

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБУЧАЕМОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ СОЗДАНИИ АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННЫХ РЕШЕНИЙ

THE EFFECTIVENESS OF TRAINED ARTIFICIAL INTELLIGENCE AT CREATING ARCHITECTURAL AND ARTISTIC SOLUTIONS

Дано обоснование целесообразности использования обучаемого искусственного интеллекта для разработки архитектурно-художественных решений здания на основе апробации экспериментального проектирования. Определены требования к архитектурным визуализациям; представлено обоснование выбора используемой нейросети, описание процесса создания обучаемой модели, подготовки эскиза и функций генерирования изображений. В качестве гипотезы и целеполагания предложен новый подход к созданию архитектурно-художественных решений здания с использованием обучаемых моделей на основе открытой нейросети с интуитивно-понятным интерфейсом. Показано, что использование собственных обучаемых моделей для генерации архитектурных изображений позволяет создавать качественные с художественной точки зрения решения, отвечающие заданным условиям.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейросети, архитектурно-художественное решение, архитектурное проектирование, проектирование фасадов, машинное обучение.

The article presents substantiation for the effectiveness of using trained artificial intelligence to create architectural and artistic solutions of buildings based on approbation of experimental design. The requirements for architectural visualizations are defined; the rationale for the choosing of the neural network used is substantiated together with describing of the process of creating a trained model, sketch preparation and image generation functions. As for a hypothesis and goal setting, there is proposed a new approach to creating architectural and artistic solutions of buildings using trainable models based on open neural network with an intuitive interface. It is shown that use of own trained models for generation of architectural images makes it possible to create solutions qualitative from artistic point of view which meet the specified conditions.

Keywords: artificial intelligence, neural networks, architectural and artistic solution, architectural design, facade design, machine learning.

Введение

Развитие и широкое распространение искусственного интеллекта в отраслях хозяйственной деятельности человека формируют новые подходы к решению широкого круга привычных задач. Анализ современных исследований показывает, что продукты, созданные на основе искусственного интеллекта (ИИ), активно используются архитекторами по всему миру [1–5]. Благодаря

значительным преимуществам искусственного интеллекта в процессе проектирования происходят существенные изменения в рабочих процессах, что обуславливает необходимость пересмотра методологии проектирования [6, 7].

Традиционно используемые методы описания архитектурных концепций с помощью ручной графики и архитектурного макетирования уступают место представлению визуа-

лизаций, созданных с помощью технологии информационного моделирования (ТИМ), а также различных связей ТИМ с искусственным интеллектом, в частности, генеративными нейросетями [8, 9]. Однако можно отметить, что используемые модели обучаемых генеративных нейронных сетей имеют ограниченную адаптивность к решению типовых задач архитектурного проектирования [10], обладают сложным механизмом введения исходных данных, регулирования результатов генерации как в части решения задач архитектурного проектирования, так и в части соответствия технико-экономическим параметрам объекта проектирования [11].

Изучение возможностей генеративных нейросетей является актуальной темой научных исследований, позволяющих в дальнейшем определить критерии применимости ИИ и получить простой в управлении, гибкий и многофункциональный инструмент для решения прикладных задач вариативного проектирования.

С точки зрения прикладных задач архитектурно-художественное решение должно соответствовать, прежде всего, сформулированным автором и заказчиком требованиям проекта, которые отвечают следующим исходным данным:

- месту проектируемого объекта в инфраструктуре и другим критериям социально-экономического и эстетического характера;
- окружающей застройке;
- функциональному назначению здания;
- архитектурному стилю;
- дополнительным требованиям (например, к цветовой гамме; использованию определенных материалов; наличию необходимых элементов здания, таких как медиафасад, акцентные детали, и др.).

Объектом настоящего исследования является архитектурно-художественный облик здания торгово-развлекательного комплекса или торгового центра. Выбор функциональ-

ного типа здания обусловлен тем, что для большинства торговых зданий по функциональным и конструктивным требованиям более всего присуща форма элемента построения архитектурного пространства в виде параллелепипеда или сочетания параллелепипедов. Поэтому для усложнения эстетического восприятия соответствующих простых объемов используют широкий спектр художественных приемов. На примере торгового здания мы получаем возможность определить, насколько модель нейросети способна обучиться применению этих приемов.

Методы исследования

Генеративные нейросети, иными словами, нейросети, базирующиеся на архитектуре глубокого обучения, представляют собой системы, способные обрабатывать и анализировать большие объемы данных с выделением неочевидных для человека закономерностей и зависимостей между отдельными массивами информации. Для создания изображений чаще всего используются две разновидности нейросетей на основе глубокого обучения: генеративно-сопоставительные нейронные сети и нейросети, работающие по принципу стабильной диффузии. Генеративно-сопоставительные сети впервые были представлены в работе Яна Гудфеллоу «Глубокое очищение» [12], опубликованной в 2014 г. Диффузные нейросети появились в 2015 году.

Цель исследования — создание архитектурно-художественного облика здания торгово-развлекательного комплекса с использованием технологии генеративного (обучаемого) искусственного интеллекта с учетом требований проекта.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Определить инструменты создания изображений с применением технологии машинного обучения с низким порогом вхождения.
2. Создать и обучить авторскую модель нейросети, на основе которой будет выпол-

няться генерирование архитектурно-художественных решений здания.

3. Определить степень соответствия результатов работы авторской модели GAN в виде архитектурно-художественных решений положениям технического задания и требованиям проекта.

В ходе проведения работы были использованы следующие методы исследования: описание, анализ, сравнение, обобщение и моделирование.

Методология использования обучаемого интеллекта

Большинство существующих и широкодоступных для пользователей нейросетей реализуют работу с уже готовыми моделями, например, «Кандинский», Starryai и др. [10, 13–16], без возможности их адаптации для конкретных задач. Создание пользовательских обучаемых моделей реализовано в незначительном количестве нейронных сетей, самой известной из которых является нейросеть Stable Diffusion, базирующаяся на моделях скрытой диффузии, представляющей собой совершенно новый подход к визуализации текстовых исходных данных, для генерации изображений [9, 17–19]. Следует отметить, что нейронные сети также имеют широкий перечень недостатков, обусловленных как малым уровнем обученности конкретных моделей, так и нюансами формирования исходных данных:

1. Недостаточная точность и реалистичность прорисовки визуализаций, приводящие к «упрощению» и пропуску мелких деталей или сложных для генерации объектов, сценариев освещения и отображения отдельных материалов и изделий.

2. Сложность обучения нейросети для решения задач архитектурной визуализации, выражающаяся в необходимости ресурсоемкого обучения, включая большие объемы данных фотофиксации, 3D-модели, чертежи и визуализации различных архитектурных проектов и др.

3. Ограниченность вариативности и творческого потенциала, обусловленного уровнем обученности модели, и невозможности выхода нейросети за пределы обучающих наборов информации.

4. Сложность в решении задачи соответствия требованиям проекта.

Среди существующих технологий искусственного интеллекта для реализации эксперимента был выбран онлайн-сервис Exactly.ai, представляющий из себя нейросеть на основе Stable Diffusion, и доступный для пользователей начиная с 2023 года. В литературных источниках нет упоминаний об использовании данной нейросети для создания архитектурных визуализаций, она была разработана как инструмент для иллюстраторов и художников, позволяющий легко создавать свои модели на основе авторских работ и получать новые изображения по описанию в индивидуальном стиле автора.

Главное преимущество нейросети состоит в том, что она позволяет любому пользователю создавать индивидуальные модели на основе уникального набора изображений. Ее выбор обусловлен исключительной простотой применения и отсутствием необходимости установки программного обеспечения в сочетании с преимуществами использования собственной обучаемой модели для генерации изображений. Кроме этого, стоит отметить высокое разрешение получаемых изображений (от 4096×4096 точек до 7281×4096), что позволяет получить точную прорисовку деталей изображения.

В рамках исследования в нейросети Exactly.ai была создана индивидуальная модель, опирающаяся на обучающий набор из 48 изображений, взятых из открытых источников, и описаний к ним. Изображения торговых центров, соответствующих архитектурно-художественной выразительности и стилистической направленности современной архитектуры с разрешением не менее 512×512 точек, были отобраны из открытых

источников. Формирование текстовых описаний для каждого изображения модели позволяет обеспечить соответствие результатов генерации внешнего облика здания его функциональному назначению и архитектурному стилю. Неточность формулировок может привести к тому, что нейросеть будет неправильно понимать будущие запросы, поэтому конкретизация формулировок описательной части модели играла важную роль для получения качественного результата, они были отредактированы вручную и с помощью сторонних сервисов искусственного интеллекта, позволяющих создать описание по загруженному изображению. Примеры использованных при создании модели изображений и их текстовых описаний приведены в табл. 1.

После создания модели первые результаты генерации подлежат оценке качества, системному анализу и отбраковке. Оценка проводилась с помощью функций платформы посредством формирования выборок по критериям «устраивает» и «не устраивает», а также с помощью текстовых комментариев к полученным изображениям, позволяющих производить дальнейшее обучение модели и совершенствование результатов.

Средства достижения требований проекта были сформулированы в процессе анализа возможностей обучаемого искусственного интеллекта на примере Exactly.ai (табл. 2). Одним из указанных средств является текстовый запрос на генерацию изображения — промпт. Принципы составления запросов в Exactly.ai те же, что и в других аналогичных нейросетях, они заключаются в необходимости выполнения следующих условий:

- указать главный объект в будущем изображении;
- добавить его описание или действие, которое он совершает;
- при необходимости внести больше деталей: описать место действия, второстепенные объекты;

- избегать частицы «не» и других отрицаний, при необходимости негативные промпты можно задавать в отдельном поле.

Исходя из указанных условий были составлены различные промпты, исследованы и проанализированы потенциальные возможности использования нейросети.

Результаты и обсуждение

После создания модели только с использованием промпта были получены результаты, представленные в табл. 3. На четыре генерации, выполняемые по единому запросу, затрачивается около 10 секунд.

Анализ результатов степени соответствия полученных изображений и текстовых запросов показал, что около половины генераций удовлетворяют одновременно заданным критериям и требованиям художественной выразительности. Все полученные изображения отличаются оригинальностью, отсутствием шаблонности и повторяемости используемых приемов. Можно констатировать, что создание модели на основе изображений торговых центров позволило «научить» нейросеть эффективно применять художественные приемы, используемые архитекторами: симметрию и асимметрию, нюанс и контраст, ритм, лейтмотив, масштабность, обработку поверхности цветом и фактурой.

Таким образом, изображения, полученные без использования эскиза, иллюстрируют широкие возможности искусственного интеллекта с точки зрения нового подхода к поиску формообразования. Мы можем наблюдать, как использование обучаемого искусственного интеллекта позволяет объединить принципы художественной выразительности здания, наглядность и точность представления. Это позволяет буквально за минуты прийти к принципиально новым художественным решениям, взяв за основу реалистичную визуализацию, учитывающую такие сложные для анализа факторы, как влияние на восприятие здания есте-

Примеры изображений для создания обучаемой модели и их описание

Использованное изображение	Отредактированное описание
	<p>A shopping center made of glass and white panels with a pattern of dark panels on the end of the building</p>
	<p>The image shows the facade of a shopping center with large glass windows and metal structures. The facade has a curved shape made of decorative grating decorated to match the texture of wood</p>
	<p>A shopping center with a facade made of glass, metal panels and natural stone of light color. The corners of the facade are rounded, a sharp depression in the main entrance area</p>
	<p>The facade of the building is designed in a modern style using geometric shapes and combines bright and neutral colors. The main color of the facade is red, which highlights the key elements of the structure. Rectangular shapes and clear lines give the building a strict and modern look. There are also large glass panels in the facade. Some parts of the facade are painted in light gray</p>
	<p>The facade of the shopping center is a combination of straight lines and geometric shapes. The upper level of the building is distinguished by a variety of vertical stripes of multicolored panels, including shades of turquoise, blue and gray. The main entrance is highlighted by large glass panels</p>

Таблица 2

Средства достижения требований проекта с помощью нейросети

Требования проекта	Средства достижения
Окружающая застройка	Описание с помощью промпта
Архитектурный стиль	Изображения из набора для обучения модели соответствуют заданному архитектурному стилю
Функциональное назначение здания	Изображения из набора для обучения модели соответствуют функциональному назначению здания
Цветовая гамма	Задание цветовой гаммы в эскизе Задание предпочитаемого цвета в настройках запроса Задание предпочитаемых цветов с помощью промпта
Формы здания	Задание линий в эскизе Описание форм с помощью промпта
Материалы	Задание материалов с помощью промпта

Таблица 3

Использование различных промптов и примеры сгенерированных изображений

Промпт	Результат генерации
A shopping center with a green wall	
A shopping mall with wooden and colorful facades and aluminum panels	
A shopping mall with a large glass facade, a mix of natural and modern	

Промпт	Результат генерации
<p>The facade of the shopping center is like a fragment of a mosaic made up of multicolored, multifaceted elements. Materials: ceramics, glass, metal. Color palette: bright, contrasting</p>	
<p>Develop a futuristic design for the facade of the shopping center. Materials: metal panels with variable illumination (blue, purple, green), large LED screens, transparent panels. Geometric shapes: complex, dynamic, using curved lines</p>	

ственного и искусственного освещения, законов перспективы, наличие окружающей застройки, и аргументированно презентовать эти решения заказчику.

Следующий этап исследований был обусловлен необходимостью использования эскиза здания как основы для получения изображений. Среди требований к архитектурно-художественному решению важным является соблюдение технико-экономических показателей (ТЭП) проекта уже на стадии разработки концепции. Для этого создается так называемый массинг здания — представление его в виде простых объемных форм и их сочетаний. Можно загрузить готовый эскиз, при этом цветной рисунок автоматически преобразуется в монохромный, либо задать линиями черно-белый эскиз прямо в интерфейсе, используя инструменты «линер» и «ластик». Для получения эскиза можно ис-

пользовать как ручной набросок, так и изображение, полученное в программе трехмерного моделирования. Такой эскиз позволяет выполнить создание архитектурно-художественных решений в соответствии с условиями: конфигурацией в плане, расположением на участке, выделением главного входа, этажностью, или задать творческое нешаблонное направление поиска для генерации в случае использования абстрактного рисунка.

Результаты использования различных типов эскизов и примеры полученных изображений представлены в табл. 4.

Это позволило сделать вывод о том, что характер рисунка эскиза напрямую влияет на результат генерации изображения, а использование линий переменной толщины и штриховки является средством уточнения результата генерации. Интерес представляет использование абстрактных линий в качестве

эскиза — с одной стороны, полученное изображение можно отнести к источнику новых идей для формообразования, с другой стороны, остается возможность в значительной степени контролировать данный процесс.

С помощью функции «вариация» из каждого изображения можно сгенерировать изображения с заданной степенью соответствия ранее полученному. Степень вариации

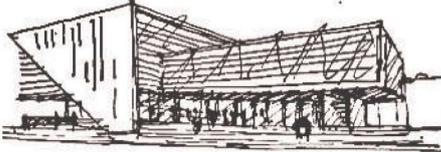
выражается в процентах. Примеры результатов применения данной модификации представлены в табл. 5.

Процесс уточнения элементов изображения в ходе работы с нейросетью предполагает итеративный подход к совершенствованию генерируемого изображения.

После выделения областей, требующих уточнения, запускается процесс повторной

Таблица 4

Результаты использования различных типов эскизов и примеры сгенерированных изображений

Тип эскиза	Эскиз	Сгенерированные изображения
Созданный внутри приложения на основе фотореалистичного изображения		
Загруженный эскиз на основе 3D модели		
Эскиз в стиле ручной графики		
Абстрактный рисунок		

Пример результатов применения функции «вариация»

Промпт	Исходная генерация	Степень вариации, %	Модифицированные изображения
<p>Greate a modern shopping mall facade with an abstract geometric ornament. The ornament should be made of metal panels in different shades of gray and blue. Add light elements that will emphasize the ornament.</p>		90	
		70	
		60	
		30	
		10	

генерации — нейросеть обновляет только выделенный фрагмент, оставляя часть изображения без изменений. Результаты применения данной модификации представлены на рис. 1.

Скорость генерации позволяет проводить итерации до тех пор, пока не будет достигнут нужный результат. Инструмент позволяет сократить время на изменение визуализаций с помощью нейросети, не изменяя исходных данных.

Итоговым вариантом можно считать изображение, которое было получено с применением описанных выше инструментов платформы. Непосредственно в интерфейсе нарисован эскиз, а через последовательное применение функции генерации, создание нового эскиза на основе сгенерированного изображения, задание нового промпта, применение функций вариации и редактирования выделенной области получено итоговое изображение (рис. 2).

Быстрая генерация нескольких аналогов, взятых за основу архитектурно-художественного решения, актуальна для презентации заказчику и получения обратной связи. Для реализации этой задачи была создана модель из восьми сходных по стилю изображений. На ее основе были получены резуль-

таты, соответствующие заданным аналогам по архитектурному стилю. Примеры изображений представлены на рис. 3.

Выводы

В ходе проведения исследования была подтверждена целесообразность использования ИИ в создании архитектурно-художественных решений с помощью обучаемых моделей и улучшения следующих показателей:

- простота и скорость получения изображений;
- уникальность и художественная выразительность архитектурных визуализаций;
- высокая управляемость процессом.

Доказано, что в короткие сроки любой заинтересованный специалист может научиться использовать данный сервис в своей работе, при этом нет необходимости в трудозатратном обучении программированию.

Отмечено, что высокая степень влияния пользователя на процесс создания модели с помощью обучаемого искусственного интеллекта делает работу профильного специалиста не только значимой и востребованной, но и более эффективной и креативной.

Использование обучаемого ИИ открывает новые горизонты для архитектурных решений по заданным условиям без ограничения пределами человеческого воображения,

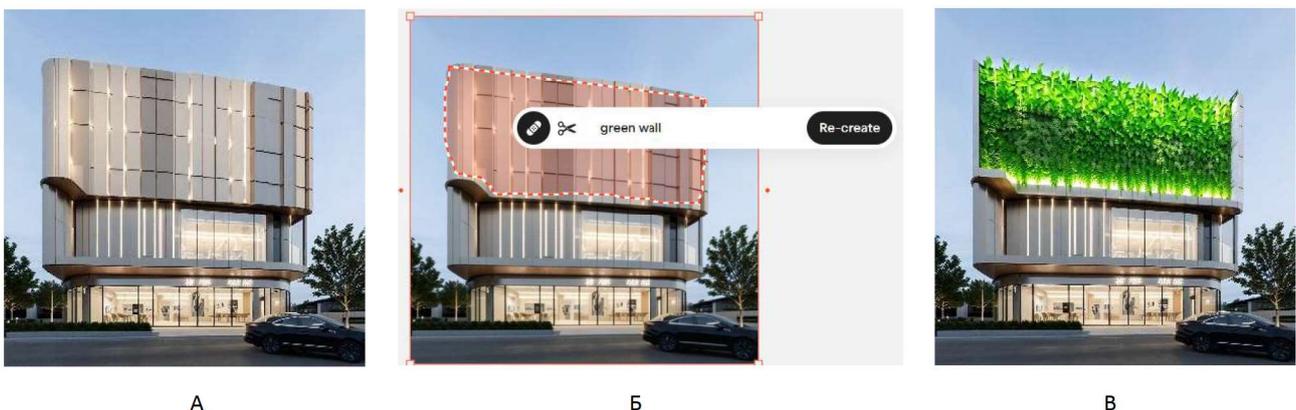


Рис. 1. Применение функции «вариация»: А — исходная генерация по промпту: the shopping center is made of gray and dark gray panels. The corners of the building are rounded. There are many bulging parts of the facade. The entrance group is made of glass; Б — выделенная область для уточнения; запрос на изменение для выделенных элементов green wall; В — результат изменений

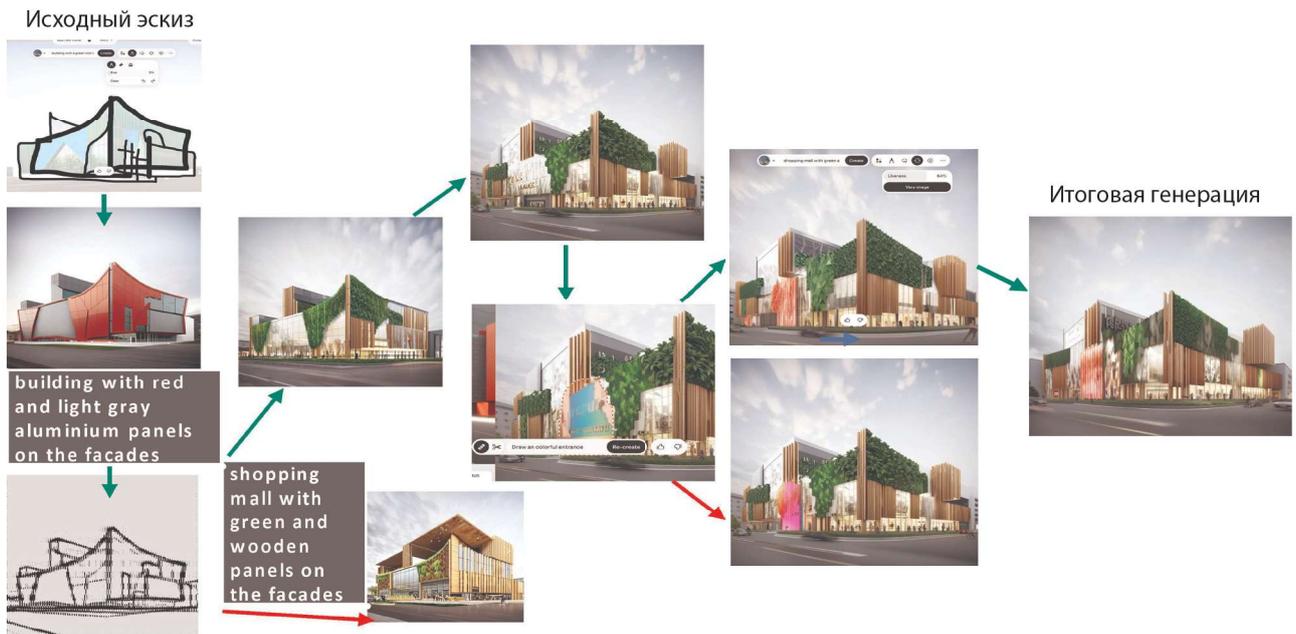


Рис. 2. Процесс генерации и ее результат

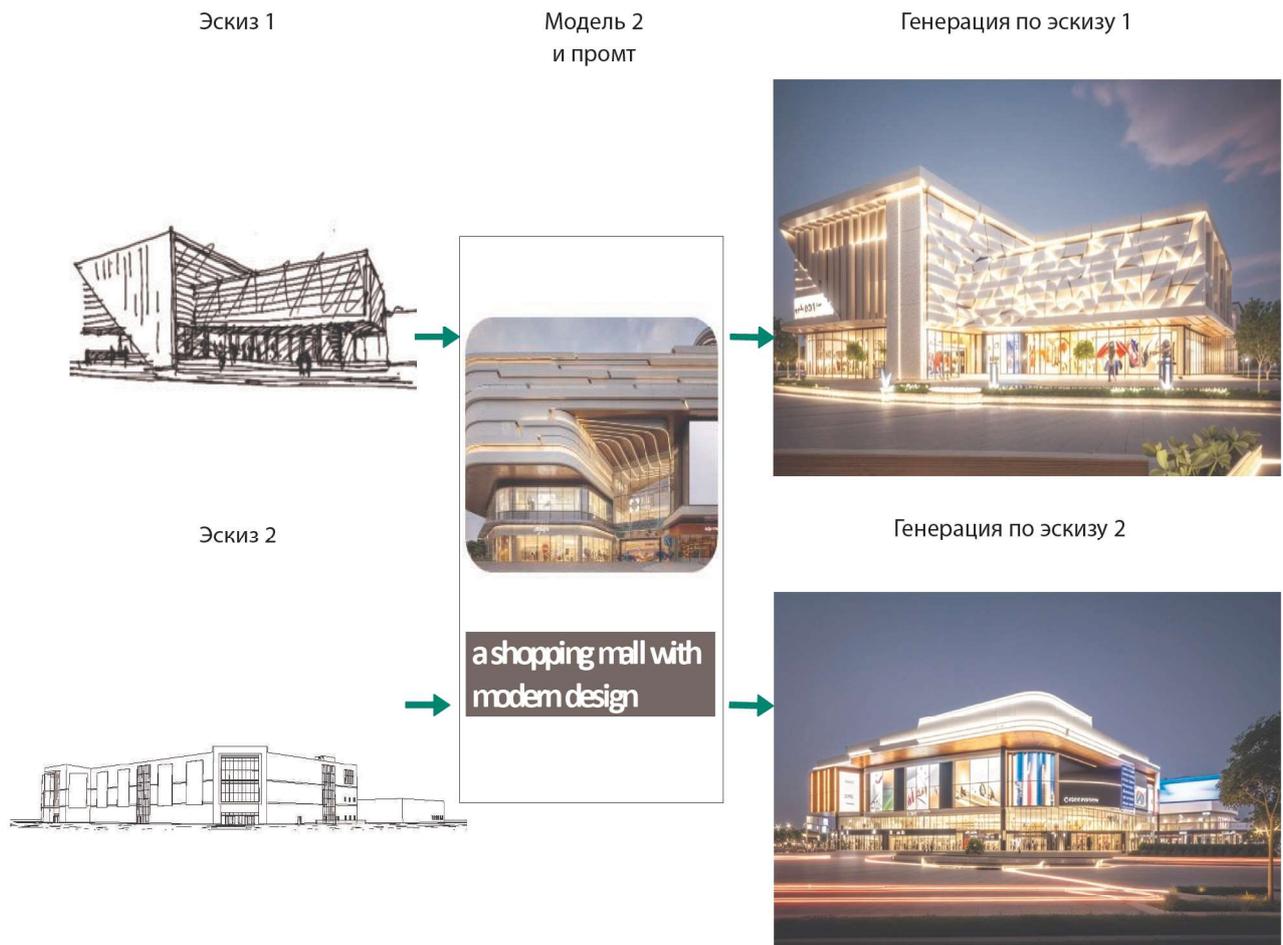


Рис. 3. Результаты генераций на основе модели 2

что позволяет архитекторам развивать свой творческий потенциал и находить нестандартные решения при проектировании зданий и пространств.

Библиографический список

1. *Воличенко О., Цурик Т.* Искусственный интеллект в концептуально-прототипном проектировании // Проект Байкал. 2024. № 21 (79). С. 38–44.
2. *Касьянов Н. В.* О применении возможностей искусственного интеллекта в архитектуре, градостроительстве и строительных науках // Современная архитектура мира: основные процессы и направления развития: тезисы докл. XV Междунар. науч. конф., 7–8 октября 2024 г. URL: <https://archi.ru/elpub/100299/o-primenenii-vozmozhnostei-iskusstven-nogo-intellektav-arkhitekture-gradostroitelstve-i-stroitelnykh-naukakh> (дата обращения: 30.10.2024).
3. *Власова Е. Л., Власова М. Л., Боровикова Н. В., Карелин Д. В.* Искусственный интеллект в архитектурно-градостроительном проектировании // Architecture and Modern Information Technologies. 2023. № 4 (65). С. 311–324.
4. *Сахаров П. М., Тлустый Р. Е.* Искусственный интеллект в архитектурном проектировании: инновации, оптимизация и будущее // Междунар. науч. журнал «ВЕСТНИК НАУКИ». 2024. Т. 4, № 6 (75). С. 1423–1438.
5. *Huang V., Zheng H.* Recognition and generation of architectural drawings using machine learning // Proceedings of the 38th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture. Mexico City, Mexico. 2018. Pp. 18–20. DOI 10.52842/conf.acadia.2018.156.
6. *Kaushikkumar P., Divya B.* Ai-enhanced Design: Revolutionizing Methodologies And Workflows // International Journal of Artificial Intelligence Research and Development (IJAIRD) January–June 2024. Vol. 2. Iss. 1. Pp. 135–157.
7. *Левшукова К. М., Забегина А. Р.* Формирование концептуального решения архитектурного проекта с применением нейросетей // International journal of Professional Science. 2023. № 9. С. 20–29.
8. *Чмир Ю. Э., Карелин Д. В.* Пути интеграции автоматизированного процесса и адаптация искусственного интеллекта при разработке проектных решений // Приволжский научный журнал. 2021. № 1 (57). С. 84–91.
9. *D’Uva D.* AI-Enhanced Facade Design: Exploring the Synergy of Generative Models and Architectural Creativity // Proceedings of the 45 th International Conference of Representation Disciplines Teachers. Milano: FrancoAngeli. 2024. Pp. 355–362.
10. *Колесникова К. В., Мальцева А. А.* Перспективы и особенности использования искусственного интеллекта в области архитектурной визуализации на примере Veras.ai // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., 7–8 ноября 2024 г. / под ред. Г. Б. Захаровой. Екатеринбург: Уральский гос. архитектурно-художественный ун-т им. Н. С. Алфёрова, 2024. С. 47.
11. *Пичугов П. А., Шабиев. С. Г.* Методика использования stable diffusion для генерации вариантов фасадных решений на основе искусственного интеллекта // Architecture and Modern Information Technologies. 2024. № 3 (68). С. 327–338.
12. *Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А.* Глубокое обучение. М.: ДМК Пресс, 2018. 652 с.
13. *Rorji A.* Generated faces in the Wild: A quantitative comparison of stable diffusion, midjourney and dall-e 2 // Quintic AI. San Francisco. 2022. URL: <https://arxiv.org/pdf/2210.00586> (дата обращения: 30.10.2024).
14. *Zhang L., Rao A., Agrawala M.* Adding conditional control to text-to-image diffusion models // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. 2023. Pp. 3836–3847.
15. *Rombach R., Blattmann A., Lorenz D., Esser P., Ommer B.* Synthesis of high-resolution images using latent diffusion models // IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2022. Pp. 10674–10685.
16. *Zhang J., Fukuda T., Yabuki N.* Automatic generation of synthetic datasets from a city digital twin for use in the in-stance segmentation of building facades // Journal of Computational Design and Engineering. 2022. № 9. Pp. 1737–1755.
17. *Ma H., Zheng H.* Text Semantics to Image Generation: A Method of Building Facades Design Base on Stable Diffusion Model. In: Yan, C., Chai, H., Sun, T., Yuan, P.F. (eds) // Phygital Intelligence. CDRF 2023. Computational Design and Robotic Fabrication. Springer, Singapore. Pp. 24–34.
18. *Jo H., Lee J.-K., Lee Y.-C., Choo S.* Generative artificial intelligence and building design: early photorealistic render visualization of façades using local identity-trained models // Journal of Computational Design and Engineering. April 2024. Vol. 11. Iss. 2. Pp. 85–105.
19. *Ali A. K., Lee O. J.* Facade Style Mixing Using Artificial Intelligence for Urban Infill // Architecture. 2023. № 3. Pp. 258–269.

References

1. Volichenko O., Tsurik T. *Iskusstvenniy intellekt v kontseptual'no-prototipnomproektirovanii* [Artificial intelligence in conceptual and prototype design]. *Proekt Baykal – Baikal Project*, 2024, no. 21 (79), pp. 38–44.
2. Kas'yanov N. V. *O primenenii vozmozhnostey iskusstvennogo intellekta v arkhitekture, gradostroitel'stvei stroitel'nykh naukakh* [Regarding the application of artificial intelligence capabilities in architecture, urban planning and construction sciences]. *Sovremennaya arkhitektura mira: osnovnye protsessy inappravleniya razvitiya. Trudy XV Mezhdunar. nauch.konf. 7–8 oktyabrya 2024 goda* [Modern architecture of the world: main processes and directions of development. Proceedings of the XV International sci. conf. October 7–8, 2024]. Available at: <https://archi.ru/elpub/100299/o-primenenii-vozmozhnostei-iskusstvennogo-intellekta-v-arkhitekture-gradostroitel'stve-i-stroitel'nykh-naukakh> (accessed: 30.10.2024).
3. Vlasova E. L., Vlasova M. L., Borovikova N. V., Karelin D. V. *Iskusstvenniy intellekt v rkhitekturno-gradostroitel'nom projektirovanii* [Artificial intelligence in architectural and town-planning design]. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2023, no. 4 (65), pp. 311–324.
4. Sakharov P. M., Tlustiy R. E. *Iskusstvenniy intellekt v arkhitekturnom projektirovanii: innovatsii, optimizatsiya i budushchee* [Artificial intelligence in architectural design: innovation, optimization and future]. *Vestnik Nauki – Bulletin of Science*, 2024, no. 6 (75), vol. 4, pp. 1423–1438.
5. Huang V., Zheng H. Recognition and generation of architectural drawings using machine learning. *Proceedings of the 38th Annual Conference of the Association for ComputerAided Design in Architecture*, Mexico City, Mexico, 2018, pp. 18–20. DOI 10.52842/conf.acadia.2018.156.
6. Kaushikkumar P., Divya B. Ai-enhanced Design: Revolutionizing Methodologies and Workflows. *International Journal of Artificial Intelligence Research and Development (IJAIRD)*, January–June 2024, vol. 2, iss. 1, pp. 135–157.
7. Levshukova K. M., Zabegina A. R. *Formirovanie kontseptual'nogo resheniya arkhitekturnogo proekta s primeneniem neyrosetey* [Formation of conceptual solution of architectural project with the use of neural networks]. *International Journal of Professional Science*, 2023, no. 9, pp. 20–29.
8. Chmir Yu. E., Karelin D. V. *Puti integratsii avtomatizirovannogo protsesssa i adaptatsiya iskusstvennogo intellekta pri razrabotke proektnykh resheniy* [The ways of integrating the automated process and adapting artificial intelligence in the development of design solutions]. *Privolzhskiy nauchniy zhurnal – Volga Region Scientific Journal*, 2021, no. 1 (57), pp. 84–91.
9. D'Uva D. AI-Enhanced Facade Design: Exploring the Synergy of Generative Models and Architectural Creativity. *Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers Congress of Unione Italiana per il Disegno*, Milano, Franco Angeli, 2024, pp. 355–362.
10. Kolesnikova K. V., Mal'tseva A. A. *Perspektivy i osobennosti ispol'zovaniya iskusstvennogo intellekta v oblasti arkhitekturnoy vizualizatsii naprimere Veras.ai* [Prospects and features of using artificial intelligence in the field of architectural visualization on the example of Veras. AI]. *Novye informatsionnye tekhnologii v arkhitekture i stroitel'stve. Trudy VII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 7–8 noyabrya 2024 g.* [New information technologies in architecture and construction. Proceedings of the VII Intern. sci.-pract. conf., November 7–8, 2024]. Ed. by Zakharova G. B. Ekaterinburg: Ural'skiy gos. arkhitekturno-khudozhestvenniyun-t im. N. S. Alfeyorova Publ., 2024, p. 47.
11. Pichugov P. A., Shabiev. S. G. *Metodika ispol'zovaniya stable diffusion dlya generatsii variantov fasadnykh resheniy na osnove iskusstvennogo intellekta* [Methodology of using stable diffusion for generating variants of facade solutions based on artificial intelligence]. *Architecture and Modern Information Technologies – Architecture and Modern Information Technologies*, 2024, no. 3 (68), pp. 327–338.
12. Gudfellou Ya., Bendzhio I., Kurvill' A. *Glubokoe obuchenie* [Deep Learning]. Moscow, DMK Press Publ., 2018, 652 p.
13. Borji A. Generated faces in the Wild: A quantitative comparison of stable diffusion, mid-journey and dall-e 2. *Quintic AI*, San Francisco, 2022. Available at: <https://arxiv.org/pdf/2210.00586> (accessed: 30.10.2024).
14. Zhang L., Rao A., Agrawala M. Adding conditional control to text-to-image diffusion models. *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, 2023, pp. 3836–3847.
15. Rombach R., Blattmann A., Lorenz D., Esser P., Ommer B. Synthesis of high-resolution images using latent diffusion models. *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2022, pp. 10674–10685.
16. Zhang J., Fukuda T., Yabuki N. Automatic generation of synthetic datasets from a city digital twin for use in the in-instance segmentation of building facades. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2022, no. 9, pp. 1737–1755.
17. Ma H., Zheng H. Text Semantics to Image Generation: A Method of building facades design base on stable diffusion model. In: Yan, C., Chai, H., Sun, T.,

Yuan, P. F. (eds). *Phygital Intelligence. CDRF 2023. Computational Design and Robotic Fabrication*, Springer, Singapore, pp. 24–34.

18. Jo H., Lee J.-K., Lee Y.-C., Choo S. Generative artificial intelligence and building design: early photorealistic render visualization of façades using

local identity-trained models. *Journal of Computational Design and Engineering*, April 2024, vol. 11, iss. 2, pp. 85–105.

19. Ali A. K., Lee O. J. Facade Style Mixing Using Artificial Intelligence for Urban Infill. *Architecture*, 2023, no. 3, pp. 258–269.