

DOI: 10.15593/2409-5125/2021.03.07

УДК 728.22

И.Е. Алексеева, О.Ю. Болотова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛОРИСТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОФОРМЛЕНИЯ ФАСАДОВ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

Исследуются закономерности цветового оформления объектов капитального строительства с помощью интеллектуальных технологий анализа цифровых изображений. В качестве исходных данных в сервисе «Карты Google» были собраны изображения фасадов зданий многоквартирных домов 15 российских городов с населением свыше одного миллиона жителей. Исследование выполнено с помощью универсальной когнитивно-аналитической системы «ЭЙДОС-Х++», использующей три статистические и семь информационных моделей, основанных на методах теории информации. Система «ЭЙДОС-Х++» была обучена с помощью изображений зданий, которые были размечены названиями городов, был выполнен интеллектуальный анализ цифровых данных, позволивший обнаружить цвета, характерные для крупнейших российских городов. В ходе исследования авторами разработано прикладное Эйдос-приложение «Интеллектуальный спектральный анализ изображений фасадов жилых многоквартирных домов». Данное приложение может использоваться для аудита эскизных проектов и исследования городских пространств.

В качестве результатов приведены характерные для города Перми спектральные цвета и их оттенки, а также, какие их сочетания являются наиболее релевантными Перми. В экспериментальной части показаны фасады двух зданий, строящихся в настоящее время в Перми, распознаваемые как дома, характерные для других городов, в частности Омска и Екатеринбурга. Для одного из исследуемых домов разработаны альтернативные варианты цветового оформления главного фасада здания с учетом наиболее релевантных сочетаний пермских оттенков.

Стоит отметить, что в творческом процессе поиска цветового оформления зданий человека не заменить, поэтому созданное авторами Эйдос-приложение следует воспринимать исключительно как рекомендательную систему. Разработанное приложение может упростить и снизить объем работы архитекторов, дизайнеров и специалистов смежных специальностей. В заключении приведены перспективные направления развития данной технологии.

Ключевые слова: объекты капитального строительства, многоквартирные дома, архитектура, дизайн, фасады зданий, спектральные цвета, информационные технологии, интеллектуальные технологии.

В век цифровых технологий решения, основанные на искусственном интеллекте, оказывают все большее влияние на различные отрасли, создавая средства и методы для ранее неразрешимых задач. Внедрение технологий искусственного интеллекта в архитектуру и градостроительство пока находится на начальном этапе, но уже дает многообещающие результаты.

Так, параметрический инструмент Finch 3D [1], разработанный в Швеции архитектурной студией Wallgren Arkitekter и строительной компанией BOX Bygg, позволяет автоматически генерировать поэтажные планы зданий и квартир, а также их планировку с расстановкой мебели. Похожий стартап из США Higharc [2] позволяет автоматически генерировать планировку и строительную документацию на индивидуальные жилые дома, так называемой Series A. Ещё одним примечательным примером является Центр Гейдара Алиева в городе Баку от легендарной Захи Хадид, который стал одним из первых произведений архитектуры, созданных с применением искусственного интеллекта [3].

Несмотря на накопленный человечеством опыт в области архитектуры и градостроительства и на последние достижения искусственного интеллекта в этой области, цветовой образ города по сей день формируется беспорядочно – появляются объекты градостроительства, которые не всегда гармоничны, сомасштабны друг другу и колористически не увязаны с элементами окружающей среды. Именно вопросу цветового решения фасадов следует уделять основное внимание при решении оформления внешнего облика зданий, ведь именно методы и средства колористики способствуют четкому и скоординированному проектированию городской среды.

Цветовое оформление фасадов зданий динамически формируется под влиянием географических, климатических, исторических, экономических, культурных и других факторов. Основываясь на этом, авторами ранее [4] было выдвинуто две гипотезы о том, что при разработке колерных паспортов объектов капитального строительства, территориально расположенных в условиях с общими внешними факторами, исторически должен сложиться (устояться) общий «дизайн-код», выражающийся в применяемых цветовых решениях при оформлении фасадов зданий. Вторая гипотеза заключалась в том, что с помощью современных методов интеллектуального анализа данных, использующих технологии искусственного интеллекта и методы машинного обучения, удастся обнаружить существующие цветовые закономерности путем анализа множества цифровых изображений зданий.

Отметим, что в [4] авторами были выдвинуты эти гипотезы и сформулирована научно-практическая задача, включая описание предлагаемого подхода к ее решению. В частности, для проверки исследовательской гипотезы авторами предлагалось [4] выполнить спектральный анализ изображений фасадов зданий многоквартирных домов, который должен показать частоту использования различных спектральных цветов у отдельных домов, расположенных в различных городах (регионах, странах). При

этом отдельные спектральные цвета предлагалось кодировать в численные значения для выполнения количественного анализа. Сортируя массивы данных по определенным фильтрам, предлагалось оценить, какие спектральные цвета чаще используются в тех или иных городах (регионах, странах) или в каких городах (регионах, странах) чаще используется тот или иной спектральный цвет. Имея числовые данные о частоте встречаемости каждого кода из множества всех кодов, которые однозначно соотнесены со спектральными цветами, можно с помощью методов теории информации определить различные метрики, как правило, называемые количеством информации для решения задач классификации, идентификации и распознавания. Количество информации спектрального цвета будет показывать меру принадлежности многоквартирного дома с заданным спектральным цветом тому или иному классу. В качестве классов можно использовать названия городов, регионов, стран и их объединений по другим признакам, например, города, расположенные в северных или южных широтах; страны Евросоюза и т.п.

Целью настоящего исследования является проверка сформулированных гипотез и обнаружение существующих закономерностей в цветовых решениях фасадов зданий на примере многоквартирных домов, расположенных в крупнейших российских городах. Предложенный ранее [4] подход определил ряд задач настоящего исследования:

- 1) сбор цифровых изображений многоквартирных домов, расположенных в крупнейших российских городах;
- 2) определение перечня спектральных цветов для каждого изображения и формирование базы данных, структурированной таким образом, чтобы можно было выполнить описанные выше операции сортировки и фильтрации данных;
- 3) построение матриц абсолютных и относительных частот встречаемости кодов, которые однозначно соотнесены со спектральными цветами, в изображениях многоквартирных домов, маркированных названиями городов;
- 4) определение информационных метрик и выявление цветов, характерных для каждого исследуемого города;
- 5) экспериментальное распознавание рендер-изображений строящихся зданий в г. Перми, которые не участвовали в машинном обучении;
- 6) поиск оттенков спектральных цветов и их сочетаний, характерных для г. Перми;
- 7) разработка альтернативных вариантов цветового оформления главного фасада здания на примере дома, распознаваемого как нехарактерный для г. Перми.

Состояние проблемы. Колористика является важным аспектом в формировании архитектурного пространства, она рассматривается как система, которая включает в себя созданную человеком архитектуру и цветовое окружение природных объектов. Объекты, созданные природой, для человеческого восприятия являются гармоничными, так как в естественной среде сочетания цветов и форм успокаивает. А вот в городской среде достаточно трудно добиться правильного сочетания цветов. Именно поэтому колористика уже на протяжении многих десятилетий является одной из актуальных проблем в мировой науке и в отечественных исследованиях. В России тема колористических решений фасадов получила особую приоритетность лишь в последние десятилетия. Проблематикой изучения колористических решений и восприятия цвета занимались такие ученые, как А.В. Ефимов [5], Я.П. Виноградов [6], Ю.А. Грибер [7], Н.Ю. Волкова [8], Н.В. Ситникова [9], А.А. Ефимов, Н.Г. Панова [10], Е.В. Михайловский [11], Н.Е. Трегуб [12], Е.С. Петунина [13] и др. Исследователи обозначили проблему отсутствия единства колорита в городе и говорили о том, что городские жители быстро привыкают к скудности и однообразию, из-за чего происходит эстетическая неудовлетворённость. Также было научно доказано, что восприятие цвета неразрывно связано с органами чувств. Цвет влияет не только на психологическое и эмоциональное состояние, а также воздействуют на характер и здоровье людей.

В книге А.В. Ефимова [5], посвященной анализу проблем формирования колористики города на основе отечественного и зарубежного опыта, были определены факторы, влияющие на цветовой образ города (климат, объемно-планировочные решения, колористическая культура и др.), а также предложена комплексная методика по формированию колористики города.

В диссертации Н.Е. Трегуб [12] был проведён лабораторный эксперимент с участием более 400 человек, в результате которого были получены «количественные закономерности цветовой коррекции зрительного восприятия размеров образцов». Также исследователями были разработаны первые шкалы стереоскопических эффектов и разработана новая методика колорного проектирования с учётом цветовой коррекции.

В работе Н.Ю. Волковой [8], посвященной формированию цветокомпозиционных решений фасадов жилых домов и комплексов, отмечается, что «существующие работы почти не содержат рекомендаций по использованию цвета в композиции фасадов зданий, особенно многоэтажных». Именно поэтому авторами настоящего исследования была поставлена задача поиска закономерностей в цветовых решениях фасадов зданий многоквартирных домов.

На сегодняшний день не так много специалистов, занимающихся исследованием в области колористических решений фасадов, которые смогли визуализировать свои исследования. Так, в работе И.С. Петуниной [13] цветовые особенности г. Екатеринбурга были изучены путем сбора графической и визуальной информации об архитектурных элементах города. В результате исследования были получены схемы доминирующих цветов изученных улиц (рис. 1) и было выполнено их сравнение, также была получена обобщённая визуальная схема колористических особенностей архитектуры на всех этапах развития города. Данная схема дала цветовое представление архитектуры города, сложившейся на сегодняшний день.

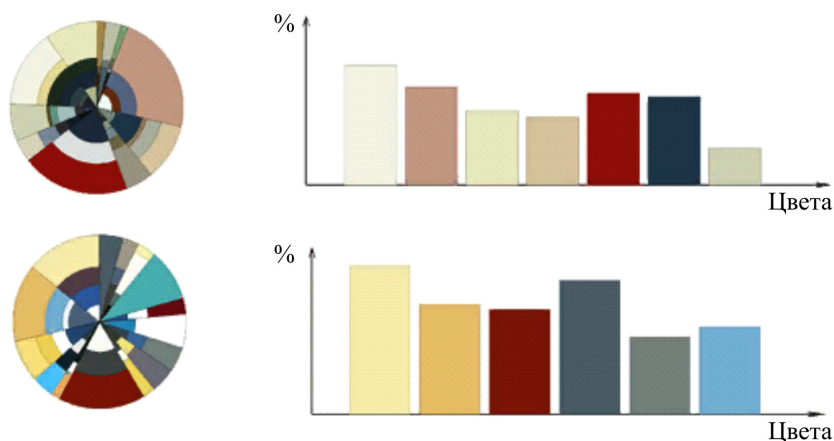


Рис. 1. Пример диаграмм цветовой раскладки и графиков доминирующих цветов [13]

В исследовании [14] А.А. Сергеевой и Н.В. Кузнецовым была предложена методика колористической гармонизации исторической части застройки на примере г. Тамбова. В исследовании был проведен колористический анализ зданий и выявлена частота использования различных цветов в исторической застройке города. В результате была создана гистограмма (рис. 2), на которой «выявлены границы активности использования цвета для вновь возводимых зданий для фоновой застройки и гармонизации с доминирующими архитектурными стилями» [14].

Материалы и методы. Для решения задачи 1 в качестве исходных данных в сервисе «Карты Google» были выборочно собраны изображения фасадов зданий многоквартирных домов 15 российских городов с населением свыше одного миллиона жителей: Волгоград, Воронеж, Екатеринбург, Казань, Красноярск, Москва, Нижний Новгород, Новосибирск, Омск, Пермь, Санкт-Петербург, Ростов-на-Дону, Самара, Уфа, Челябинск.

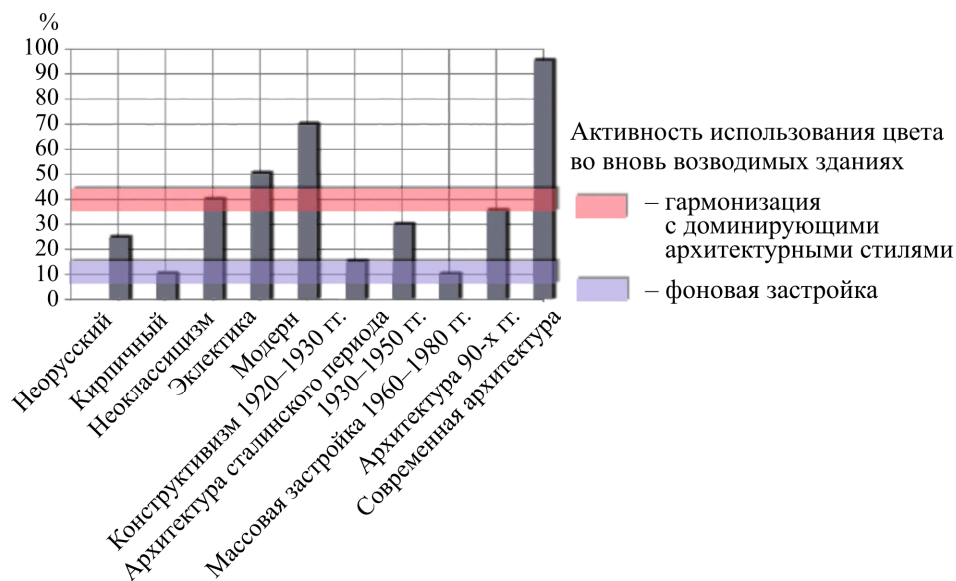


Рис. 2. Активность использования цвета в архитектуре исторической застройки г. Тамбова [14]

Решение задач пп. 2–6 выполнено в универсальной когнитивной аналитической системе «ЭЙДОС-Х++» [15], разработанной профессором Евгением Вениаминовичем Луценко [16]. На базе системы «ЭЙДОС-Х++» авторами настоящего исследования было создано прикладное Эйдос-приложение «Интеллектуальный спектральный анализ изображений фасадов жилых многоквартирных домов».

Исходные изображения, участвующие в машинном обучении системы «ЭЙДОС-Х++», доступны в депозитарии [17]. Важно, что в [17] собраны изображения не всех зданий, расположенных на территории указанных городов, поэтому собранные изображения следует воспринимать как статистическую выборку. Репрезентативность выборки подтверждается устойчивостью результатов анализа цифровых данных.

Результаты. Система «ЭЙДОС-Х++» была обучена с помощью собранных авторами цифровых изображений зданий, был выполнен интеллектуальный анализ данных, в результате чего были обнаружены цвета, характерные для исследуемых городов (рис. 3).

На рисунке показаны наиболее значимые синаптические связи между пятнадцатью исследованными городами (см. рис. 3 – верхний ряд), которые рассматриваются в качестве аналогов нейронов, и тридцатью пятью спектральными цветами (см. рис. 3 – нижний ряд), которые рассматриваются как аналоги рецептронов. Стоит отметить, что количество спектральных цветов может быть как уменьшено, так и увеличено. Однако, как

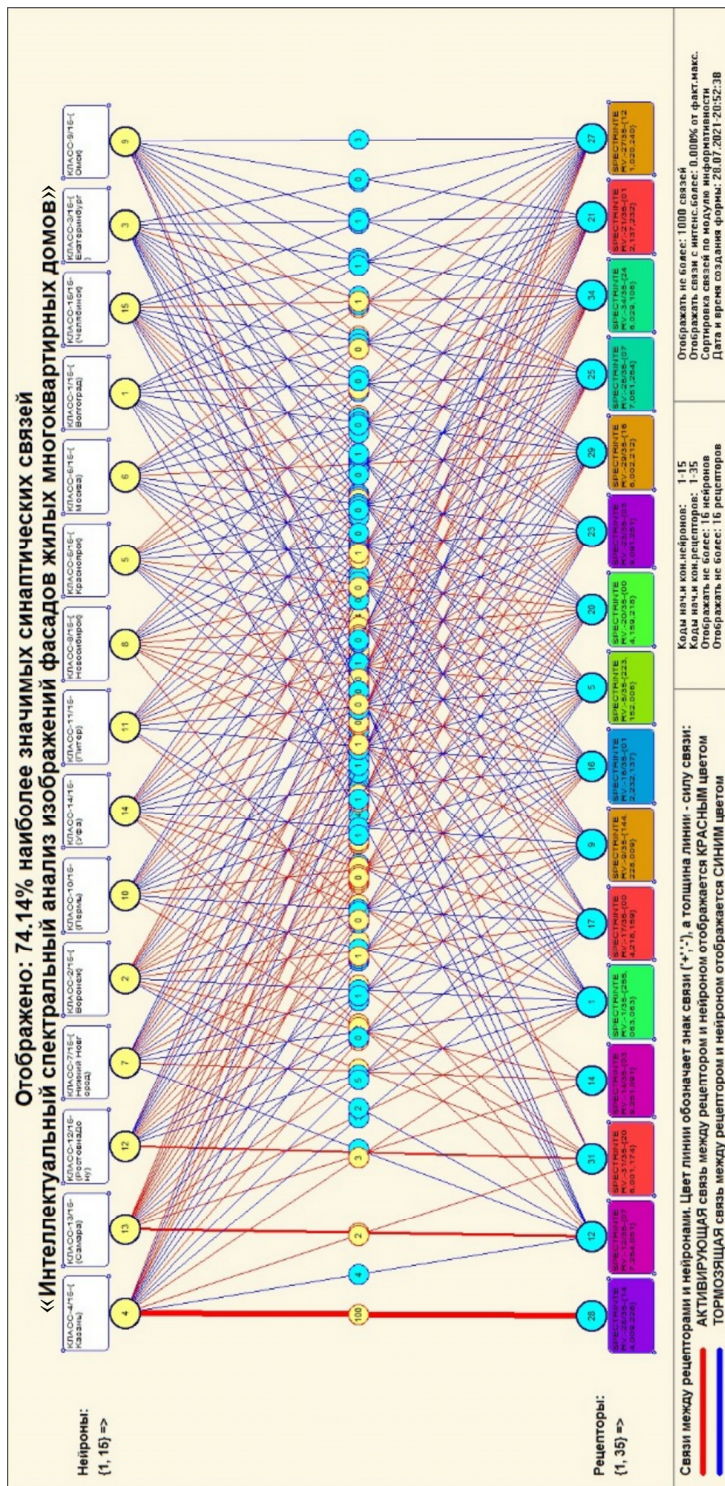


Рис. 3. Парето-подмножество нелокальной нейронной сети в модели «INF4»

отмечалось профессором Е.В. Луценко¹, – исследуя влияние различного количества градаций описательной шкалы, представляющей собой диапазоны спектральных цветов, на результаты автоматизированного системно-когнитивного анализа изображений, замечено, что использование большого количества градаций, во-первых, сказывается на скорости работы программы, во-вторых, новых знаний не дает. Основываясь на этом, Е.В. Луценко пришел к выводу, что 35 спектральных цветов достаточно для спектрально-когнитивного анализа изображений. Именно поэтому авторы настоящего исследования также использовали 35 спектральных цветов.

На рисунке выше (см. рис. 3) г. Перми соответствует нейрон № 10 (6-й слева в верхнем ряду). Связи с красными линиями показывают характерные цвета. Были выделены наиболее релевантные г. Перми цвета, а именно рецептроны № 31, 9 и 29 (3-й, 6-й и 12-й в нижнем ряду соответственно).

Рецептрон № 31 (далее – базовый цвет 1) в системе RGB имеет кодирование (255; 62; 63), рецептрон № 9 (далее – базовый цвет 2) имеет кодирование (223; 153; 6), рецептрон № 9 (далее – базовый цвет 3) имеет кодирование (197; 138; 1).

Ниже на рисунке (рис. 4) показаны базовые цвета и различные варианты их оттенков.

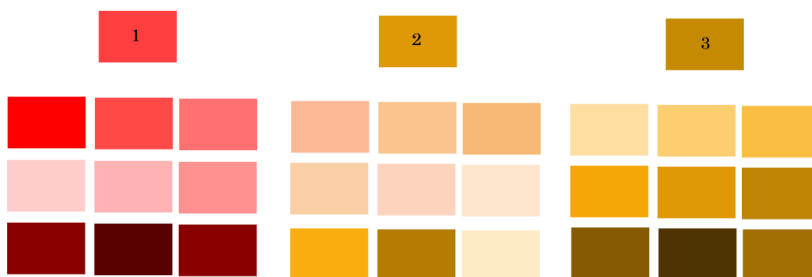


Рис. 4. Варианты оттенков базовых цветов, наиболее характерных для г. Перми

Созданное авторами в системе «ЭЙДОС-X++» приложение «Интеллектуальный спектральный анализ изображений фасадов жилых многоквартирных домов» позволяет распознать фотографию или рендер-изображение фасада и понять, к какому городу принадлежит тот или иной жилой комплекс. Так, в качестве эксперимента были взяты 15 рендер-изображений строящих-

¹ Луценко Е.В. Видеозапись практического занятия по работе с системой «ЭЙДОС-X++» (3 ч 22 мин) 22 марта 2021. – [занятие: АСК-анализ изображений] изображение (движущееся). Устная речь: электронный // Интеллектуальный анализ данных с помощью системно-когнитивного анализа / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т. – Пермь, 2021. – 3 ч. 22. мин. – URL: <https://bbb-scalelite.pstu.ru/playback/presentation/2.0/playback.html?meetingId=64f5ac552bcf71f95abacd5cbac66fb8a2171e72-1616417842277> (дата обращения: 31.03.2021). – Дата публикации: 23.03.2021. – Режим доступа: ПНИПУ // BigBlueButton, свободный.

ся в Перми жилых комплексов, которые не участвовали в исходном обучении приложения. Это были жилые дома, расположенные в центре и районах, прилегающих к центру: ЖК «Bravo», ЖК «Квартал Премьер», ЖК «Брауни», ЖК «Комфортный дом “Скандинавия”» и ЖК «Символ» от ГК ПМД; ЖК «Витражи» и ЖК «Камские огни 2» от СГ «Развитие»; ЖК «Сага» от ООО «СЗ ЖБК-Инвест»; ЖК «Самолёт» от АО «ПЗСП»; Полосатый дом от ГК «Оникс»; ЖК «Ньютон» от ООО «УралДомСтрой»; дом по улице Екатерининская, 27 от «Орсо-групп»; ЖК «Atrium Park» от «ИнГрупп»; ЖК «Семейный квартал» от «Талан»; ЖК «Морион Смарт Сити» от ООО PAN City Group.

В результате распознавания изображений упомянутых жилых комплексов система, во-первых, сама определила, что все распознаваемые дома – новостройки², во-вторых, все комплексы схожи с Пермью, из них 13 идентифицированы именно как пермские, а два жилых комплекса оказались больше похожими на другие города. Так, например, ЖК «Самолёт» (рис. 5, а) от «ПЗСП» похож на Екатеринбург (сходство 59,72 %), а Комфортный дом «Скандинавия» (рис. 5, б) от группы компаний «ПМД» по критерию «Семантический резонанс знаний» распознается (рис. 6) похожим в первую очередь на Омск (сходство 39,87 %), затем Екатеринбург (сходство 37,67 %) и чуть меньше на Пермь (сходство 35,75 %).

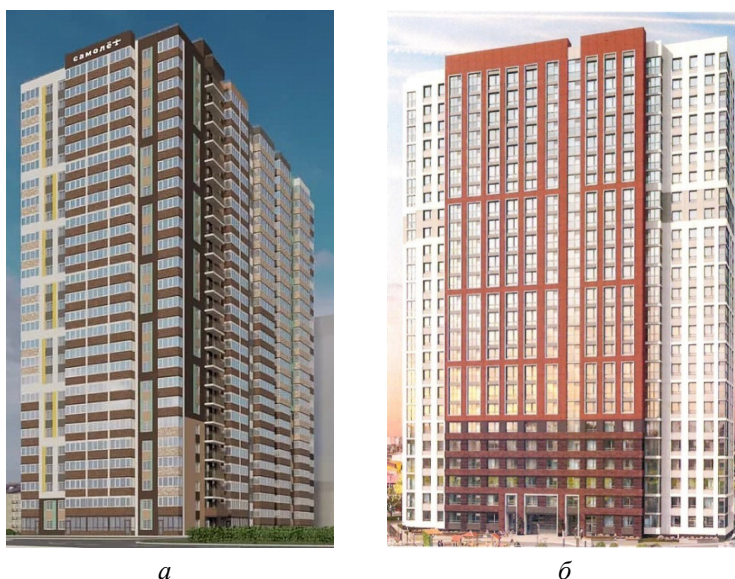


Рис. 5. Визуализация фасадов зданий: а – ЖК «Самолёт»; б – ЖК «Комфортный дом “Скандинавия”»

² При вводе распознаваемых объектов фактически был добавлен новый класс «новостройка», так как распознаваемые объекты кодировались «novostroyka_001», «novostroyka_002», «novostroyka_003» и т.д.

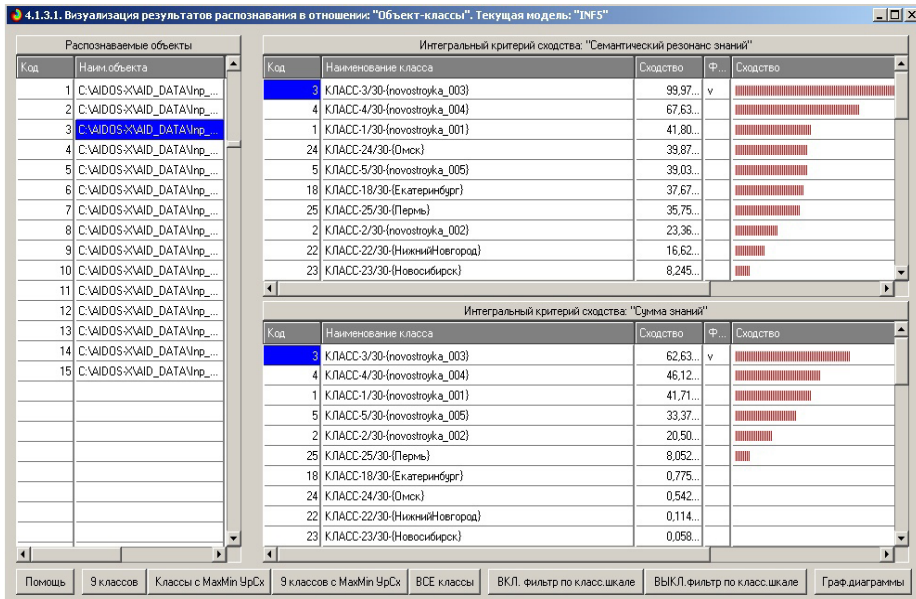


Рис. 6. Результаты распознавания изображения главного фасада ЖК «Комфортный дом “Скандинавия”»

В соответствии с поставленными задачами настоящего исследования покажем не только возможности по распознаванию изображений, но и возможности поддержки принятия решений для архитекторов и специалистов смежных специальностей.

С опорой на цветовой круг Иттена (рис. 7) были выбраны сочетающиеся друг с другом варианты комбинаций из 2–3 оттенков каждого базового цвета (см. рис. 4). Стоит отметить, что по правилам комбинаторики число сочетаний из n вариантов по k определяется по выражению $n!/k!(n-k)!$. Тогда из 27 оттенков, представленных на рисунке выше (см. рис. 4), по двум цветам теоретически существует 351 сочетание, а по трем цветам – 2 925 сочетаний. Именно использование цветового круга Иттена (см. рис. 7) и специального приложения Adobe color [19] позволило целенаправленно сузить множество теоретически возможных сочетаний.

Созданные сочетания были загружены в прикладное Эйдос-приложение для определения характерного города, в результате чего из всех загруженных вариантов были найдены три сочетания (рис. 8), которые оказались на 100 % характерными для г. Перми.

Определившись с вариантами сочетаний цветов, удалось подобрать необходимое количество того или иного цвета для фасада и разработать варианты дизайна главного фасада, которые уже на 100 % распознавались как аутентично пермские.



Рис. 7. Цветовой круг по Иттену [18]

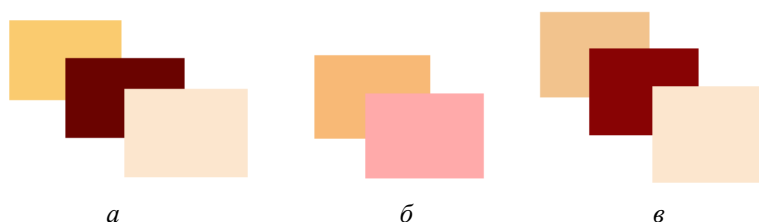


Рис. 8. Три сочетания оттенков цветов, характерных для г. Перми

Ниже (рис. 9) представлено несколько вариантов дизайна фасада ЖК «Комфортный дом «Скандинавия»», где использовались найденные три сочетания (см. рис. 8). Естественно, что цветовое оформление фасада не ограничено только этими тремя вариантами, представленные варианты являются лишь демонстрацией возможностей нахождения рекомендаций при разработке цветового оформления фасада здания.



Рис. 9. Альтернативные варианты дизайна фасада ЖК «Комфортный дом «Скандинавия»» (буквенные номера используемых цветов в рис. 8 и 9 совпадают)

Стоит отметить, что авторы не считают предложенные варианты оформления главного фасада (см. рис. 9) лучше или хуже исходного (см. рис. 5, б), поскольку такой задачи не стояло. Текущая версия Эйдос-приложения способна учитывать выявленные закономерности только для 15 исследованных городов.

Выводы. В результате выполненного исследования обе выдвинутые гипотезы были подтверждены: на основе анализа собранных изображений обнаружены спектральные цвета и их сочетания, характерные для каждого крупного российского города (см. рис. 3); эти цвета удалось обнаружить с помощью универсальной когнитивной аналитической системы «ЭЙДОС-Х++», которую можно относить к платформам разработки систем искусственного интеллекта и машинного обучения.

В будущем авторами планируется расширить обучающую выборку, во-первых, включив в нее как новые изображения зданий 15 исследованных городов, так и изображения других российских городов, во-вторых, планируется дополнительно собрать выборку изображения зарубежных зданий. Помимо расширения самих изображений, планируется детализировать информацию об объектах в выборке с целью проведения разносторонних исследований. Например, добавив климатические сведения, можно будет исследовать, какие цвета и сочетания характерны для северных или южных широт; добавив сведения о времени постройки объектов, – какие цвета и сочетания характерны для исторических периодов; добавив сведения об архитекторах, – какие цвета и сочетания характерны для архитектурных школ и т.п.

Сегодня технологии искусственного интеллекта и машинного обучения уже применяются для оптимизации объемно-планировочных решений [1; 2], инженерных систем зданий на этапе проектирования зданий, а на этапе эксплуатации смарт-технологии, называемые «умный дом», применяются для обеспечения безопасных и комфортных условий проживания. Предлагаемое авторами решение также основано на технологиях интеллектуального анализа оцифрованных данных, но систем поддержки принятия решений для цветового оформления фасадов зданий в России и в мире еще не было, что определяет новизну полученных результатов.

В заключение необходимо также отметить, что в творческом процессе поиска цветового оформления зданий человека не заменить, поэтому созданное авторами Эйдос-приложение «Интеллектуальный спектральный анализ изображений фасадов жилых многоквартирных домов» следует воспринимать исключительно как рекомендательную систему или систему поддержки принятия решений. Разработанное решение может упростить и снизить объем работы, что с экономической стороны очень важно для за-

казчиков архитектурных проектов, то есть создаваемое решение может стать цифровым помощником для архитекторов, дизайнеров, девелоперов и других специалистов, работающих в области дизайна городской среды.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю признательность и благодарность за помощь и консультации в ходе выполнения настоящего исследования профессору Евгению Вениаминовичу Луценко из ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, являющемуся автором и разработчиком универсальной когнитивно-аналитической системы «ЭЙДОС-Х++», использованной авторами в качестве платформы для создания прикладного Эйдос-приложения «Интеллектуальный спектральный анализ изображений фасадов жилых многоквартирных домов».

Библиографический список

1. Finch: сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://finch3d.com/> (дата обращения: 12.08.2021).
2. Higharc: сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://higharc.com/> (дата обращения: 12.08.2021).
3. Architecture et intelligence artificielle: premiers plans [Электронный ресурс] / Le Figaro. – URL: <https://www.lefigaro.fr/culture/architecture-et-intelligence-artificielle-premiers-plans-20200421> (дата обращения: 12.08.2021).
4. Алексеева И.Е., Болотова О.Ю. Поиск закономерностей в цветовых решениях фасадов многоквартирных домов с помощью автоматизированной обработки изображений фасадов зданий, расположенных в разных городах и странах // Современные строительные технологии. Теория и практика. – 2021. – Т. 1. – С. 113–117 [в печати].
5. Ефимов А.В. Колористика города. – М.: Стройиздат, 1990. – 272 с.
6. Виноградов Я.П. Цветовое моделирование архитектурного пространства: дис. ... канд. архитектуры: 18.00.01 / Виноградов Якуб Петрович. – М., 1983. – 191 с.
7. Грибер Ю.А. Цветовое поле города в истории европейской культуры. – М.: Согласие, 2017. – 304 с.
8. Волкова Н.Ю. Формирование цвето-композиционных решений фасадов жилых домов и комплексов: автореф. дис. ... канд. архитектуры: 18.00.02 / Волкова Надежда Юрьевна. – М., 2009. – 26 с.
9. Ситникова Н.В. Колористика как основа формообразования в архитектуре: на примере работ мастеров XX века: дис. ... канд. искусствоведения: 17.00.04 / Ситникова Наталья Викторовна. – Барнаул, 2010. – 231 с.
10. Ефимов А.А., Панова Н.Г. Из опыта проектирования колористики исторических городов // Architecture and Modern Information Technologies = Архитектура и современные информационные технологии. – 2016. – № 4 (37). – С. 250–265.
11. Михайловский Е.В. Методика реставрации памятников архитектуры. – М.: Стройиздат, 1977. – 168 с.
12. Трегуб Н.Е. Цветовая коррекция в архитектурном формообразовании: автореф. дис. ... канд. архитектуры: 18.00.01 / Трегуб Наталья Евгеньевна. – Киев, 1993. – 23 с.
13. Петунина И.С. Теоретические основы исследования колористических особенностей архитектуры г. Екатеринбурга. [Электронный ресурс]. – URL: http://book.uraic.ru/project/conf/txt/005/archvuz22_pril/16/template_article-ar=K21-40-k23.htm (дата обращения: 02.05.2021).
14. Сергеева А.А., Кузнецов Н.В. Принципы колористической организации исторической части города // Творчество и современность. – 2017. – № 2 (3). – URL: <http://www.nsktvs.ru/node/83> (дата обращения: 28.10.2020).

15. Универсальная когнитивная аналитическая система «ЭЙДОС-Х++» (Система «ЭЙДОС-Х++»): свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Луценко Е.В. – № 2012619610; заявл. № 2012617579; поступ. 10.09.2012; опубли. 24.10.2012. Бюл. № 10. – 1 с.
16. Виртуальный on-line Центр системно-когнитивных исследований «Эйдос»: сайт / Луценко Евгений Вениаминович. – URL: <http://lc.kubagro.ru/> (дата обращения: 27.08.2020).
17. Обучающий датасет. – URL: <https://disk.yandex.ru/d/xW0v7j10nhc3hg> (дата обращения: 09.04.2021).
18. Иттен И. Искусство цвета [Электронный ресурс]. – URL: http://linterum.ru/wp-content/uploads/2017/02/Iokhannes_Ippen_Iskusstvo_tsveta.pdf (дата обращения: 12.05.2021).
19. Adobe color: сайт [Электронный ресурс] / Adobe Inc.: 345 Park Avenue, San Jose, California (USA) 95110-2704. – URL: <https://color.adobe.com/ru/create/color-wheel> (дата обращения: 12.05.2021).

References

1. Finch. Available at: <https://finch3d.com/> (accessed 12 August 2021).
2. Higharc. Available at: <https://higharc.com/> (accessed 12 August 2021).
3. Architecture et intelligence artificielle: premiers plans [Электронный ресурс] / Le Figaro. Available at: <https://www.lefigaro.fr/culture/architecture-et-intelligence-artificielle-premiers-plans-20200421> (accessed 12 August 2021).
4. Alekseeva I.E., Bolotova O.Yu. Poisk zakonornosti v tsvetovykh resheniakh fasadov mnogokvartirnykh domov s pomoshch'yu avtomatizirovannoi obrabotki izobrazhenii fasadov zdaniy, raspologhenykh v raznykh gorodakh i stranakh [Search of the color patterns in residential apartment buildings facades using automated images processing of building facades located in different cities and countries]. *Sovremennye stroitel'nye tekhnologii. Teoriya i praktika*, 2021, vol. 1, pp. 113–117 [in press].
5. Efimov A.V. Koloristika goroda [Coloristics of the city]. Moscow, Stroizdat, 1990, 272 p.
6. Vinogradov Ia.P. Tsvetovoe modelirovanie arkhitekturnogo prostranstva [Color modeling of architectural space]. Ph.D. thesis. Moscow, 1983, 191 p.
7. Griber Iu.A. Tsvetovoe pole goroda v istorii evropeiskoi kul'tury [City color field in the history of European culture.]. Moscow, Soglasie, 2017, 304 p.
8. Volkova N.Iu. Formirovanie tsveto-kompozitsionnykh reshenii fasadov zhilykh domov i kompleksov [Formation of color-compositional solutions for the facades of residential buildings and complexes]. Abstract of Ph.D. thesis. Moscow, 2009, 26 p.
9. Sitnikova, N.V. Koloristika kak osnova formoobrazovaniia v arkhitekture [Coloristics as the basis of shaping in architecture]. Ph.D. thesis, Barnaul, 2010, 231 p.
10. Efimov A.A., Panova N.G. Iz opyta proektirovaniia koloristiki istoricheskikh gorodov [the experience of coloristic design in historical cities]. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2016, no. 4 (37), pp. 250–265.
11. Mikhailovskii E.V. Metodika restavratsii pamiatnikov arkhitektury [Methods of restoration of architectural monuments]. Moscow, Stroizdat, 1977, 168 p.
12. Tregub N.E. Tsvetovaia korrektsiia v arkhitekturnom formoobrazovanii [Color correction in architectural shaping]. Abstract of Ph.D. thesis. Kiev, 1993, 23 p.
13. Petunina I.S. Teoreticheskie osnovy issledovaniia koloristicheskikh osobennosti arkhitektury g. Ekaterinburga [Theoretical foundations of the study of the coloristic features of the architecture of Yekaterinburg]. Available at: http://book.uraic.ru/project/conf/txt/005/archvuz22_prii/16/template_article-ar=K21-40-k23.htm (accessed 12 May 2021).
14. Sergeeva A.A., Kuznetsov N.V. Printsipy koloristicheskoi organizatsii istoricheskoi chasti goroda [Principles of the coloristic organization of the historical part of the city]. *Tvorchestvo i sovremennost'*, 2017, no. 2 (3). Available at: <http://www.nsktvs.ru/node/83> (accessed 28 November 2020).
15. Lutsenko E.V. Universal'naiia kognitivnaia analiticheskaiia sistema «EIDOS-Kh++» (Sistema «EIDOS-Kh++») [Universal cognitive analytical system "EIDOS-X++" (System "EIDOS-X++")]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM Rossiiskaiia Federatsiia No. 2012619610
16. Virtual'nyi on-line Tsentr sistemno-kognitivnykh issledovaniy "Eidos" [Virtual on-line Center for System-Cognitive Research "Eidos"]. Available at: <http://lc.kubagro.ru/> (accessed 09 April 2021).
17. Learning Dataset. Available at: <https://disk.yandex.ru/d/xW0v7j10nhc3hg> (accessed 09 April 2021).

18. Itten I. *Iskusstvo tsveta* [The Art of Color]. Available at: http://lnteam.ru/wp-content/uploads/2017/02/Iokhannes_Ippen_Iskusstvo_tsveta.pdf (accessed 12 May 2021).

19. Adobe color. Available at: <https://color.adobe.com/ru/create/color-wheel> (accessed 12 May 2021).

Получено 24.08.2021

I. Alekseeva, O. Bolotova

RESEARCH OF COLOR FEATURES OF RESIDENTIAL APARTMENT HOUSES USING INTELLIGENT TECHNOLOGIES OF DATA ANALYSIS

Regularities of color design of capital construction objects are investigated using intelligent technologies for analyzing digital images. Images of the facades of buildings of apartment buildings in 15 Russian cities with a population of over one million inhabitants were collected as input data in the Google Maps service. The research was carried out using the universal cognitive-analytical system "EIDOS-X ++", using three statistical and seven information models based on the methods of information theory. After machine learning the EIDOS-X ++ system using digital images of buildings, which were marked with the names of cities, an intellectual analysis of digital data was carried out. The analysis revealed colors typical of the largest Russian cities. During this research the applied Eidos-application "Intellectual spectral analysis of images of facades of residential apartment buildings" was developed. This application can be used to audit draft designs and study urban spaces.

As the results, the spectral colors and their shades characteristic of the Perm city are given, as well as what combinations of them are the most relevant for Perm. The experimental part shows the facades of two residential apartment houses currently under construction in Perm, recognizable as houses characteristic of other cities, in particular Omsk and Yekaterinburg. For one of the houses under study, three alternative variants of facade color schemes were developed, taking into account the most relevant combinations of Permian shades.

It is worth noting that in the creative process of searching for the color design of buildings, a person cannot be replaced. Therefore the Eidos application created by the authors should be perceived exclusively as a recommendation system. The developed application can simplify and reduce the amount of work for architects, designers and related specialists. In the conclusion, promising directions for the development of this technology are given.

Keywords: capital construction object, residential apartment houses, architecture, design, building facades, spectral colors, information technology, intelligent technologies.

Алексеева Ирина Евгеньевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры строительного инжиниринга и материаловедения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Россия, 614990, Пермь, Комсомольский проспект, 29, e-mail: alekseeva@cems.pstu.ru).

Болотова Ольга Юрьевна – студент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Россия, 614990, Пермь, Комсомольский проспект, 29, e-mail: ya.bolotova-olya2016@yandex.ru).

Irina Alekseeva – Candidate of Economical Science, Associate professor, Department of Construction Engineering and Materials Sciences, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: alekseeva@cems.pstu.ru).

Olga Bolotova – Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: ya.bolotova-olya2016@yandex.ru).