

УДК 004.832.2:004.023

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ТОРГОВЫХ ТОЧЕК ГОРОДА

*Статья поступила в редакцию 19.05.2021, в окончательном варианте – 25.05.2021.*

**Кузнецов Михаил Андреевич**, Волгоградский государственный технический университет  
Российская Федерация, 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28,  
кандидат технических наук, ORCID: 0000-0001-5044-1427, e-mail: mara122@mail.ru

**Кравченя Павел Дмитриевич**, Волгоградский государственный технический университет  
Российская Федерация, 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28,  
кандидат физико-математических наук, ORCID: 0000-0002-1934-5792, e-mail: kpd\_@mail.ru

**Скринкович Виталий Сергеевич**, Волгоградский государственный технический университет  
Российская Федерация, 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28,  
магистрант, ORCID: 0000-0002-5199-7299, e-mail: witalika.f3@gmail.com

**Володченков Леонид Викторович**, Волгоградский государственный технический университет  
Российская Федерация, 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28,  
магистрант, ORCID: 0000-0002-2244-7693, e-mail: wolleo@mail.ru

В статье рассматриваются способы выбора оптимального места для расположения магазина розничной торговли с учетом множества географических факторов, влияющих на конкурентоспособность заведения. Информация для анализа извлекается из открытых геоинформационных систем. Описанная в статье методология предполагает сбор заданных географических данных в окружающем пространстве рядом с анализируемыми координатами. Близлежащее пространство определяется с помощью описанного в статье алгоритма. Данный алгоритм учитывает структуру дорог, расположение заборов, крупных построек, перепадов высот, ручьев и других ограничителей свободного передвижения. Извлечение информации происходит посредством запросов к API популярных картографических сервисов, таких как 2GIS, wikimapia и OpenStreetMap. Мера привлекательности торговой точки строится на основе информации о расположенных в окружающем пространстве жилых домах, наличии рядом организаций конкурентов, привлекательных городских достопримечательностей, а также проходящих рядом дорог и маршрутов общественного транспорта. Благодаря открытым финансовым источникам собранные данные дополняются информацией о денежных оборотах найденных организаций конкурентов. Производится обобщенная оценка привлекательности рассматриваемых торговых площадок и на основании комплексного расчета делается вывод о доминирующих вариантах. Для доминантного анализа используется методы ELECTRE.

**Ключевые слова:** СППР, ГИС, тепловая карта, ЛПП

## USING A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS FOR ANALYZING THE ATTRACTIVENESS OF URBAN TRADE LOCATION

*The article was received by the editorial board on 19.05.2021, in the final version – 25.05.2021.*

**Kuznetsov Mikhail A.**, Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005,  
Russian Federation,  
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID: 0000-0001-5044-1427, e-mail:  
mara122@mail.ru

**Kravchenya Pavel D.**, Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005,  
Russian Federation,  
Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Associate Professor, ORCID: 0000-0002-1934-5792, e-mail:  
kpd\_@mail.ru

**Skrinkovich Vitaliy S.**, Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005,  
Russian Federation  
undergraduate student, ORCID: 0000-0002-5199-7299, e-mail: witalika.f3@gmail.com

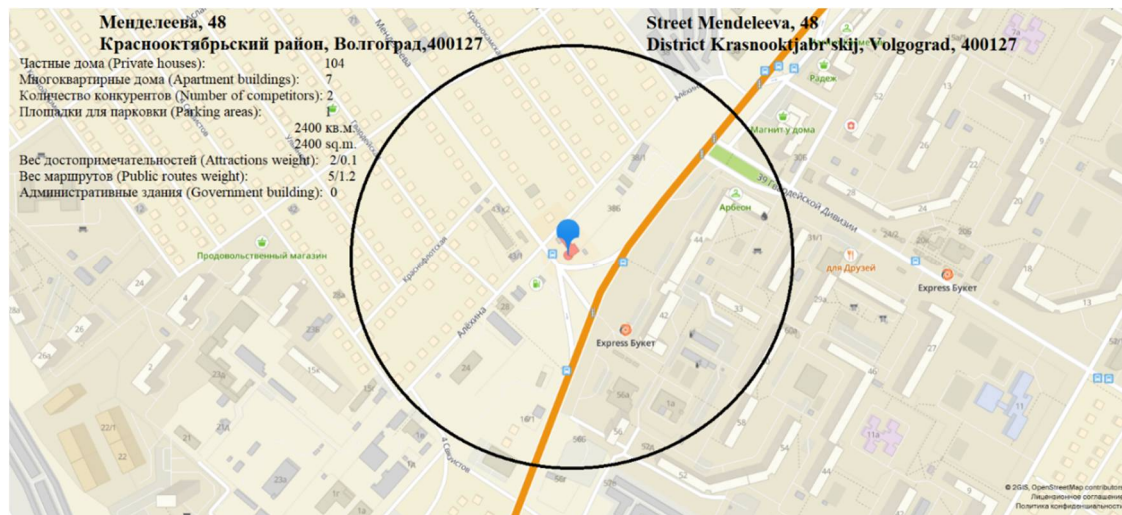
**Volodchenkov Leonid V.**, Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd,  
400005, Russian Federation,  
undergraduate student, ORCID: 0000-0002-2244-7693, e-mail: wolleo@mail.ru

The article discusses ways of choosing the optimal location for a retail store, taking into account many geographic factors that affect the competitiveness of the establishment. Information for analysis is extracted from open geographic information systems. The methodology described in the article involves the collection of specified geographic data in the surrounding space next to the analyzed coordinates. The nearby space is determined using the

algorithm described in the article. This algorithm takes into account the structure of roads, the location of fences, large buildings, elevation differences, streams and other restrictions on free movement. Information is retrieved through API requests of popular map services such as 2GIS, wikimapia, and OpenStreetMap. The attractiveness measure of a retail outlet is based on information about the residential buildings located in the surrounding space, the presence of competitors' organizations, attractive city attractions, as well as the nearby roads and public transport routes. Thanks to open financial sources, the collected data is supplemented with information on the money turnover of the found competitors' organizations. A generalized assessment of the attractiveness of the trading platforms under consideration is made and, on the basis of a comprehensive calculation, a conclusion is made about the dominant options. ELECTRE methods are used for dominant analysis.

**Keywords:** DSS, GIS, heatmap, decision maker

**Graphical annotation (Графическая аннотация)**



**Введение.** Сеть интернет обладает огромным массивом оцифрованных данных. Анализ публично доступной информации позволяет реализовывать принятие решения с низкой стоимостью получения данных для обработки. Однако основные проблемы применения систем, основанных на информации из глобальной сети, кроются в обосновании достоверности данных, а также в сложности разработки формальных моделей извлечения информации [1]. Существуют множество открытых сервисов, позволяющих существенно облегчить принятие решение или сформировать рекомендации для принятия решения. По своей сути такие информационные системы являются системами поддержки принятия решения (СППР). Популярны и массово используются такие как Яндекс Маркет, Яндекс Недвижимость, Яндекс Услуги, Циан, Авито, Юла, ДомКлик и так далее. Приведем несколько ссылок: <https://yandex.ru/all>, <https://youla.ru/>, <https://cian.ru/>, <https://www.avito.ru/rossiya/nedvizhimost>, <https://domclick.ru/>. Подобные сервисы можно классифицировать как гибрид поисковой системы и СППР. С одной стороны, поисковый модуль анализирует предложения на электронных ресурсах, фильтрует данные на основе запроса пользователя. Это особенность поисковых систем. С другой стороны, предложения ранжируются на основе выбранной модели принятия решения в зависимости от предпочтений лица принимающего решение (ЛПР). А это уже функция СППР. Модели ранжирования приведенных примеров достаточны просты. Это сортировка по ценам предложений, по отзывам или же по популярности анализируемого предложения.

Модель извлечения необходимой информации для систем СППР подразумевает четкую структуризацию запроса и ответа. Иначе сложно использовать разнородную информацию в обобщенной математической модели принятия решения. Для выборки структурированной информации требуется подсистема, которая выполнит такую предварительную обработку. С этой точки зрения на роль источников информации в первую очередь направляются специализированные поисковые системы. Большинство же современных поисковых систем ориентированы на обработку текстовой информации. Поэтому для задействования выборки данных из такой системы потребуются использование семантических, нейролингвистических и онтологических моделей обработки текстовых данных [2]. В качестве источников информации также могут служить специализированные информационные сервисы, ориентированные на определенный класс задач. Например, сервисы биржевые, метеосервисы, сервисы, связанные с массовым обслуживанием потребителей (питание, развлечение, движение транспорта) [3, 9].

Один из активно используемых для поиска систем – это класс геоинформационных систем (ГИС). ГИС имеют четкие модели представления информации, что позволяет довольно просто извлекать численную информацию для анализа.

**Постановка задачи.** Рассмотрим задачу выбора наиболее привлекательного места для открытия магазина, торгующего товарами массового потребления. На выбор места расположения магазина влияют множество факторов. Информацию о большинстве из этих факторов можно получить из геоинформационной системы в прямом или косвенном виде. Для уточнения некоторых параметров потребуются подключение дополнительных сервисов. В разрабатываемой модели принятия решения мы будем учитывать следующие критерии:

1. Учет расположенных рядом жилых домов.
2. Нахождение вблизи магазинов-конкурентов.
3. Расположение рядом административных зданий, предприятий и развлекательных центров.
4. Близкие остановки общественного транспорта.
5. Крупные автодороги рядом и возможность парковки вблизи магазина.

На качественном уровне вышеперечисленные критерии адекватно описывают привлекательность территории для открытия торговой площадки. Первый показатель позволяет косвенно оценить количество местных потенциальных покупателей. Второй – влияние конкурентов. Оба показателя можно считать базовыми для анализа локальных факторов в целях учета привлекательности месторасположения магазина. Оставшиеся три показателя будут существенными для учета привлечения покупателей издалека. Т.е. могут считаться глобальными факторами, которые зависят от структурной информации о строении города. Информацию о всех перечисленных параметрах можно получить из геоинформационных систем.

**Открытые ГИС API.** Рассмотрим следующие системы, с помощью открытых API которых доступно извлечение рассмотренной выше информации.

*2GIS API* – имеет четыре важных механизма извлечения данных. API справочника позволяет получить данные о расположенных вблизи организациях в соответствии с поисковыми параметрами. Для принятия решения такие данные имеют косвенный характер. Например, уточнение некоторых параметров конкурентов, а также выборка групп конкурентов. Вторым механизмом – API геокодинга позволяет осуществлять поиск по названию и по типу геообъектов в определенной области. Данный API является основным для поиска и анализа окружения. Третий механизм, API транспорта, позволяет осуществлять две основные задачи: получать информацию о пунктах остановок общественного транспорта (с указанием видов транспорта, проходящих через остановку), а также получать маршруты следования общественного транспорта. Последнее косвенно позволяет оценить пассажиропоток, проходящий вблизи анализируемой области. Данный API критически важен для анализа критерия № 4. Четвертый механизм – API карт позволяет работать со структурой и связями между геообъектами [4, 10].

Альтернативный *Wikimapia* также имеет четыре основных категории API, представленных в формате трех видов запросов. Запрос *Place.Getnearest* – позволяет получить данные о ближайших к выбранной точке объектах. Результат запроса предоставляет собой идентификатор, заголовок, URL, местоположение и многоугольник каждого объекта. Также в результат включается расстояние от заданной точки. Запрос *Place.Getbyarea* возвращает все объекты в заданном полигоне. Запрос *Place.Getbyid* возвращает подробную информацию об объекте. Результат имеет блок «вложение» (*attached*), позволяющий узнать об организациях, связанных с выбранным объектом. Запрос *Place.Search* возвращает основную информацию об искомым геообъектах. Данный запрос может быть использован как предварительный. Для более подробного следует использовать *Place.Getnearest* [5, 11].

*Overpass API* – еще один удобный API для получения данных о геообъектах. Это программный интерфейс используется вместе с картами *OpenStreetMap*. Элементы выбираются в соответствии с критериями поиска. Например, тип объектов, расположение, близость от заданной точки, свойства тегов или комбинация указанных критериев. *OpenStreetMap* имеет еще одно существенное преимущество – это открытое программное обеспечение. Для *OpenStreetMap* есть возможность установить программное обеспечение на своих аппаратных средствах и таким образом полностью управлять скоростью доступа к информации [6, 12, 13].

Рассмотрим принципы извлечения данных из ГИС и методы вычисления показателей, которые используются для принятия решения о привлекательности той или иной городской торговой площадки.

**Оценка критерия № 1, «учет расположенных рядом жилых домов»,** реализуется путем подсчета жилых помещений в округе. Для выбора торговой точки важно учесть количество потенциальных

покупателей. Необходимо анализировать количество жителей, проживающих на расстоянии пешей прогулки от анализируемого места. Для вычисления близлежащей зоны, в которой нужно учитывать жилые дома, нужно построить ограничительную линию, разделяющую пространство на ближнюю и дальнюю зоны. Это позволит учитывать жителей внутри зоны как потенциальных покупателей, расположенных в шаговой доступности. Также близлежащая зона позволит определить наличие конкурентов, остановок общественного транспорта, парковок, а также привлекательные для потенциальных покупателей близкорасположенные объекты. Кроме того, анализ объектов лишь в близлежащей зоне существенно ограничивает количество рассматриваемых геообъектов при вычислении всех показателей. Объекты вне этой зоны считаются далекими, а потому их влиянием можно пренебречь.

**Определение близлежащей зоны** базируется на граничном условии – максимальном расстоянии анализируемых объектов от заданной точки. Оценим это расстояние в 200–300 метров. Однако близлежащую зону нельзя всегда описать как окружность. Структурные ограничения пространства: заборы, дороги, крупные постройки, реки и т. д. могут существенно уменьшить анализируемую зону. Фактически построение ограничивающей линии ведется путем вращения отрезка, закрепленного в анализируемой точке одним концом. Вычисляются расстояния до препятствий, ограничивающих радиальное перемещение пешехода по прямой от центра на заданную величину. Точки контакта отрезка с препятствиями формируют ограничивающие перемещение полигоны. Затем из этих точек контакта зона рекурсивно расширяется. Новые отрезки вращаются во всех точках контакта предыдущего отрезка с препятствиями. Длины новых отрезков вычисляются как разность длины предыдущего отрезка и расстояний до точек его контакта с препятствиями от центра вращения. Для второй итерации это будет разность первоначальной длины отрезка и расстояния от анализируемой точки до текущей точки контакта с ограничивающим полигоном. Фактически таким образом строится пространство, которое достижимо пешеходом в обход имеющихся препятствий. При этом ограничивается максимальное расстояние, которое пройдет пешеход. Близлежащая зона получается путем объединения пространств, полученных на всех итерациях.

Поясним работу алгоритма с помощью рисунка 1. На нем голубым цветом показана граница зоны пешей доступности на основании только лишь максимального расстояния от анализируемой точки. Эта граница представляет собой окружность. Уменьшение зоны с учетом ограничивающих полигонов и радиальных перемещений пешехода для первой итерации алгоритма выделено темно-синим цветом. Дороги ограничивают радиальное перемещение пешехода в двух направлениях. Однако пешеход может перейти трассу по переходу и идти далее по радиальному направлению. Переход через дорогу определяется как точка контакта радиального отрезка из анализируемого центра с дорогами (ограничивающими полигонами).

На второй итерации строится зона возможных радиальных перемещений пешехода после перехода автомобильной трассы. Радиус этой зоны ограничен разностью первоначально заданного расстояния и расстояния от анализируемой точки до перехода. Минувя переход, пешеход может изменить направление и попасть в зону, которая ограничена окружностью с центром, расположенным на переходе. Окружность на рисунке 1 показана фиолетовым цветом. На этой итерации алгоритма также ищутся ограничения на радиальные перемещения пешехода от перехода. Вычисляются новые ограничивающие полигоны.

На рисунке 1 видно, что новые полигоны являются элементами полигонов, полученных на первой итерации. Это границы городской магистрали. Так как нет новых точек пересечения нового отрезка с ограничивающими полигонами, то новых итераций алгоритма не будет. Объединением полученные на первой и второй итерации зоны. Граница объединенной зоны показана на рисунке 1 красным цветом. Это зона является близлежащей зоной с учетом ограничений городскими магистралями перемещений пешехода.

На каждой итерации при вычислении ограничений на радиальные перемещения можно пренебрегать объектами с малыми размерами, например, зданиями, газонами, дорогами местного назначения. Дополнительные расстояния на обход/переход таких препятствий считаем незначительными.

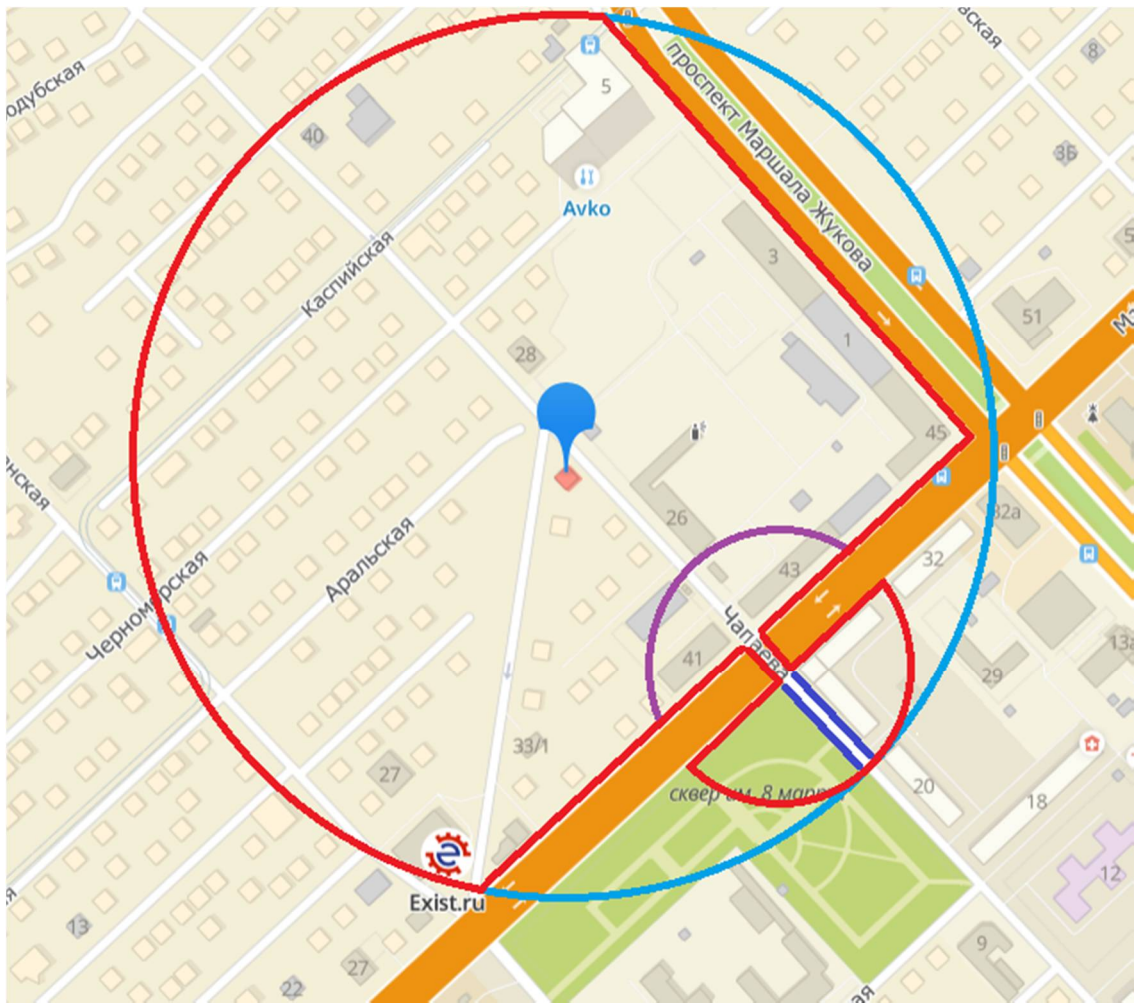


Рисунок 1 - Построение близлежащей зоны

Можно считать, что жильцы входящих в близлежащую зону домов будут являться потенциальными покупателями. Предполагаем, что количество жителей можно определить по типу, этажности и количеству подъездов жилых домов. Для частного сектора дом считаем жилищем для одной семьи, т.е. аналогом квартиры для многоквартирного дома. Дополнительное предположение о равномерной плотности заселения жилых площадей многоквартирного дома, позволяет считать количество потенциальных покупателей прямо пропорционально количеству лестничных клеток в многоквартирном доме:  $Q_{ha} = Q_e * Q_l$ , где  $Q_{ha}$  – количество лестничных клеток в доме,  $Q_e$  – количество подъездов в доме, а  $Q_l$  – количество этажей в доме. Аналогично для частных домов – количество потенциальных покупателей считаем пропорционально количеству самих домов. Оценка количества потенциальных покупателей будет линейно зависеть от суммы всех лестничных клеток в домах для многоквартирных домов и количества домов в частном секторе. Для сравнения мест с разной плотностью заселения (например, разные районы города) вводим поправочные коэффициенты, учитывающие среднее количество проживающих в одном частном доме и на одной лестничной клетке многоквартирного здания в заданном районе города. Таким образом получаем следующую формулу:

$$Q = (\sum_{H_n \in Z} (Q_e * Q_l)) * \rho_a + Q_{H_p \in Z} * \rho_p, \quad (1)$$

где  $Q$  – количество потенциальных покупателей;  $H_n \in Z$  – множество многоквартирных домов, принадлежащих близлежащей зоне;  $Q_e$  – количество подъездов в доме;  $Q_l$  – количество этажей в доме;  $\rho_a$  – поправочный коэффициент, учитывающий плотность заселения лестничных клеток многоквартирных домов в данном районе города;  $Q_{H_p \in Z}$  – количество частных домов, принадлежащих близлежащей зоне;  $\rho_p$  – поправочный коэффициент, учитывающий плотность заселения частных домов в данном районе города.

**Учет критерия № 2** – «нахождение вблизи магазинов-конкурентов» ведется также на основе открытой информации ГИС. Принцип обработки может базироваться на разных стратегиях.

**Первую стратегию** назовем «оптимистической» (или «агрессивной»). ЛПР считает, что в конкурентной борьбе магазин имеет существенное преимущество. Приход на местный геосегмент новой торговой площадки позволит переманить клиентов существующих там магазинов. Агрессивный подход предполагает следующее. Чем больше магазинов-конкурентов расположено в рассматриваемой зоне, чем количество покупателей данных магазинов больше, тем выгоднее данное место. Такое допущение обусловлено априорно гарантированной возможностью привлечения клиентуры конкурентов. Можно считать, что наличие большего числа конкурентов в близлежащей зоне является положительным фактором. Конкуренты делят рынок имеющихся покупателей, а значит при оптимистической стратегии «чужие» покупатели гарантированно перейдут в разряд покупателей новой торговой точки. Причем фактор присутствия конкурентов вблизи при оптимистической стратегии является усиливающим показателем привлекательности рассматриваемого места. Образно можно считать, что данная зона «прикормлена» потенциальными покупателями. Существование магазинов-конкурентов предполагает их прибыльность, а значит, потенциальные покупатели в этом районе превращаются в гарантированных. «Гарантированного» покупателя можно считать более выгодным, чем вычисляемого на основании критерия №1 «потенциального» покупателя. Однако точная количественная оценка посещаемости покупателями конкурентов затруднена. Невозможно из любых открытых информационных систем извлечь количество покупателей у конкурентов. Однако можно воспользоваться дополнительной финансовой информацией об объемах торговых оборотов конкурентов. Обороты косвенно свидетельствует о посещаемости магазинов. Эти данные можно получить из открытых источников. Например, извлекать из опубликованного баланса. Информация размещается в следующих открытых источниках: <https://zachestnyibiznes.ru/how-to-use>, <https://kontragent.pro/>, <https://www.list-org.com/company>, <https://www.rusprofile.ru/>, <https://sbis.ru/contragents>. Она представляет собой численные данные о финансовых особенностях конкурентов. Сравнение совокупных оборотов конкурентов из близлежащей зоны позволит сделать выводы о привлекательности той или иной потенциальной торговой площадки. Ниже приведена формула учета торговых оборотов конкурентов:

$$T = \sum_{C \in Z} T_C, \quad (2)$$

где  $T$  – совокупный оборот конкурентов из близлежащей зоны;  $C \in Z$  – магазины конкурентов из близлежащей зоны;  $T_C$  – оборот конкурента  $C$ . Чем выше этот показатель, тем привлекательнее торговая площадка с точки зрения агрессивной политики.

**Вторая стратегия** – «пессимистическая». Будем считать, что отбить клиентов у конкурентов невозможно, а значит, наличие конкурентов в зоне охвата считается отрицательным фактором, снижающим приоритетность рассматриваемого места. Конкуренты уменьшают количество потенциальных покупателей. Приоритетность места расположения торговой точки будет снижаться при увеличении объемов оборотов конкурентов, попадающих в обозначенную зону. Считаем, что формула 2, но только со знаком минус, используется в качестве показателя приоритетности площадки на основе сведений о конкурентах при пессимистической стратегии ЛПР.

**Третья стратегия** – использование модели «ленивых жителей» позволит применить принцип осмысленного поведения потенциальных покупателей. При одинаковой ценовой политике магазинов и одинаковом качестве их товаров покупатели будут выбирать наиболее близкую торговую точку, т.е. будут минимизировать свои перемещения. Следовательно, подсчет потенциальных покупателей заключается в учете жилых домов, расстояние до которых ближе, чем до магазинов конкурентов. Стратегия ленивых жителей модифицирует принцип анализа критерия № 1 – учет потенциальных покупателей. Расчет ведется на основании суммирования всех лестничных клеток многоквартирных домов, расстояние до которых меньше, чем до магазинов конкурентов. Аналогично анализируется размещение частных жилых домов. При этой стратегии фактически критерии № 1 и № 2 объединяются в один обобщенный критерий подсчета потенциальных покупателей по измененному принципу. Для расчета можно использовать формулу (1), добавив дополнительное условие фильтрации домов близлежащей зоны – учитываются только те дома, от которых расстояние до анализируемой точки ближе, чем до магазинов конкурентов. Следствием применения этой модели также является возможность произвести перерасчет объема продаж между конкурирующими в заданной зоне магазинами. Поэтому при известном объеме оборотов конкурентов, можно даже предположить о потенциальных «кусках пирога», которые достанутся от конкурентов. Эта доля будет пропорциональна количеству покупателей, которым станет ближе поход в новую торговую точку.

**Расчет критерия № 3** – «расположение рядом административных зданий, предприятий и развлекательных центров», учитывает нахождение в близлежащей зоне объектов, привлекательных для потенциальных покупателей. Это могут быть помимо указанных в названии критерия объектов

также музеи, театры, парки, детские площадки, кинотеатры, памятники и другие достопримечательности города. Чем больше таких объектов, тем выгоднее данное место для торговой точки. Для этого критерия сложно оценить привлеченных людей количественно. Подавляющее большинство ГИС не обладают подобной информацией. Однако можно экспертным способом оценить привлекательность некоторых классов подобных объектов и учитывать совокупную привлекательность всех объектов данного класса в близлежащей зоне. Например, аддитивная свертка суммирует привлекательность объектов, выполняя роль объединения интереса к разным объектам разных потенциальных покупателей. Свертка проводится по множеству представленных классов объектов в близлежащей зоне. Следующая формула учитывает «интересность» объектов в близлежащей зоне:

$$A = \sum_K \sum_{O \in K \& O \in Z} \sigma_k, \quad (3)$$

где  $A$  – совокупный коэффициент привлекательности всех объектов в зоне; первая сумма – это сумма коэффициентов по всем классам привлекающих объектов  $K$ . Вторая сумма подсчитывает коэффициенты привлекательности объектов только класса  $K$ , где  $O \in K \& O \in Z$  – объекты, принадлежащие определенному классу  $K$  (парки, зоны отдыха, кинотеатры и т. д.) и входящие в близлежащую зону;  $\sigma_k$  – экспертная оценка привлекательности объектов класса  $K$  с точки зрения потенциальных покупателей торговой площадки.

Например, для магазина сувениров такие геообъекты, как «исторические памятники» и «музеи», будут иметь высокий уровень  $\sigma_k$ . Для магазина игрушек высокое значение  $\sigma_k$  имеют объекты класса «детская площадка» и «кинотеатр». Другой вариант подсчета такой:

$$A = \sum_K Q_K * \sigma_k \quad (3a)$$

Считается сумма произведений по всем классам объектов  $K$ , где  $Q_K$  – количество в близлежащей зоне привлекательных объектов вида  $K$ , а  $\sigma_k$  – экспертная оценка привлекательности объекта вида  $K$ . Варианты расчета по формулам (3) и (3a) дают идентичные значения. Отличия кроются в порядке накопления привлекательности объектов одного класса.

**Анализ критерия № 4** – «близкие остановки общественного транспорта» проводится по принципу учета проходящих через них маршрутов общественного транспорта. Вес каждого маршрута устанавливается экспертной оценкой на основании пассажиропотока. Фактически производится аддитивная свертка по пассажиропотокам маршрутов, проходящих через близлежащие остановки.

$$P = \sum_{R \in Z} W_R, \quad (4)$$

где  $W_R$  – экспертная оценка веса пассажиропотока маршрута  $R$ ;  $R \in Z$  – маршрут проходит через остановку, принадлежащую близлежащей зоне.

**Последний критерий № 5** – «крупные автодороги рядом и возможность парковки вблизи магазина» оценивается по принципу, похожему на учет остановок (4). Наличие парковок позволяет учитывать транспортные потоки по автодорогам, смежных с ними. Чем больший транспортный поток проходит по смежной с парковкой дороге, тем привлекательнее место. Однако есть и существенное отличие от принципа учета остановок. Остановка не ограничивает потенциальную пропускную способность входящих/выходящих пассажиров. А для подсчета приезжающих на собственных автомобилях потенциальных покупателей требуется учитывать вместимость парковок (или свободные площади рядом для организации парковки). Площадь парковок в близлежащей зоне выступает как основной параметр и определяет максимальное количество обслуживаемых в единицу времени приезжих покупателей. Транспортные потоки по смежным с парковкой дорогам определяют возможность проезда большого количества людей, а значит потенциально большего количества информированных о торговой площадке. Площадь парковки фактически определяет максимальную потенциальную скорость обслуживания приезжих покупателей (краткосрочное ограничение). Чем больше парковка, тем большее количество покупателей можно обслужить за единицу времени. Транспортные потоки по смежным с парковкой дорогам показывают возможное ограничение по количеству обслуживаемых покупателей за долгий период (долгосрочное ограничение). В результате объединения краткосрочных и долгосрочных ограничений получаем следующую формулу:

$$P = \sum_{P \in Z} (S_P * (\sum_{D \in P} W_D)), \quad (5)$$

где  $P \in Z$  – парковки в близлежащей зоне;  $S_P$  – площадь парковки  $P$ ;  $\sum_{D \in P} W_D$  – сумма экспертных весов приоритетности транспортных потоков по смежным с парковкой дорогам. В формуле (5) за кадром остается важный вопрос доступности парковки. В ряде случаев парковка по факту есть, но парковочные места на ней всегда заняты. Поэтому учитывать парковки в качестве привлекательности анализируемого места можно только в случае получения контроля за ними владельцами магазина или же существовании гарантии присутствия определенного количества свободных мест. Оценка возможностей парковки производится экспертным путем.

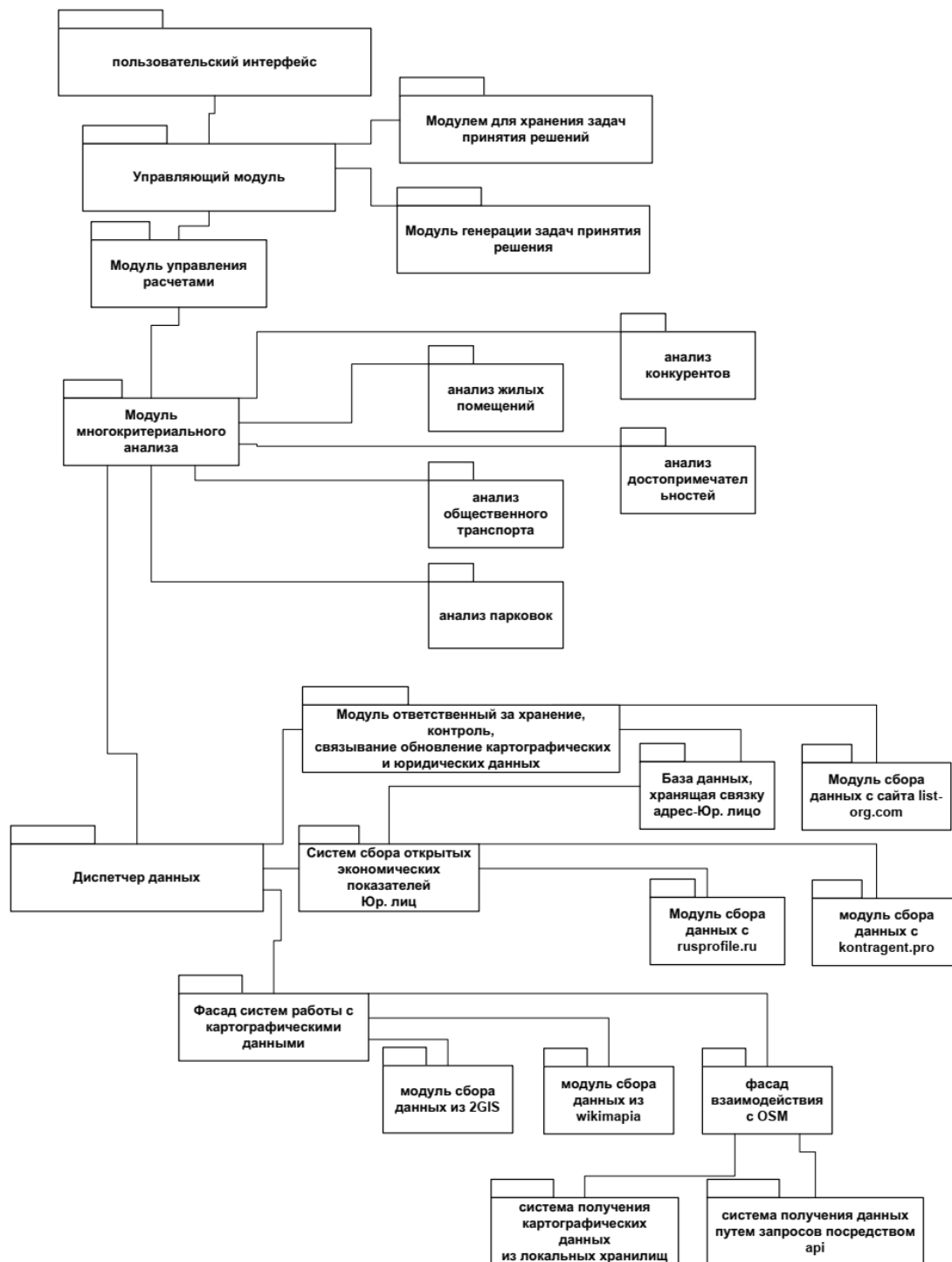


Рисунок 2 - Программная архитектура

**Многокритериальный анализ.** Таким образом, на основе ГИС, а также некоторых дополнительных информационных систем и экспертных оценках, можно автоматически вычислять пять предложенных выше показателей. Сравнение потенциальных площадок при выборе места для магазина легко выполняется по отдельным критериям. Однокритериальный выбор теоретически обоснован. Однако совокупный многокритериальный выбор затруднен из-за сложностей оценки важности критериев и их влияния друг на друга. Например, что лучше для магазина – наличие парковок или же остановок общественного транспорта вблизи? Это определяется ЛПП на основе его предпочтений исходя из специфики торговой площадки, а также выбранной стратегии.



Фактически для учета всех показателей гарантированно применяется анализ Парето-доминирования. Данный способ позволит отсеять заведомо худшие решения. Но когда строгое доминирование невозможно, нужно воспользоваться компромиссными подходами, учитывающими баланс преимуществ и недостатков по критериям. Для этого лучше всего подходят методы ELECTRE [7, 8].

**Программная архитектура.** Система на основе рассмотренной модели имеет представленную на рисунке 2 структуру программных модулей. СППР реализуется на расширяемой модульной архитектуре. За счет промежуточных абстракций, выполненных через паттерн «фасад», становится возможным использовать данные из разных источников. Это касается как информации ГИС, так и финансовых данных. Расчеты выполняются в отдельных от управления потоками информации модулях. Интерфейсы информационно-поисковых подсистем отделены от управляющего модуля. Это сделано с целью возможной замены сторонних сервисов, а также для возможного расширения способов анализа информации. Последнее может потребовать выполнения других алгоритмов запросов к сторонним системам. Также это позволяет верифицировать данные либо дополнять их информацией из новых источников.

**Порядок работы.** С позиции пользователей работа программной системы выглядит следующим образом. Формулируется задача принятия решения. Для этого вносится список координат потенциальных торговых площадок, а также дополнительные корректирующие параметры, такие как тип торговой организации (для определения конкурентов) и предпочитаемые методы расчетов. Предварительно экспертами оцениваются приоритетные веса городских маршрутов общественного пользования и транспортные потоки по основным городским магистралям. Модуль управления расчетами на основе формулировки задачи рассчитывает оценки указанных показателей для каждой внесенной позиции согласно выбранным стратегиям. Используя методы ELECTRE, определяются доминантные альтернативы. В случае получения высокого порога несравнимости коэффициенты согласия и несогласия ELECTRE ослабляются с целью выделения допустимого количества доминантных решений.

**Заключение.** Использование СППР на основе информации извлекаемой из открытых ГИС позволяет значительно снизить время и стоимость предварительного анализа альтернативных вариантов размещения торговой точки. Результат анализа представляет выборку одного или нескольких доминирующих решений для последующего утверждения ЛПР конкретного приоритетного расположения торговой площадки в городе. Алгоритмы и модели принятия решения представленной СППР возможно также использовать для упрощения генерации альтернативных решений. То есть можно также автоматически формировать оптимальные точки размещения торговых площадок в черте города. Для этого система должна равномерно (с определенной дискретностью) выделить точки для анализа внутри городской черты. Затем рассчитать привлекательность данных точек согласно приведенным в статье формулам. После интерполяции полученных значений по всему пространству города результаты расчета можно представить в виде тепловой карты (heatmap). Распределение оттенков цвета на карте обеспечивает когнитивное восприятие результатов расчета для ЛПР. Это позволяет ему сосредоточиться на поиске предложений о продаже или аренде торговых павильонов в наиболее выгодных районах города. Может быть также принято решение о строительстве торгового здания в определенном месте.

#### Библиографический список

1. Быканова, А. С. Разработка системы поддержки принятия решений на основе данных / А. С. Быканова, В. В. Соболе // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2017. – № 21–2. – С. 311–312.
2. Хортонен, А. А. Географические информационные системы как класс систем поддержки принятия решений при управлении пространственной информацией (на примере банковской сферы) / А. А. Хортонен // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. Управление, вычисл. техн. информ. – 2011. – № 1. – С. 195–199.
3. Stepniaka Cezary. Possibilities of Using GIS Technology for Dynamic Planning of Investment Processes in Cities / Cezary Stepniaka, Tomasz Turek // Procedia Computer Science. – 2020. – Vol. 176, № 2. – P. 3225–3234.
4. Будикин, А. Е. Современные тенденции, проблемы и перспективы развития географических информационных систем в России / А. Е. Будикин, Д. В. Андреев // Московский экономический журнал. – 2018. – № 5–3 –С. 16–19.
5. Marcos, M. R. Spatial Analysis to Identify Urban Areas with Higher Potential for Social Investment / Martines, Marcos & Toppa, Rogério & Ferreira, Ricardo & Cavagis, Alexandre & Kawakubo, Fernando & Morato, Rúbia // Journal of Geographic Information System. – 2017. – № 09. – P. 591–603.
6. Hossein, Aghajani. Identifying urban neighborhoods with higher potential for social investment using GIS-FIS approach / Hossein Aghajani & Ali Alizadeh-Zoeram // Applied Geomatics. – 2020. – № 13. – P. 1–13.
7. Ming-Che, Wu. The ELECTRE multicriteria analysis approach based on Atanassov's intuitionistic fuzzy sets / Ming-Che Wu, Ting-Yu Chen // Expert Systems with Applications. – 2011. – Vol. 38, № 10. – P. 12318–12327.

8. Кузнецов, М. А. Использование методов ELECTRE в задачах принятия решения / М. А. Кузнецов, Т. У. Н. Нгуен // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2010. – № 2 (10). – С. 40–46.
9. Lomakin, N. I. Spark-Based Big Data Processing: AI to Decide on Opening a SiU9 Contract Position / N. I. Lomakin, P. D. Kravchenya, M. C. Maramygin, A. B. Shokhneh // Far East Con : proceedings of the International Scientific Conference (ISCFEC 2020) / ed. by Denis B. Solovev ; Far Eastern Federal University. – [Publisher: Atlantis Press], 2020. – P. 3283–3291.
10. API 2GIS // 2gis.ru. – Режим доступа: <https://content.2gis.ru/api>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 23.04.2021).
11. Wikimapia API // wikimapia.org. – Режим доступа: <http://wikimapia.org/api/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 23.04.2021).
12. Overpass API manual // overpass-api.de. – Режим доступа: <https://dev.overpass-api.de/overpass-doc/en/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 23.04.2021).
13. Кому на Руси жить хорошо? Как мы искали самый «зеленый» город с помощью OpenStreetMap и Overpass API // habr.com [IT блог]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/520524/> свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 23.04.2021).

### References

1. Bykanova, S., Sobole, V. V. Razrabotka sistemy podderzhki prinyatiya resheniyna osnove dannykh [Development of a data-driven decision support system]. *Sibirskiy aerokosmicheskiy zhurnal* [Siberian Aerospace Journal], 2017, no. 21–2, pp. 311–112.
2. Hortonen, A. Geograficheskie informatsionnye sistemy kak klass sistem podderzhki prinyatiya resheniy pri upravlenii prostranstvennoy informatsiyey (na primere bankovskoy sfery) [Geographic information systems as a class of decision support systems for managing spatial information (on the example of the banking sector)]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta Ser. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnicheskaya informatika* [Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series. Management series, computer technology informatics], 2011, no. 1, pp. 195–199.
3. Cezary, Stepniaka, Tomasz, Turek. Possibilities of Using GIS Technology for Dynamic Planning of Investment Processes in Cities. *Procedia Computer Science*, 2020, vol. 176, no. 2, pp. 3225–3234.
4. Budikin, E. Andreev, D. V. Sovremennyye tendentsii, problemy i perspektivy razvitiya geograficheskikh informatsionnykh sistem v Rossii [Current trends, problems and prospects for the development of geographic information systems in Russia]. *Moskovskiy ekonomicheskiy zhurnal* [Moscow Economic Journal], 2018, no. 5–3, pp. 16–19.
5. Martines, Marcos & Toppa, Rogério & Ferreira, Ricardo & Cavagis, Alexandre & Kawakubo, Fernando & Morato, Rúbia. Spatial Analysis to Identify Urban Areas with Higher Potential for Social Investment. *Journal of Geographic Information System*, 2017, no. 09, pp. 591–603.
6. Hossein, Aghajani, Ali, Alizadeh-Zoeram. Identifying urban neighborhoods with higher potential for social investment using GIS-FIS approach. *Applied Geomatics*, 2020, no. 13, pp. 1–13.
7. Ming-Che, Wu, Ting-Yu, Chen. The ELECTRE multicriteria analysis approach based on Atanassov's intuitionistic fuzzy sets. *Expert Systems with Applications*, 2011, vol. 38, no. 10, pp. 12318–12327.
8. Kuznetsov, M. A., Nguen, T. U. N. Ispolzovanie metodov ELECTRE v zadachakh prinyatiya resheniy [Using ELECTRE methods in Decision Making Problems]. *Prikaspiyskiy journal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2010, no. 2 (10), pp. 40–46.
9. Lomakin, N. I. Kravchenya, P. D., Maramygin, M. C., Shokhneh, A. B. Spark-Based Big Data Processing: AI to Decide on Opening a SiU9 Contract Position. *Far East Con : proceedings of the International Scientific Conference (ISCFEC 2020)* / ed. by Denis B. Solovev, 2020, pp. 3283–3291.
10. *API 2GIS*. Available at: <https://content.2gis.ru/api> (accessed 23.04.2021).
11. *Wikimapia API*. Available at: <http://wikimapia.org/api/> (accessed 23.04.2021).
12. *Overpass API manual*. Available at: <https://dev.overpass-api.de/overpass-doc/en/> (accessed 23.04.2021).
13. Кому на Руси жить хорошо? Как мы искали самый «зеленый» город с помощью OpenStreetMap и Overpass API [Who lives well in Russia? How we searched for the greenest city using OpenStreetMap and Overpass API]. Available at: <https://habr.com/ru/post/520524/> (accessed 23.04.2021).