

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ · DIGITALIZATION AND MANAGEMENT

Вестник МИРБИС. 2026. № 2 (46)'. С. 146–157
Vestnik MIRBIS. 2026; 2 (46)': 146–157

Научная статья
УДК: 004.94:712
DOI: 10.25634/MIRBIS.2026.2.16

Границы алгоритмизации проектирования частного земельного участка

Анна Ярославовна Герасимчук^{1,2}, Дарья Владимировна Лебедева^{1,3}

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена ростом спроса на цифровые сервисы в сфере индивидуального жилищного строительства и освоения частных земельных участков, а также высокой сложностью самой предметной области, где пересекаются пространственные, инженерные, нормативные, организационные и пользовательские факторы. В связи с этим статья направлена на выявление границ алгоритмизации проектных решений при комплексном проектировании частного земельного участка. Ведущим подходом к исследованию выступает проблемно-аналитический и структурно-функциональный анализ, дополненный типологизацией ограничений и классификацией требований по степени алгоритмизируемости. В работе обосновано, что частный земельный участок следует рассматривать как единую проектную систему, в которой решения по размещению дома, инженерной инфраструктуры, хозяйственных и рекреационных зон взаимно влияют друг на друга. Выделены основные группы ограничений, воздействующих на проектирование участка: пространственные, инженерные, нормативно-правовые, пользовательские, организационные и экономические. На этой основе предложена классификация требований по степени алгоритмизируемости: полностью формализуемые, формализуемые при наличии внешних данных, частично формализуемые и требующие экспертной либо пользовательской интерпретации. Результаты исследования показывают, что полная алгоритмизация в данной сфере методологически ограничена внутренней логикой самой предметной области, включающей многослойность, контекстность и конфликтность проектных решений. Сделан вывод о том, что для цифровой поддержки раннего этапа проектирования частного участка наиболее корректным является гибридный подход, сочетающий формализованные процедуры, использование внешних данных, сценарную логику и участие человека в принятии решений.

Ключевые слова: алгоритмизация, цифровизация землеустройства, частный земельный участок, проектные ограничения, гибридный подход, индивидуальное жилищное строительство

Для цитирования: Герасимчук А. Я. Границы алгоритмизации проектирования частного земельного участка / А. Я. Герасимчук, Д. В. Лебедева. DOI: 10.25634/MIRBIS.2026.2.16 // Вестник МИРБИС. 2026; 2:146–157.

JEL: O31, O33, R14, R58

Original article

Limits of algorithmization in private land plot design

Anna Ya. Gerasimchuk^{4,5}, Daria V. Lebedeva^{4,6}

Abstract. The relevance of the study is determined by the growing demand for digital services in individual housing construction and private land development, as well as by the complexity of the subject area itself, where spatial, engineering, regulatory, organizational, and user-related factors intersect. In this regard, the article aims to identify the limits of algorithmization in design decision-making for the integrated planning of a private land plot. The study is based on a problem-oriented analytical and structural-functional approach, supplemented by a typology of constraints and a classification of requirements according to their degree of algorithmizability. The paper demonstrates that a private land plot should be considered an integrated design system in which decisions on house placement, engineering infrastructure, utility zones, and recreation areas mutually affect each other. The

1 Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН) (Москва, Россия).

2 ayaastafeva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7927-3965>

3 lena_leb-61@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4555-5707>

4 Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University) (Moscow, Russia)

5 ayaastafeva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7927-3965>

6 lena_leb-61@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4555-5707>

main groups of constraints influencing plot design are identified: spatial, engineering, legal and regulatory, user-related, organizational, and economic. On this basis, the author proposes a classification of design requirements by the degree of algorithmizability: fully formalizable requirements, requirements formalizable only with external data, partially formalizable requirements, and requirements that demand expert or user interpretation. The findings show that full algorithmization in this field is methodologically limited by the internal logic of the subject area itself, including the multilayered, context-dependent, and conflict-prone nature of design decisions. It is concluded that the most adequate model for digital support of the early design stage is a hybrid approach combining formalized procedures, external data, scenario logic, and human participation in decision-making.

Key words: algorithmization, land management digitalization, private land plot, design constraints, hybrid approach, individual housing construction

For citation: Gerasimchuk A. Ya. Limits of algorithmization in private land plot design. By A. Ya. Gerasimchuk, D. V. Lebedeva. DOI: 10.25634/MIRBIS.2026.2.16. *Vestnik MIRBIS*. 2026; 2:146–157 (in Russ.).

JEL: O31, O33, R14, R58

Введение

Цифровая трансформация сферы недвижимости, строительства и землепользования сопровождается распространением сервисов, ориентированных на самостоятельное решение пользователем сложных прикладных задач. В сегменте индивидуального жилищного строительства данный процесс проявляется особенно отчетливо: пользователь ожидает получить не только сведения об участке, но и инструменты, позволяющие перейти от данных к проектному решению.

Проектирование частного земельного участка представляет собой комплексную задачу, в которой необходимо согласовать размещение жилого дома, вспомогательных построек, инженерной инфраструктуры, подъездов, дорожек и функциональных зон в единой проектной логике. В отличие от задач, связанных с одним объектом или ограниченным набором параметров, здесь проектное решение формируется под воздействием пространственных, инженерных, нормативно-правовых, организационных и пользовательских факторов.

Существующие цифровые решения, как правило, тяготеют либо к визуальной компоновке пространства, либо к автоматизированной проверке отдельных параметров. Однако ни одна из этих моделей сама по себе не покрывает задачу согласования разнородных ограничений в единой проектной логике. Это приводит к постановке научного вопроса о пределах алгоритмизации, то есть о возможности перевода проектных требований в формализуемые правила и процедуры

цифровой обработки, а также о границах последующей автоматизации таких решений. Соответственно, возникает вопрос, в какой степени задача комплексного проектирования частного земельного участка допускает последующую автоматизацию.

В российской научной литературе цифровизация землеустройства рассматривается как интеграция геоинформационных технологий, цифрового картографирования, земельно-информационных систем и автоматизированных проектных процедур, обеспечивающих повышение качества проектных и управленческих решений [Волков 2019; Мамедов 2018; Бугаевская 2023].

Цель настоящей статьи состоит в выявлении границ алгоритмизации при комплексном проектировании частного земельного участка и в обосновании необходимости гибридного подхода к цифровой поддержке раннего этапа проектирования. Объектом исследования выступает процесс комплексного проектирования частного земельного участка. Предмет исследования составляют ограничения, коллизии и факторы, определяющие возможность формализации и цифровой обработки проектных решений в данной сфере. Научная новизна исследования состоит в рассмотрении частного земельного участка как самостоятельного системного объекта цифровизации и в разработке классификации проектных требований по степени алгоритмизируемости. Практическая значимость работы заключается в возможности использования получен-

1 © А. Я. Герасимчук, Д. В. Лебедева, Институт МИРБИС, 2026
Вестник МИРБИС, 2026, № 2(46), с. 146–157.

2 © A. Ya. Gerasimchuk, D. V. Lebedeva, Institute MIRBIS, 2026
Vestnik MIRBIS, 2026, # 2(46), pp. 146–157

ных результатов при проектировании цифровых конструкторов и сервисов сопровождения в сфере индивидуального жилищного строительства.

Обзор литературы

Проблематика алгоритмизации проектных решений формируется на пересечении нескольких исследовательских направлений: автоматизированной нормативной проверки [Eastman 2009; Solihin & Eastman 2015; Amor & Dimyadi 2020], BIM-моделирования и цифровой проверки строительных требований [Ma 2024; Yang 2024], семантического описания объектов [Rasmussen 2020], цифровых двойников территорий [Ferré-Bigorra 2022; Xia 2022; Lehtola 2022] и цифровизации землеустройства [Волков 2019; Мамедов 2018; Бугаевская 2023]. В этих направлениях накоплен значительный материал, позволяющий определить, какие требования поддаются формализации и машинной обработке. Вместе с тем применительно к задаче комплексного проектирования частного земельного участка существующая исследовательская база остается фрагментарной, поскольку преимущественно ориентирована либо на здания, либо на более крупные территориальные системы.

Одним из наиболее разработанных направлений является automated compliance checking, то есть автоматизированная проверка проектных решений на соответствие формализованным нормам и правилам [Eastman 2009; Amor & Dimyadi 2020]. Классические исследования в этой области показывают, что правило-ориентированная проверка наиболее эффективна тогда, когда требования могут быть выражены в виде однозначных параметров и логических условий. Дальнейшее развитие данного подхода связано с классификацией правил для автоматизированной проверки BIM-моделей и с выводом о том, что успешность алгоритмизации зависит от структуры самого правила, полноты исходных данных и степени формализуемости объекта проверки [Solihin & Eastman 2015].

В отечественных исследованиях цифровизация землеустройства рассматривается как переход к более тесной интеграции пространственных данных, геоинформационных систем и автоматизированных процедур проектирования [Волков 2019; Бугаевская 2023]. Вместе с тем даже в этих работах основной акцент делается либо на инфраструктуре данных, либо на общих под-

ходах к автоматизации, тогда как вопрос о распределении проектных требований по степени алгоритмируемости применительно к частному земельному участку остается недостаточно разработанным [Папаскири 2015; Мамедов 2018].

Важный вклад в осмысление данной проблематики внесли работы, рассматривающие автоматизированную нормативную проверку в более широком контексте [Eastman 2009; Amor & Dimyadi 2020]. Они демонстрируют, что даже высокая степень цифровизации проектной информации не устраняет полностью проблему интерпретации, поскольку часть требований зависит от контекста применения, полноты модели и особенностей перевода текстовой нормы в машинно-исполняемое правило. Это особенно значимо для настоящего исследования, поскольку они позволяют рассматривать алгоритмизацию не как автономную техническую процедуру, а как функцию внутренней структуры самой предметной области.

Важное место в литературе занимают работы по семантическому и онтологическому описанию объектов [Rasmussen 2020]. Они обеспечивают основу для машиночитаемого представления пространственной среды, однако их применимость к частному земельному участку ограничена спецификой объекта проектирования. В данном случае проектирование связано не только со зданием, но и с открытой территорией, изменяемым набором функциональных зон, внешним инженерным окружением и различными пользовательскими сценариями. Следовательно, проблема состоит уже не просто в формальном описании объектов, а в определении того, какие именно проектные требования могут быть алгоритмизованы полностью, какие — частично, а какие сохраняют зависимость от интерпретации.

Современные исследования, посвященные автоматизации проверки BIM-моделей на основе онтологий, языковых моделей и гибридных цифровых инструментов, показывают, что автоматическая трансформация нормативной информации и сопоставление ее с цифровой моделью становятся все более технологически реализуемыми [Ma 2024; Yang 2024]. Однако и в этих работах объект анализа, как правило, остается относительно структурированным: речь идет о здании, его элементах или о формализуемом наборе строительных требований. Для частного зе-

мельного участка этого недостаточно, поскольку здесь проектные решения определяются не только формально заданными правилами, но и сочетанием пространственных, инфраструктурных, пользовательских и организационных факторов.

Третье направление связано с исследованиями цифровых двойников и цифровых моделей территорий [Ferré-Bigorra 2022; Xia 2022; Lehtola 2022]. Эти работы важны тем, что демонстрируют переход от моделирования отдельного объекта к моделированию более сложных территориальных систем. Вместе с тем основной фокус здесь направлен на уровень города, района или крупной инфраструктуры. Частный земельный участок, напротив, представляет собой систему микромасштаба, отличающуюся высокой вариативностью, в которой существенное значение имеют не только геоданные, но и конкретные пользовательские сценарии, этапность освоения территории и коллизии между несколькими типами ограничений. Поэтому концепция цифрового двойника может служить важным теоретическим ориентиром, но сама по себе не решает задачу проектирования частного участка.

Отдельное направление исследований связано с цифровизацией землеустройства, использованием кадастровых данных и достоверностью пространственной информации [Волков 2019; Мамедов 2018; Cienciala 2021]. Эти работы показывают, что даже формально структурированные данные могут быть неполными, неактуальными или недостаточно точными, что снижает надежность принимаемых на их основе решений. Для настоящей статьи это особенно важно, поскольку часть проектных требований применительно к частному участку может быть обработана только при наличии качественных внешних данных о границах, режиме использования территории, инженерном контексте и действующих ограничениях участка.

Таким образом, существующие исследования показывают высокий потенциал алгоритмизации в задачах, где объект имеет устойчивую структуру, а требования могут быть выражены через явные параметры и правила. Однако частный земельный участок представляет собой более сложную проектную среду, поскольку реализация индивидуального набора объектов здесь определяется совокупностью пространственных, инженерных, нормативных, организационных

и экономических условий. Поэтому ключевым вопросом становится не разработка отдельного цифрового инструмента, а определение границ алгоритмизации самой предметной области. Этот аспект и составляет основной фокус настоящего исследования.

Методологические основы исследования

Настоящее исследование имеет теоретико-методологический характер и ориентировано на выявление границ алгоритмизации при комплексном проектировании частного земельного участка. В отличие от прикладных работ, ориентированных на разработку конкретного цифрового продукта или описание отдельного программного решения, в центре внимания находится сама предметная область и ее пригодность для формализации.

Методологической основой исследования выступает проблемно-аналитический подход, позволяющий рассматривать проектирование частного земельного участка как сложную междисциплинарную задачу, возникающую на пересечении цифровизации, землеустройства, проектной деятельности и пользовательского выбора. Использование данного подхода позволило сосредоточить внимание не на технических характеристиках отдельных инструментов, а на внутренних свойствах самой проектной ситуации, определяющих возможности и пределы ее алгоритмизации.

Исследовательская процедура включала три последовательных этапа. На первом этапе были выделены основные типы ограничений, действующих в задаче проектирования частного земельного участка. На втором этапе эти ограничения были сопоставлены с критериями алгоритмизируемости, включающими степень параметризуемости, зависимость от внешних данных, контекстность и необходимость интерпретации. На третьем этапе была сформирована классификация проектных требований и определены соответствующие режимы цифровой поддержки — от автоматической проверки до сценарного сопровождения и участия человека в принятии решения.

Для раскрытия структуры рассматриваемой предметной области применен структурно-функциональный анализ. Его использование дало возможность рассмотреть частный земельный участок не как совокупность разрознен-

ных объектов, а как единую проектную систему, включающую пространственные, инженерные, нормативно-правовые, пользовательские, организационные и экономические компоненты. Такой подход позволил выявить внутренние связи между элементами проектной ситуации и показать, что решения по размещению дома, инженерной инфраструктуры, хозяйственных и рекреационных зон не могут приниматься изолированно друг от друга.

Важную роль в исследовании сыграла типологизация ограничений, воздействующих на проектирование частного земельного участка. На основе анализа предметной области были выделены основные группы ограничений: пространственные, инженерные, нормативно-правовые, пользовательские, организационные и экономические. Данная процедура позволила перейти от описания частных проектных случаев к более общему теоретическому уровню и показать, что ограничения в рассматриваемой сфере неоднородны по происхождению, логике действия, источникам данных и степени пригодности для формализации.

Ключевым аналитическим инструментом исследования стала классификация проектных требований по степени алгоритмизируемости. Для отнесения требований к той или иной группе использовались следующие критерии: возможность однозначного параметрического описания, доступность и полнота исходных данных, зависимость от внешнего контекста, необходимость экспертной или пользовательской интерпретации, а также наличие нескольких допустимых, но конкурирующих между собой сценариев решения. Применение этих критериев позволило выделить четыре группы требований: полностью формализуемые; формализуемые при наличии внешних данных; частично формализуемые; требующие экспертной либо пользовательской интерпретации.

Дополнительно в исследовании использован сравнительный анализ существующих цифровых подходов, применяемых как в зарубежных исследованиях automated compliance checking, BIM-моделирования и цифровых двойников [Eastman 2009; Solihin & Eastman 2015; Rasmussen 2020; Ferré-Bigorra 2022; Ma 2024; Yang 2024], так и в отечественных работах по цифровому землеустройству, геоинформационному обеспечению

и автоматизированному землеустроительному проектированию [Папаскири 2015; Волков 2019; Бугаевская 2023]. Это позволило сопоставить уровень формализуемости объектов, изучаемых в предшествующих работах, с особенностями частного земельного участка как объекта проектирования и показать ограниченность прямого переноса уже существующих моделей на данную предметную область.

Эмпирической базой исследования в строгом смысле данная статья не обладает, поскольку не ставит целью количественную проверку гипотезы или тестирование программного продукта. Вместе с тем исследование опирается на анализ типовых проектных ситуаций, возникающих при освоении частного земельного участка, а также на научные публикации, посвященные автоматизированной проверке, цифровому моделированию пространственной среды и достоверности кадастровых данных [Amor & Dimyadi 2020; Lehtola 2022; Cienciala 2021]. Такой характер материала соответствует задачам теоретической статьи, направленной на концептуализацию проблемы и выработку методологической рамки дальнейших исследований.

Результаты исследования

1. Частный земельный участок как системный объект цифровизации

В результате исследования установлено, что частный земельный участок должен рассматриваться как самостоятельный системный объект цифровизации. Его проектирование не сводится к размещению отдельных объектов на ограниченной территории, поскольку итоговое решение формируется на пересечении пространственных, инженерных, нормативно-правовых, организационных, экономических и пользовательских факторов. Это означает, что цифровая поддержка проектирования должна учитывать не только геометрию участка, но и взаимосвязь проектных решений внутри единой системы.

На практике пользователь проектирует не только жилой дом, но и совокупность связанных с ним объектов и зон: подъезд, парковку, пешеходные связи, инженерную инфраструктуру, хозяйственные постройки, зоны отдыха, садово-огородное пространство и иные функциональные элементы. Каждый из этих компонентов влияет на общую конфигурацию участка. Так, выбор места для дома определяет логику движения

по территории, размещение дорожек и въездной зоны; расположение инженерных объектов влияет на техническую реализуемость последующих решений; организация хозяйственной и рекреационной части участка задает сценарии использования пространства и влияет на восприятие его удобства.

Системный характер частного земельного участка как объекта проектирования может быть представлен в виде многослойной модели, где итоговое решение формируется на пересечении нескольких типов условий и ограничений.

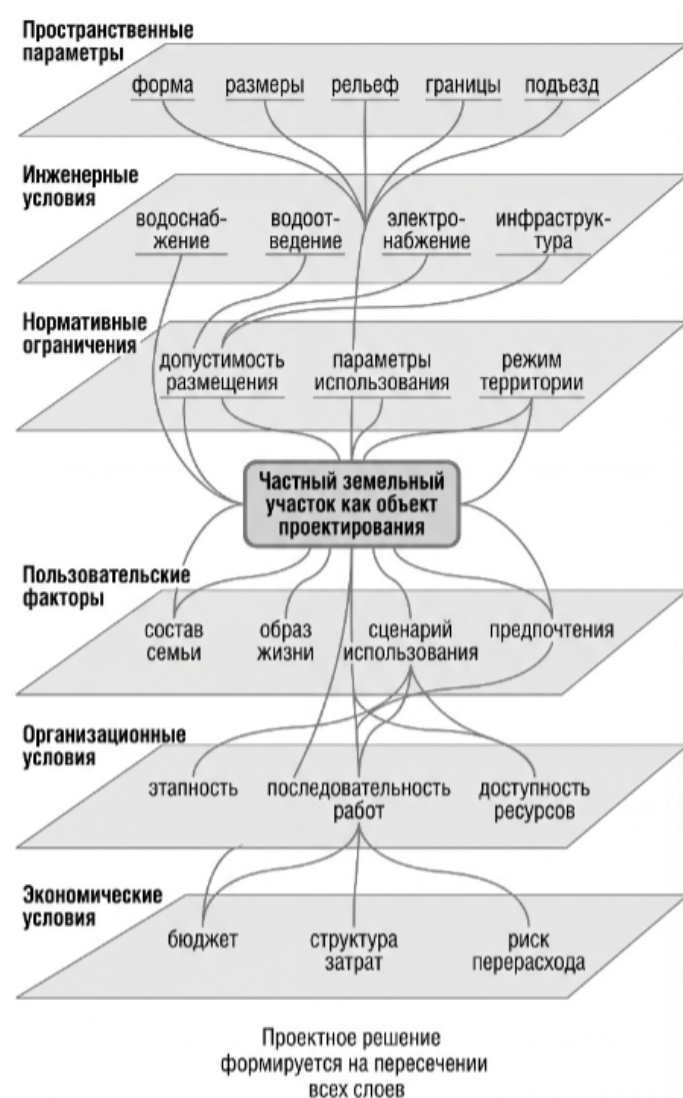


Рис. 1. Частный земельный участок как многослойный объект цифровизации

Источник: составлено авторами.

Как видно из рисунка 1, проектное решение в отношении частного земельного участка формируется не в пределах одного параметрического слоя, а в результате одновременного учета

пространственных, инженерных, нормативных, пользовательских, организационных и экономических условий. Это подтверждает, что участок рассматривается как самостоятельный системный объект цифровизации.

2. Типология ограничений при проектировании частного земельного участка

Проведенный анализ позволил выделить шесть основных групп ограничений, влияющих на проектирование частного земельного участка: пространственные, инженерные, нормативно-правовые, пользовательские, организационные и экономические. Их выделение важно не только как средство описания предметной области, но и как методологическая основа дальнейшего анализа, поскольку указанные ограничения различаются по происхождению, источникам данных, логике действия и степени пригодности для формализации.

К первой группе относятся пространственные ограничения. Они включают форму и размеры участка, конфигурацию границ, рельеф, ориентацию по сторонам света, наличие подъезда, взаимное расположение соседних объектов и иные параметры физического пространства. Пространственные ограничения в наибольшей степени поддаются параметрическому описанию, однако даже они не сводятся к простой геометрии, поскольку один и тот же набор параметров может допускать несколько планировочных сценариев.

Вторую группу образуют инженерные ограничения, связанные с водоснабжением, водоотведением, электроснабжением, дренажом, размещением сетей и технических узлов. Их специфика состоит в зависимости не только от конфигурации самого участка, но и от внешнего инфраструктурного контекста. Кроме того, инженерные ограничения часто влияют не только на допустимость решения, но и на последовательность проектных действий.

Третья группа — нормативно-правовые ограничения. Они задают рамки допустимого использования территории, регулируют параметры размещения объектов и определяют условия реализации тех или иных проектных решений. Их особенность состоит в неоднородности: часть требований может быть выражена через явные параметры, часть зависит от сочетания факторов, а часть требует интерпретации с учетом конкрет-

ной ситуации. Поэтому нормативный слой выступает одним из наиболее сложных для цифровой обработки.

Четвертая группа включает пользовательские ограничения. Они определяются составом семьи, образом жизни, бюджетом, приоритетами, темпом реализации проекта, желаемым набором функций участка и субъективным пониманием комфорта. Именно этот тип ограничений позволяет отличить формально допустимое решение от практически полезного и релевантного для конкретного пользователя.

Пятая группа — организационные ограничения, связанные с этапностью освоения участка, очередностью работ, сроками реализации и зависимостью одних мероприятий от других. Шестую группу составляют экономические ограничения, включающие общий бюджет, структуру расходов, допустимый уровень затрат и риск перерасхода.

Предложенная типология показывает, что проектирование частного земельного участка осуществляется на пересечении нескольких логик регулирования и выбора. Следовательно, уже на уровне структуры предметной области задача не может быть корректно сведена к единому набору линейных формальных правил.

3. Классификация требований по степени алгоритмизируемости

Ключевым результатом исследования стала классификация проектных требований по степени алгоритмизируемости. Она позволила перейти от общего описания сложности предметной области к разграничению тех требований, которые могут обрабатываться автоматически, тех, кото-

рые зависят от внешних данных, и тех, которые требуют сценарного или интерпретационного сопровождения.

Первая группа включает полностью формализуемые требования, допускающие однозначные параметры и проверку на основе заданных данных. В эту группу входят базовые геометрические зависимости, размеры объектов, их взаимное расположение, пересечение и соблюдение явно заданных пространственных условий.

Вторую группу образуют требования, формализация которых возможна только при наличии внешних данных. Их алгоритмизация зависит от доступности и достоверности информации о контексте участка: кадастровых сведениях, ограничениях использования территории, данных об инженерной инфраструктуре и особенностях внешней среды.

К третьей группе относятся частично формализуемые требования, для которых возможны предварительная цифровая обработка, сценарное выделение вариантов и их предварительное ранжирование, однако итоговое решение все же требует дополнительных допущений или интерпретации.

Четвертая группа включает требования, нуждающиеся в экспертной или пользовательской интерпретации. Речь идет о ситуациях, где необходимо учитывать жизненный сценарий, субъективные приоритеты, конфликт между несколькими допустимыми вариантами или сочетание разнотипных ограничений.

Таблица. Классификация требований по степени алгоритмизируемости

Группа требований	Характеристика	Возможность цифровой обработки
Полностью формализуемые	Выражаются через однозначные параметры и проверяются на основе заданных данных	Прямая автоматическая проверка
Формализуемые при наличии внешних данных	Требуют дополнительных достоверных сведений о контексте участка или внешней среде	Автоматизация возможна при наличии качественных данных
Частично формализуемые	Допускают предварительную цифровую обработку, но требуют допущений или сценарной интерпретации	Алгоритм поддерживает, но не завершает выбор
Требующие интерпретации	Зависят от контекста, пользовательских приоритетов или разрешения конфликта между альтернативами	Нужны участие человека и сценарная логика

Источник: составлено авторами.

Представленная в таблице классификация проектных требований снижает по мере роста контекстности, зависимости от внешних данных

и значимости пользовательского выбора. Следовательно, в задаче проектирования частного земельного участка не существует единого режима автоматической обработки, одинаково применимого ко всем типам требований. Выделенные группы требований по степени алгоритмизируемости могут быть представлены в виде иерархии — от полностью формализуемых условий до ситуаций, требующих интерпретации и участия человека в принятии решения.

Рисунок 2 показывает, что снижение степени алгоритмизируемости связано с переходом от однозначно параметризуемых требований к контекстно-зависимым и конфликтным ситуациям. Это подтверждает, что поддержка проектирования участка должна строиться как гибридная система, сочетающая автоматическую обработку, работу с внешними данными и интерпретационный контур.



Рис. 2. Группы проектных требований по степени алгоритмизируемости

Источник: составлено авторами.

4. Ограниченность обычного цифрового планировщика

Проведенный анализ показывает, что обычный цифровой планировщик не обеспечивает полноты поддержки, необходимой для комплексного проектирования частного земельного участка. Его функциональность ограничивается преимущественно пространственной визуализацией и предварительной компоновкой объектов. Между тем проектное решение должно быть одновременно инженерно реализуемым, норма-

тивно допустимым, экономически оправданным и функционально релевантным для конкретного пользователя. Кроме того, подобные инструменты, как правило, не различают требования по степени их формализуемости и не поддерживают в должной мере работу с внешними данными, этапностью реализации и конфликтом альтернативных сценариев. Следовательно, обычный цифровой планировщик может выполнять вспомогательную функцию, но не способен выступать полноценным инструментом комплексного сопровождения проектного выбора.

5. Необходимость гибридного подхода к цифровой поддержке проектирования

Установленные результаты позволяют обосновать гибридный подход как методологически корректную модель цифровой поддержки проектирования частного земельного участка. В рамках такой модели полностью формализуемые требования подлежат автоматической проверке, требования, зависящие от внешних данных, обрабатываются через интеграцию с соответствующими информационными источниками, частично формализуемые задачи сопровождаются сценарной логикой, а интерпретационно сложные ситуации передаются в контур пользовательского или экспертного выбора. Следовательно, гибридность в данном случае должна рассматриваться не как компромисс при недостаточной автоматизации, а как отражение объективной неоднородности самой предметной области.

Обсуждение результатов

Полученные результаты позволяют уточнить границы применимости существующих подходов к цифровизации проектирования. Если в предшествующих исследованиях наиболее успешно алгоритмизируются задачи, связанные со зданиями, BIM-моделями и формализуемыми правилами проверки [Eastman 2009; Solihin & Eastman 2015; Ма 2024], то применительно к частному земельному участку возникает существенно более сложная ситуация. Здесь объект проектирования представляет собой открытую, вариативную и контекстно-зависимую систему, в которой существенную роль играют не только параметры и правила, но и внешние данные, этапность реализации и пользовательские приоритеты.

С этой точки зрения предложенная в статье типология ограничений и классификация требований по степени алгоритмизируемости расширяют

рамку обсуждения цифровизации проектирования. Если в ряде предшествующих исследований акцент делается преимущественно на переводе нормы в правило или объекта в машиночитаемую модель [Rasmussen 2020; Yang 2024], то в настоящем исследовании внимание сосредоточено на другом вопросе: какие именно типы проектных требований вообще допускают такой перевод, а какие изначально сохраняют зависимость от контекста, внешних данных и человеческой интерпретации. Тем самым анализ переносится с уровня отдельных цифровых инструментов на уровень методологических границ самой алгоритмизации.

Принципиальное значение имеет вывод о неоднородности проектных требований. Пределы полной автоматизации в данной сфере определяются не только техническими возможностями существующих программных решений, но и самой структурой требований. Этот вывод согласуется и с отечественными исследованиями автоматизированного землеустроительного проектирования, подчеркивающими необходимость системного подхода, формализованных правил и разграничения функций между проектировщиком и вычислительной системой на разных уровнях обработки проектных задач [Папаскири 2015]. В связи с этим даже при дальнейшем развитии цифровых платформ часть проектных ситуаций сохранит интерпретационный характер, поскольку связана с выбором между альтернативными сценариями, учетом пользовательских приоритетов и разрешением конфликтов между разнотипными ограничениями.

Таким образом, участие человека в цифровом контуре проектирования определяется не только современным уровнем развития технологий, но и внутренней структурой самой задачи. Применительно к комплексному проектированию частного земельного участка *human-in-the-loop* следует рассматривать не как признак несовершенства цифровой системы, а как необходимый элемент в случаях, когда требуется сопоставление альтернативных решений, интерпретация пользовательских целей и адаптация решения к конкретному жизненному сценарию.

Полученные результаты позволяют также уточнить границы применимости обычных цифровых планировщиков. Их ограниченность состоит не в том, что они бесполезны, а в том, что

они работают преимущественно на уровне пространственной визуализации и предварительной компоновки. Между тем реальная проектная ситуация требует согласования пространственного, инженерного, нормативного, организационного, экономического и пользовательского слоев. Следовательно, обычный планировщик может быть частью цифровой экосистемы проектирования, но не способен в полной мере выполнять функцию комплексного сопровождения проектного выбора.

В прикладном отношении полученные результаты позволяют задать базовую архитектурную логику цифрового сервиса сопровождения проектирования частного участка. Такая логика предполагает выделение как минимум четырех контуров: модуля автоматической проверки формализуемых условий, слоя интеграции внешних пространственных и кадастровых данных, сценарного модуля сопоставления альтернатив и интерпретационного контура пользовательского выбора. Тем самым предложенная классификация может использоваться не только как аналитическая, но и как проектная рамка для разработки цифровых решений в сфере индивидуального жилищного строительства.

В то же время следует отметить ограничения настоящей работы. Исследование носит теоретико-методологический характер и не включает эмпирическое тестирование разработанной классификации на массиве реальных проектных кейсов. Кроме того, в статье не ставилась задача разработки конкретной программной архитектуры гибридного сервиса. Это определяет перспективы дальнейших исследований, которые могут быть связаны с проверкой предложенной классификации на типовых сценариях проектирования частных участков, с разработкой прототипа цифрового конструктора и с уточнением роли внешних пространственных и кадастровых данных в логике поддержки проектных решений.

Заключение (Выводы)

Проведенное исследование показало, что частный земельный участок представляет собой самостоятельный системный объект цифровизации, а его проектирование не сводится к размещению отдельных объектов на ограниченной территории. Итоговое проектное решение формируется на пересечении пространственных, инженерных, нормативно-правовых, организа-

ционных, экономических и пользовательских факторов, что изначально делает рассматриваемую задачу более сложной, чем простая пространственная компоновка или автоматическая проверка отдельных параметров.

В ходе исследования была предложена типология ограничений, влияющих на проектирование частного земельного участка, и разработана классификация требований по степени алгоритмизируемости. Выделены полностью формализуемые требования, требования, формализуемые при наличии внешних данных, частично формализуемые требования и требования, нуждающиеся в экспертной или пользовательской интерпретации. Это позволило установить, что задача комплексного проектирования частного земельного участка поддается лишь частичной алгоритмизации и не может быть корректно сведена к универсальной модели полной автоматизации.

Основной вывод статьи состоит в том, что наиболее обоснованной моделью цифровой поддержки в данной сфере является гибридный

подход. Он предполагает сочетание автоматической обработки формализуемых требований, использования внешних данных для уточнения контекста, сценарного сопровождения частично формализуемых задач и участия человека в интерпретации сложных ситуаций и окончательном выборе между альтернативами.

Теоретическая значимость исследования заключается в уточнении границ алгоритмизации применительно к частному земельному участку как особому объекту цифровизации. Практическая значимость состоит в возможности использования предложенной классификации при разработке цифровых конструкторов и сервисов сопровождения проектирования в сфере индивидуального жилищного строительства. Перспективы дальнейших исследований связаны с эмпирической проверкой предложенной классификации на типовых проектных сценариях и с разработкой прикладной архитектуры гибридного цифрового сервиса для поддержки раннего этапа проектирования частного участка.

Список источников

- Бугаевская, В. В. Цифровизация землеустройства на основе многофункциональной земельно-информационной системы и геоинформационных технологий: результаты инноваций и проблемы / В. В. Бугаевская, В. В. Вершинин, Д. Ю. Мартынова. DOI: 10.55186/25876740_2023_66_1_4. EDN: SHAJWE // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023; 1:4–7. ISSN: 2587-6740.
- Волков, С. Н. Цифровое землеустройство — новые горизонты АПК / С. Н. Волков, Д. А. Шаповалов. EDN: KVMZNB // Роль аграрных вузов в реализации национального проекта «Наука» и Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы : Материалы Всероссийского семинара-совещания проректоров по научной работе вузов Минсельхоза России, Саратов, 26–29 июня 2019 года. Саратов : Амирит, 2019. 140 с. С. 8–23. ISBN: 978-5-00140-278-7.
- Мамедов, И. М. Геоинформационные системы и цифровое картографирование в землеустройстве и земельном кадастре / И. М. Мамедов, Я. В. Алтанец. EDN: YXVBLV // Форум молодых ученых. 2018; 11-2:33–37. eISSN: 2500-4050.
- Папаскири Т. В. Методы формирования систем автоматизированного землеустроительного проектирования. EDN: TVSHOZ // Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2015; 2:38–44. ISSN: 2312-797X; eISSN: 2312-7988.
- Amor, R., Dimyadi, J. The promise of automated compliance checking. DOI: 10.1016/j.dibe.2020.100039 // Developments in the Built Environment. 2020; 5(1):100039.
- Ferré-Bigorra, J., Casals, M., Gangoles, M., Forcada, N. The adoption of urban digital twins. DOI: 10.1016/j.cities.2022.103905 // Cities. 2022; 131(5):103905.
- Cienciała, A., Sobolewska-Mikulska, K., Sobura, S. Credibility of the cadastral data on land use and the methodology for their verification and update. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.105204 // Land Use Policy. 2021; 102(11):105204.
- Eastman, C., Lee, J. M., Jeong, Y. S., Lee, J. K. Automatic rule-based checking of building designs. DOI: 10.1016/j.autcon.2009.07.002 // Automation in Construction. 2009; 18(8):1011–1033.
- Lehtola, V. V. et al. Digital twin of a city: Review of technology serving city needs. DOI: 10.1016/j.jag.2022.102915 // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2022; 114(01):102915.
- Ma, Z. et al. Automatic compliance checking of BIM models against quality standards based on ontology technology. DOI:10.1016/j.autcon.2024.105656 // Automation in Construction, 2024; 166(3):105656.

- Rasmussen, M. H., Lefrançois, M., Schneider, G. F., Pauwels P. BOT: The building topology ontology of the W3C linked building data group. DOI: 10.3233/SW-200385 // *Semantic Web*; 2021.
- Solihin, W., Eastman, C. Classification of rules for automated BIM rule checking development. DOI: 10.1016/j.autcon.2015.03.003 // *Automation in Construction*. 2015; 53:69–82.
- Xia, H. et al. Study on city digital twin technologies for sustainable smart city design: A review and bibliometric analysis. DOI: 10.1016/j.scs.2022.104009 // *Sustainable Cities and Society*. 2022; 84(19):104009.
- Yang, F. et al. Prompt-based automation of building code information transformation for compliance checking. DOI: 10.1016/j.autcon.2024.105817 // *Automation in Construction*. 2024;168(A):105817.

References

- Bugaevskaya, V. V. Tsifrovizatsiya zemleustroystva na osnove mnogofunktsional'noy zemel'no-informatsionnoy sistemy i geoinformatsionnykh tekhnologiy: rezul'taty innovatsiy i problemy [Digitalization of Land Management Based on a Multifunctional Land Information System and Geoinformation Technologies: Results of Innovations and Challenges]. By V. V. Bugaevskaya, V. V. Vershinin, D. Yu. DOI: 10.55186/25876740_2023_66_1_4. EDN: SHAJWE. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*. 2023; 1:4–7. ISSN: 2587-6740 (in Russ.).
- Volkov, S. N. Tsifrovoye zemleustroystvo — novyye gorizonty APK [Digital Land Management — New Horizons for the AIC]. By S. N. Volkov, D. A. Shapovalov. EDN: KVMZNB. *Rol' agrarnykh vuzov v realizatsii natsional'nogo proyekta «Nauka» i Federal'noy nauchno-tekhnicheskoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva na 2017–2025 gody* [The Role of Agricultural Universities in the Implementation of the National Project «Science» and the Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture for 2017–2025 : Proceedings of the All-Russian Seminar-Meeting of Vice-Rectors for Research of Universities of the Ministry of Agriculture of Russia], Saratov, June 26–29, 2019. Saratov : Amirit Publ., 2019. 140 p. pp. 8–23. ISBN: 978-5-00140-278-7 (in Russ.).
- Mamedov, I. M. Geoinformatsionnyye sistemy i tsifrovoye kartografirovaniye v zemleustroystve i zemel'nom kadastro [Geoinformation Systems and Digital Mapping in Land Management and Land Cadastre]. By I. M. Mamedov, Ya. V. Altanets. EDN: YXVLV. *Forum molodykh uchenykh*. 2018; 11-2:33–37. eISSN: 2500-4050 (in Russ.).
- Papaskiri T. V. Metody formirovaniya sistem avtomatizirovannogo zemleustroitel'nogo proyektirovaniya [Methods of Forming Automated Land Management Design Systems]. EDN: TVSHOZ. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2015; 2:38–44. ISSN: 2312-797X; eISSN: 2312-7988 (in Russ.).
- Amor, R., Dimyadi, J. The promise of automated compliance checking. DOI: 10.1016/j.dibe.2020.100039. *Developments in the Built Environment*. 2020; 5(1):100039.
- Ferré-Bigorra, J., Casals, M., Gangoles, M., Forcada, N. The adoption of urban digital twins. DOI: 10.1016/j.cities.2022.103905. *Cities*. 2022; 131(5):103905.
- Cienciała, A., Sobolewska-Mikulska, K., Sobura, S. Credibility of the cadastral data on land use and the methodology for their verification and update. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.105204. *Land Use Policy*. 2021; 102(11):105204.
- Eastman, C., Lee, J. M., Jeong, Y. S., Lee, J. K. Automatic rule-based checking of building designs. DOI: 10.1016/j.autcon.2009.07.002. *Automation in Construction*. 2009; 18(8):1011–1033.
- Lehtola, V. V. et al. Digital twin of a city: Review of technology serving city needs. DOI: 10.1016/j.jag.2022.102915. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2022; 114(01):102915.
- Ma, Z. et al. Automatic compliance checking of BIM models against quality standards based on ontology technology. DOI:10.1016/j.autcon.2024.105656. *Automation in Construction*, 2024; 166(3):105656.
- Rasmussen, M. H., Lefrançois, M., Schneider, G. F., Pauwels P. BOT: The building topology ontology of the W3C linked building data group. DOI: 10.3233/SW-200385. *Semantic Web*; 2021.
- Solihin, W., Eastman, C. Classification of rules for automated BIM rule checking development. DOI: 10.1016/j.autcon.2015.03.003. *Automation in Construction*. 2015; 53:69–82.
- Xia, H. et al. Study on city digital twin technologies for sustainable smart city design: A review and bibliometric analysis. DOI: 10.1016/j.scs.2022.104009. *Sustainable Cities and Society*. 2022; 84(19):104009.
- Yang, F. et al. Prompt-based automation of building code information transformation for compliance checking. DOI: 10.1016/j.autcon.2024.105817. *Automation in Construction*. 2024;168(A):105817.

Информация об авторах:

Герасимчук Анна Ярославовна — магистрант; **Лебедева Дарья Владимировна** — кандидат экономических наук,

доцент, SPIN-код: 2389-1295, AuthorID: 796415.

Место работы авторов: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН), ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, 117198, Россия. ИНН: 7728073720.

Information about the authors:

Gerasimchuk Anna Ya. — master's student; **Lebedeva Darya V.** — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, SPIN code: 2389-1295, Author ID: 796415.

Affiliation: Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russia.

*Статья поступила в редакцию 08.04.2026; одобрена после рецензирования 24.04.2026; принята к публикации 26.06.2026.
The article was submitted 04/08/2026; approved after reviewing 04/24/2026; accepted for publication 06/26/2026.*