligence, algorithmisation of architectural and urban design, AI urbanism, digital city doubles, generative design.

Введение

Развитие искусственного интеллекта (ИИ) и цифровых технологий ставит перед архитектурой новые методологические задачи. Проектирование всё чаще понимается как алгоритмический процесс обработки данных и поиска оптимальных решений. В этой перспективе исторический опыт алгоритмизации приобретает ключевое значение, показывая, на каких основаниях формируется современная ИИ-урбанистика.

Архитектурная наука XX века выработала разнообразные формы формализации проектного процесса: от кибернетики Н. Винера и первых экспериментов с ЭВМ (Л.Н. Авдотьев) до градостроительных моделей Я.В. Косицкого, имитационной динамики Дж. Форрестера, семиотики Ч.А. Дженкса, паттерн-языка К. Александера и экистики К. Доксиадиса. Эти работы фактически предвосхищали принципы машинного обучения, цифрового моделирования и генеративного дизайна.

Несмотря на масштабность исследований, системный анализ эволюции алгоритмизации архитектурного мышления в контексте ИИ до сих пор отсутствует. Между тем именно он позволяет рассматривать классические труды не только как историко-теоретическое наследие, но и как прототипы будущих алгоритмических библиотек для обучения ИИ.

Цель исследования — выявить логику эволюции алгоритмизации и обосновать её значимость как методологической базы для формирования новых цифровых инструментов, включая цифровые двойники городов и системы генеративного проектирования.

Методология исследования

Исследование базируется на комплексе методов:

– Историко-генетический метод — для выявления эволюционной логики алгоритмизации архитектурного мышления.

– Сравнительно-типологический анализ — для классификации подходов по критериям:

- а) степень формализации проектных решений;
- б) уровень автоматизации процессов;
- в) характер человеко-машинного взаимодействия.

– Системный анализ — для установления структурных связей между историческими концепциями и современными ИИ-технологиями.

Критерии отбора источников:

- а) концептуальная значимость для развития алгоритмизации;
- б) практическое влияние на методологию проектирования;
- в) потенциал для цифровой формализации.

Этапы алгоритмизации архитектурно-градостроительного мышления

Практическое осмысление ИИ началось с кибернетики — науки об управлении сложными системами. В книге «Кибернетика» (1948) Н. Винер [1] ввёл понятие в научный оборот и заложил основы анализа процессов информации и управления. Развитие ЭВМ как кибернетических систем открыло новые возможности моделирования и проектирования.

С 1960-х годов вычислительная техника начала применяться в градостроительстве. «Рекомендации по использованию ЭВМ» (1965) стали отправной точкой, а труды Л.Н. Авдотьина — теоретическим фундаментом алгоритмизации проектирования. Его пособие «Применение вычислительной техники и моделирования в архитектурном проектировании» (1978) [2] впервые показало ЭВМ как инструмент визуализации и анализа вариантов ансамблей «старое–новое». Он применял ЭВМ для задач планировки, зонирования, размещения зон и инфраструктуры. На методологическом уровне обсуждались прогнозирование процессов и выбор оптимальных схем размещения объектов. Продолжением стала работа «Технические средства в архитектурном проектировании» (1986) [3], где Авдоткин изложил основы человеко-машинного проектирования и перспективы САПР.

Фундаментальный вклад внёс Я.В. Косицкий в книге «Архитектурно-планировочное развитие городов» (2005) [4]. На основе сотен примеров мировых городов он выделил три модели градостроительной динамики: концентрическую (рост вокруг ядра), эксцентрическую (смещённые центры и периферийное расширение) и аквацентрическую (развитие вдоль водных акваторий). Его более ранние исследования (1960–1980-е), включая труд «Архитектурно-планировочные принципы проектирования городов» (1974), завершились системной моделью урбанизации, эпюрой глобальных агломераций и хронограммами развития российских городов [5].

В зарубежной традиции ключевым этапом стала работа Дж. Форрестера «Динамика развития города» (1969) [6]. Модель на языке DINAMO рассматривала город как нелинейную систему, где взаимодействие населения, ресурсов и инфраструктуры формирует волнообразные циклы развития. Форрестер выделил три фазы урбанизации (рост, насыщение, адаптацию) и предложил двухсотлетний цикл развития. Этот подход можно считать предвестником концепции цифрового двойника города: параметрическая модель предвосхитила современные методы анализа больших данных и прогнозирования развития среды.

Однако модель Форрестера имела существенные ограничения: линейная экстраполяция трендов не учитывала системные эффекты городских систем и «чёрные лебеди» — непредсказуемые события, радикально меняющие траектории развития. Современные нейросетевые модели частично преодолевают эти ограничения через анализ нелинейных паттернов, но проблема прогнозирования разрывных изменений остаётся нерешённой.

Семиотический и алгоритмический сдвиг в 1970-е годы обозначили Ч.А. Дженкс и К. Александер. В книге «Язык архитектуры постмодернизма» (1977) [7] Дженкс представил архитектуру как язык со своими средствами коммуникации, а его «эволюционное древо» визуализировало архитектурные стили как взаимосвязанные ветви одной системы. В том же году К. Александер выпустил «Язык шаблонов» [8], где каждая проектная задача описывалась алгоритмическим паттерном. Этот подход оказал сильное влияние не только на архитектуру, но и на разработку ПО, став основой объектно-ориентированного программирования и позднее — генеративного дизайна.

Значимой концепцией стала теория экистики К. Доксиадиса [9], рассматривавшая поселение как системную единицу — от дома и квартала до региона и агломерации. Экистика предлагала принципы соразмерной и рациональной организации территориальных структур, которые предвосхитили современные представления о масштабируемости и адаптивности городов.

Во второй половине XX века в мировой архитектурной науке сложилась целостная система подходов к алгоритмизации: от кибернетики и ранних ЭВМ до паттерн-языков, имитационных моделей и системных урбанистических схем. Эти разработки предвосхитили нынешние методы ИИ-урбанистики и стали интеллектуальным фундаментом цифровых двойников, генеративного дизайна и анализа больших данных.

Таким образом, анализ эволюции алгоритмизации позволяет выделить три ключевых этапа, каждый из которых внёс специфический вклад в формирование современной ИИ-урбанистики (см. табл. 1).

Таблица 1 - Три этапа развития идей алгоритмизации

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.66.6.1>

Этап	Период	Ключевые концепции	Технологии	Влияние на ИИ-урбанистику
Кибернетический	1950–1970	Обратная связь,	ЭВМ первых	Логика адаптивных

Этап	Период	Ключевые концепции	Технологии	Влияние на ИИ-урбанистику
		управление системами (Н. Винер), первые САПР (Л.Н. Авдоткин)	поколений, FORTRAN	систем
Имитационно-моделирующий	1970–2000	Динамические модели (Дж. Форрестер), паттерн-язык (К. Александер), семиотика (Ч. Дженкс)	DINAMO, объектно-ориентированное программирование	Прототип цифровых двойников
Генеративно-нейросетевой	2000–н.в.	Машинное обучение, цифровые двойники, генеративный дизайн	Нейросети, GAN, параметрическое моделирование	Генеративный дизайн, ИИ-анализ

Современные ИИ-подходы в архитектуре и градостроительстве

Машинное обучение и нейросети радикально изменили архитектурное проектирование. Если в 1960-е годы алгоритмизация оставалась экспериментальной практикой, то сегодня она стала ключевым инструментом формирования городской среды.

Одним из ведущих направлений является моделирование цифровых двойников — динамических виртуальных копий городов, объединяющих данные о планировке, транспорте, демографии и экологии [10]. Эта практика продолжает идеи Дж. Форрестера на новом уровне: современные модели работают с потоками больших данных и позволяют в реальном времени прогнозировать последствия проектных решений и сценарии трансформации города.

Примером успешной реализации является платформа Virtual Singapore — полномасштабный цифровой двойник города-государства, охватывающий более 160 000 зданий с детализацией до отдельных архитектурных элементов. Платформа интегрирует семантическую 3D-модель с динамическими данными о транспортных потоках, климате и инфраструктуре для моделирования сценариев развития города и оптимизации маршрутов эвакуации при чрезвычайных ситуациях [11].

Не менее значимо развитие генеративного дизайна. Его методология восходит к паттерн-языку К. Александера, но современные алгоритмы машинного обучения позволяют не просто комбинировать готовые шаблоны, а самостоятельно генерировать новые решения, учитывающие параметры функциональности, пропорций, энергоэффективности и устойчивости. Генеративные системы ускоряют проектирование и создают формы, выходящие за рамки традиционного мышления [12].

Технология генеративного дизайна Autodesk (ранее проект Dreamcatcher) демонстрирует алгоритмический подход к проектированию: система генерирует множество вариантов конструкций на основе заданных ограничений. При проектировании офиса Autodesk (Торонто, 2018) алгоритмы сгенерировали более 10 000 вариантов внутренней планировки пространства. В качестве критериев оптимизации были заданы не только параметры освещенности и видов из окон, но и сложные социальные факторы: необходимость близкого расположения взаимодействующих команд и предпочтения по стилю работы сотрудников [13].

Нейронные сети применяются для анализа архитектурного наследия: выявления стиливых закономерностей, морфологических трансформаций и семиотических кодов. Этот подход можно рассматривать как цифровое продолжение идей Ч. Дженкса: его «эволюционное древо» получило алгоритмическое воплощение в системах, которые обучаются на исторических данных и используют их для генерации новых решений.

Современные архитектуры интеллектуальных систем демонстрируют синергию кибернетических принципов и символического ИИ [14], а методы нейросетевой обработки параметров [15] демонстрируют потенциал для анализа сложных сетевых структур, включая урбанистические системы.

Современные исследования направлены и на разработку «умных» городов, в которых алгоритмы управляют не только пространством, но и энергией, ресурсами и коммуникациями [16]. Эти подходы развивают идеи экологической компенсации Косицкого и системности Доксиадиса, превращая их в инструменты цифрового управления сложными урбанизированными структурами.

Историческая линия алгоритмизации получает новое развитие в условиях ИИ. Алгоритм перестаёт быть лишь вспомогательным средством и становится полноправным партнёром в проектировании, формируя новую дисциплину — ИИ-урбанистику.

Заключение

Эволюция архитектурно-градостроительного мышления показывает устойчивую логику алгоритмизации — от кибернетики и первых ЭВМ до современных инструментов ИИ. Архитектура и градостроительство на протяжении всего XX века рассматривались как процессы, поддающиеся формализации, моделированию и прогнозированию.

Научная новизна исследования заключается в сопоставлении классических концепций алгоритмизации с современными методами ИИ-урбанистики. Работы Н. Винера, Л.Н. Авдотьиной, Я.В. Косицкого, Дж. Форрестера, Ч. Дженкса, К. Александера и К. Доксиадиса показаны как интеллектуальные «алгоритмические прототипы», которые могут быть перекодированы и использованы для обучения ИИ.

К конкретным алгоритмическим структурам, готовым к формализации для ИИ-систем, относятся:

1) морфотипы Я.В. Косицкого — математические модели пространственного роста городов (концентрические, радиальные, линейные), формализуемые через графовые структуры;

2) паттерны К. Александера — каждый описывается как функция с входными параметрами (контекст, проблема) и выходными (решение), что позволяет создать обучающую базу данных для генеративных моделей;

3) семиотические коды Ч. Дженкса — трансформируемые в векторные представления архитектурных стилей для обучения классификаторов.

Практическая значимость исследования состоит в возможности применить выявленные алгоритмы и модельные конструкции в современных цифровых инструментах: при создании цифровых двойников городов, прогнозировании сценариев их развития и генеративном проектировании архитектурных решений. Подобный подход усиливает актуальность классических моделей в условиях роста урбанистических вызовов.

Вместе с тем выявленные концепции демонстрируют не только методологическую преемственность, но и ограниченность ряда классических моделей, что задаёт направление дальнейшего поиска адаптивных, контекстно-чувствительных форм алгоритмизации.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой библиотек архитектурных и градостроительных паттернов, объединяющих исторические и современные модели. Такие базы знаний могут стать фундаментом для обучения ИИ-систем и инструментом проектирования устойчивых и адаптивных городов XXI века.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Эминов Б.Ф., Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.66.6.2>

Review

Eminov B.F., Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.66.6.2>

Список литературы / References

1. Журавлев Ю.И. Кибернетика / Ю.И. Журавлев, И.Б. Гуревич // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал. — 2022. — URL: <https://bigenc.ru/c/kibernetika-979287?v=5823367> (дата обращения: 21.09.25)
2. Авдоткин Л.Н. Применение вычислительной техники и моделирования в архитектурном проектировании / Л.Н. Авдоткин. — Москва : Стройиздат, 1978. — 255 с.
3. Авдоткин Л.Н. Технические средства в архитектурном проектировании / Л.Н. Авдоткин. — Москва : Высшая школа, 1986. — 223 с.
4. Косицкий Я.В. Архитектурно-планировочное развитие городов / Я.В. Косицкий. — Москва : Архитектура-С, 2005. — 648 с.
5. Колясников В.А. Градостроительная интерпретация Национальной стратегии развития искусственного интеллекта / В.А. Колясников // Архитектура, градостроительство и дизайн. — 2021. — № 4 (30). — С. 38–47.
6. Форрестер Дж. Динамика развития города / Дж. Форрестер. — Москва : Прогресс, 1974. — 285 с.
7. Дженкс Ч.А. Язык архитектуры постмодернизм / Ч.А. Дженкс. — Москва : Стройиздат, 1985. — 137 с.
8. Александер К. Язык шаблонов: города, здания, строительство / К. Александер. — Москва : Издательство Студии Артемия Лебедева, 2014. — 1093 с.
9. Глазычев В.Л. Социально-экологическая интерпретация городской среды / В.Л. Глазычев. — Москва : Наука, 1984. — 180 с.
10. Batty M. Digital twins for smart cities Environment and Planning B: / M. Batty // Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science. — 2018. — Vol. 45. — № 5. — P. 817–820.
11. National Research Foundation Singapore. Virtual Singapore // Government Technology Agency. — URL: <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore> (accessed: 03.11.2025).
12. Рашевский Н.М. Генеративный дизайн и онтологический инжиниринг в градостроительстве / Н.М. Рашевский, К.Р. Назаров, В.А. Джагаев [и др.] // Строительство: наука и образование. — 2025. — Т. 15. — № 2. — 158–178.
13. Autodesk's New Toronto Office Displays Algorithm-Driven Generative Design // BrainStation. — 2017. — URL: <https://brainstation.io/magazine/autodesks-new-toronto-office-displays-algorithm-driven-generative-design/> (accessed: 03.11.2025).
14. Рыбина Г.В. Архитектуры современных интеллектуальных систем: синергия кибернетики и символического искусственного интеллекта, инструментальные средства и технологии для разработки интеллектуальных систем / Г.В.

Рыбина // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. — 2024. — Т. 26. — № 4. — С. 69–82. — DOI: 10.18127/j19998554-202404-07.

15. Гибадуллин Р.Ф. Анализ параметров промышленных сетей с применением нейросетевой обработки / Р.Ф. Гибадуллин, Д.В. Лекомцев, М.Ю. Перухин // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2020. — № 1. — С. 80–87. — DOI: 10.14357/20718594200108.

16. Иджитканлар Т. Устойчивость искусственного интеллекта: взгляд урбаниста сквозь призму концепции умного и устойчивого города / Т. Иджитканлар, Ф. Кугурульо // Городские исследования и практики. — 2022. — Т. 7. — № 1. — С. 35–64. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivost-iskusstvennogo-intellekta-vzglyad-urbanista-skvoz-prizmu-kontseptsii-umnogo-i-ustoychivogo-goroda> (дата обращения: 21.09.2025).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zhuravlev Yu.I. Kibernetika [Cybernetics] / Yu.I. Zhuravlev, I.B. Gurevich // Bol'shaya Rossijskaya enciklopediya: nauchno-obrazovatel'nyj portal [Great Russian Encyclopedia: Scientific and Educational Portal]. — 2022. — URL: <https://bigenc.ru/c/kibernetika-979287?v=5823367> (accessed: 21.09.25) [in Russian]

2. Avdotyin L.N. Primenenie vychislitel'noi tekhniki i modelirovaniya v arkhitekturnom proektirovanii [Application of Computer Technology and Modeling in Architectural Design] / L.N. Avdotyin. — Moscow : Stroiizdat, 1978. — 255 p. [in Russian]

3. Avdotyin L.N. Tekhnicheskie sredstva v arkhitekturnom proektirovanii [Technical Means in Architectural Design: A Textbook for Universities] / L.N. Avdotyin. — Moscow : Visshaya shkola, 1986. — 223 p. [in Russian]

4. Kositsky Ya.V. Arkhitekturno-planirovochnoe razvitiye gorodov [Architectural and Planning Development of Cities] / Ya.V. Kositsky. — Moscow : Arkhitektura-S, 2005. — 648 p. [in Russian]

5. Kolyasnikov V.A. Gradostroitel'naya interpretatsiya Natsionalnoi strategii razvitiya iskusstvennogo intellekta [Urban Interpretation of the National Artificial Intelligence Development Strategy] / V.A. Kolyasnikov // Arkhitektura, gradostroitel'stvo i dizain [Architecture, Urban Planning and Design]. — 2021. — № 4 (30). — P. 38–47. [in Russian]

6. Forrester J. Dinamika razvitiya goroda [Urban Dynamics] / J. Forrester. — Moscow : Progress, 1974. — 285 p. [in Russian]

7. Jencks Ch.A. Yazik arkhitekturi postmodernizm [The Language of Post-Modern Architecture] / Ch.A. Jencks. — Moscow : Stroiizdat, 1985. — 137 p. [in Russian]

8. Alexander C. Yazik shablonov: goroda, zdaniya, stroitel'stvo [A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction] / C. Alexander. — Moscow : Artemy Lebedev Studio Publishing House, 2014. — 1093 p. [in Russian]

9. Glazychev V.L. Sotsialno-ekologicheskaya interpretatsiya gorodskoi sredi [Socio-Ecological Interpretation of the Urban Environment] / V.L. Glazychev. — Moscow : Nauka, 1984. — 180 p. [in Russian]

10. Batty M. Digital twins for smart cities Environment and Planning B: / M. Batty // Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science. — 2018. — Vol. 45. — № 5. — P. 817–820.

11. National Research Foundation Singapore. Virtual Singapore // Government Technology Agency. — URL: <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore> (accessed: 03.11.2025).

12. Rashevsky N.M. Generativnii dizain i ontologicheskii inzhiniring v gradostroitel'stve [Generative Design and Ontological Engineering in Urban Planning] / N.M. Rashevsky, K.R. Nazarov, V.A. Dzhagaev et al. // Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie [Construction: Science and Education]. — 2025. — Vol. 15. — № 2. — 158–178. [in Russian]

13. Autodesk's New Toronto Office Displays Algorithm-Driven Generative Design // BrainStation. — 2017. — URL: <https://brainstation.io/magazine/autodesks-new-toronto-office-displays-algorithm-driven-generative-design/> (accessed: 03.11.2025).

14. Rybina G.V. Arkhitektury sovremennykh intellektual'nykh sistem: sinergiya kibernetiki i simvol'nogo iskusstvennogo intellekta, instrumental'nye sredstva i tehnologii dlja razrabotki intellektual'nykh sistem [Architectures of Modern Intelligent Systems: Synergy of Cybernetics and Symbolic Artificial Intelligence, Tools and Technologies for the Development of Intelligent Systems] / G.V. Rybina // Nejrokomp'yutery: razrabotka, primeneniye [Neurocomputers: Development, Application]. — 2024. — Vol. 26. — № 4. — P. 69–82. — DOI: 10.18127/j19998554-202404-07. [in Russian]

15. Gibadullin R.F. Analiz parametrov promyshlennykh setej s primeneniem nejrosetevoj obrabotki [A Neural Network Data Processing for Analysis of the Industrial Networks Parameters] / R.F. Gibadullin, D.V. Lekomtsev, M.Yu. Perukhin // Iskustvennyj intellekt i prinjatie reshenij [Artificial Intelligence and Decision Making]. — 2020. — № 1. — P. 80–87. — DOI: 10.14357/20718594200108. [in Russian]

16. Tan Idzhitkanlar Ustojchivost' iskusstvennogo intellekta: vzglyad urbanista skvoz' prizmu koncepcii umnogo i ustojchivogo goroda [The Sustainability of Artificial Intelligence: An Urbanistic Viewpoint from the Lens of Smart and Sustainable Cities] / I. Tan Idzhitkanlar, F. Kugurulo // Gorodskie issledovaniya i praktiki [Urban Studies and Practices]. — 2022. — Vol. 7. — № 1. — P. 35–64. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivost-iskusstvennogo-intellekta-vzglyad-urbanista-skvoz-prizmu-kontseptsii-umnogo-i-ustoychivogo-goroda> (accessed: 21.09.2025). [in Russian]