



Интеллектуальная поддержка анализа градостроительных проектов на основе онтологии

© 2025, А.Г. Щербаков, Н.П. Садовникова, Д.С. Парыгин ✉,
Н.М. Рашевский, А.С. Гуртяков

Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ), Волгоград, Россия

Аннотация

Проектирование градостроительных объектов основано на подходах, которые включают создание новых методов извлечения и представления знаний и позволяют адаптировать цифровые модели к изменяющимся условиям, упрощая согласование междисциплинарных требований. В статье рассматриваются вопросы формализации знаний о типах строительных конструкций, стандартах, условиях эксплуатации и других видах данных, которые необходимо учитывать в процессе градостроительной деятельности. На основе анализа процесса проектирования и нормативно-справочной документации разработана онтология, которая предназначена для поддержки оценки градостроительных проектов. Предложен метод анализа градостроительных проектов, который обеспечивает интеграцию данных информационной, геометрической и онтологической моделей для проверки соответствия цифровых моделей и проектной документации нормам и стандартам. Метод инвариантен к градостроительным проектам, и условия его применения зависят от полноты баз данных и правил. Программная реализация метода позволяет снизить трудоёмкость экспертизы градостроительных проектов и повысить их качество.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, модель представления знаний, градостроительный проект, онтология, проектирование.

Цитирование: Щербаков А.Г., Садовникова Н.П., Парыгин Д.С., Рашевский Н.М., Гуртяков А.С. Интеллектуальная поддержка анализа градостроительных проектов на основе онтологии. *Онтология проектирования*. 2025. Т.15, №3(57). С.436-448. DOI:10.18287/2223-9537-2025-15-3-436-448.

Финансирование: исследование выполнено при поддержке «Центра цифровых научно-образовательных проектов и разработок в сфере промышленного искусственного интеллекта» Ц2RED-ИИ ВолгГТУ, созданного в рамках реализации образовательных программ топ-уровня в сфере искусственного интеллекта (Соглашение № 70-2025-000756).

Благодарности: авторы выражают благодарность коллегам по кафедре «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве» ВолгГТУ, помогавшим в выполнении работы.

Вклад авторов: Щербаков А.Г. – провёл исследование возможности применения онтологического подхода. Садовникова Н.П. – разработала метод анализа градостроительных проектов с использованием онтологической модели. Парыгин Д.С. – выполнил постановку задачи исследования и сформулировал подход к её реализации. Рашевский Н.М. – предложил подход к формализации знаний для поддержки градостроительного проектирования. Гуртяков А.С. – выполнил подготовку и анализ примера практического применения разработанного подхода.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Современные требования к качеству городской среды определяют необходимость изменения принципов градостроительной политики и внедрение новых технологий планирования и проектирования [1]. Проектирование городской среды включает ряд задач, связанных с разработкой концепции города, проектов зданий, сооружений, обеспечивающей инфраструк-

туры и логистических систем, реализуемых в соответствии с регламентами нормативно-правового регулирования [2].

Существующие подходы к поддержке принятия решений (ППР) в процессе градостроительного проектирования не позволяют учесть все факторы, влияющие на качество городской среды [3-5]. Особую сложность представляют экспертизы проектов, которые включают трудоёмкие процедуры проверки на соответствие нормативным документам. На этапе экспертизы проекта могут выявляться противоречия и ошибки, которые приводят к необходимости существенной переработки проекта. Цифровизация строительства и внедрение цифрового моделирования привели к необходимости интеграции разнородных данных, формируемых на различных этапах проектирования, и согласования проектных решений.

Рассматриваемая в данной статье задача связана с созданием методов извлечения и формализации знаний, которые позволят создать основу для интеграции данных в цифровом строительстве и упростить процесс подготовки и проверки проектной документации.

1 Онтологический подход в градостроительной деятельности

Применение онтологического подхода в градостроительстве обладает значительными возможностями для формализации процессов [6-9].

- Онтологии позволяют интегрировать различные типы данных (географические, социальные, экономические и экологические), формировать единое информационное пространство для ППР в проектировании.
- Онтологические модели (ОМ) совместно с цифровыми моделями объектов могут использоваться для оценки вариантов проектных решений.
- Онтологии могут использоваться для создания интерфейсов между различными информационными системами, что обеспечивает более эффективное взаимодействие и обмен данными между участниками градостроительной деятельности.
- Использование онтологий может обеспечить проактивное решение задач, связанных с выявлением возможных конфликтов, противоречий и недостатков в градостроительных решениях.
- Онтологии являются основой для разработки баз знаний и структуры базы данных цифрового двойника градостроительного объекта. Потребители информации могут получать данные из онтологий, в т.ч. через сеть Интернет.

Известны онтологии, которые используются для формализации и структурирования знаний о городском пространстве.

*CityGML*¹ – это открытый стандарт для обмена трёхмерной географической информацией о городах и ландшафтах, который включает ОМ для описания геометрии, топологии, семантики и атрибутов городского пространства на основе формата *JSON*.

*Linked Building Data*² (*LBD*) – решение для создания ОМ зданий и их компонентов с использованием принципов связанных данных.

*Urban System Ontology*³ – это онтология, которая включает территориальное планирование, социальные вопросы, транспорт и окружающую среду. Одним из проектов включения онтологий в процессы проектирования градостроительных объектов является *Towntology*, который позволяет градостроителям работать с онтологией для анализа вариантов проектных решений [10].

В [11] рассматриваются вопросы формального представления знаний и использования построенных моделей для анализа городских систем. Приведены примеры применения ОМ для поддержки решений в оперативном управлении городскими системами и городском планировании.

Подход к интеграции данных и извлечению знаний для построения онтологий в сфере городского планирования представлен в [12]. Построенные ОМ применяются для ППР в задачах анализа эффективности использования территорий, исследования рынка недвижимости и планирования жилой застройки.

В [13] описывается подход, направленный на поддержку ранних этапов процесса городского проектирования. Основное внимание уделяется аспектам формализации знаний, которая является основой для моделирования городского пространства.

¹ *CityGML* - *Open Geospatial Consortium*. - <https://www.ogc.org/standard/citygml/>.

² *LBD*. - <https://www.ugent.be/ea/architectuur/en/research/research-projects/all-research-projects/linked-building-data>.

³ *Urban System Ontology*. - <https://enterpriseintegrationlab.github.io/icity/UrbanSystem/doc/index-en.html>.

Потенциальные выгоды от использования онтологии в городском проектировании могут быть получены на разных этапах жизненного цикла градостроительного объекта, а эффективность полученных решений зависит от полноты используемых знаний [14].

Одним из ключевых преимуществ применения онтологий в градостроительстве является возможность объединения разнородных данных в единую систему. Это позволяет создавать комплексные решения для анализа и проектирования градостроительных объектов. Несмотря на достижения в сфере интеллектуализации строительного проектирования, для адаптации моделей знаний к конкретным проектам и регионам нужны новые решения и инструменты, в т.ч. позволяющие реализовать совместное использование с информационными системами моделирования зданий (*BIM*-системами, от англ. *Building Information Model*).

2 Модели знаний для поддержки анализа градостроительных проектов

2.1 Градостроительное проектирование с использованием цифровых моделей

Градостроительное проектирование в современных условиях связано с разработкой и утверждением цифровой модели и документации, основанных на нормативах и правилах, в которых отражены знания о том, как организовать строительство с соблюдением всех существующих требований [15].

На каждом этапе проектирования решаются задачи, связанные с анализом данных и обоснованием решений. Например, результаты предпроектных исследований определяют условия применения действующих правил, выбор материалов и технологий. Архитектурно-строительное проектирование начинается с анализа технического задания и включает следующие этапы (см. рисунок 1).

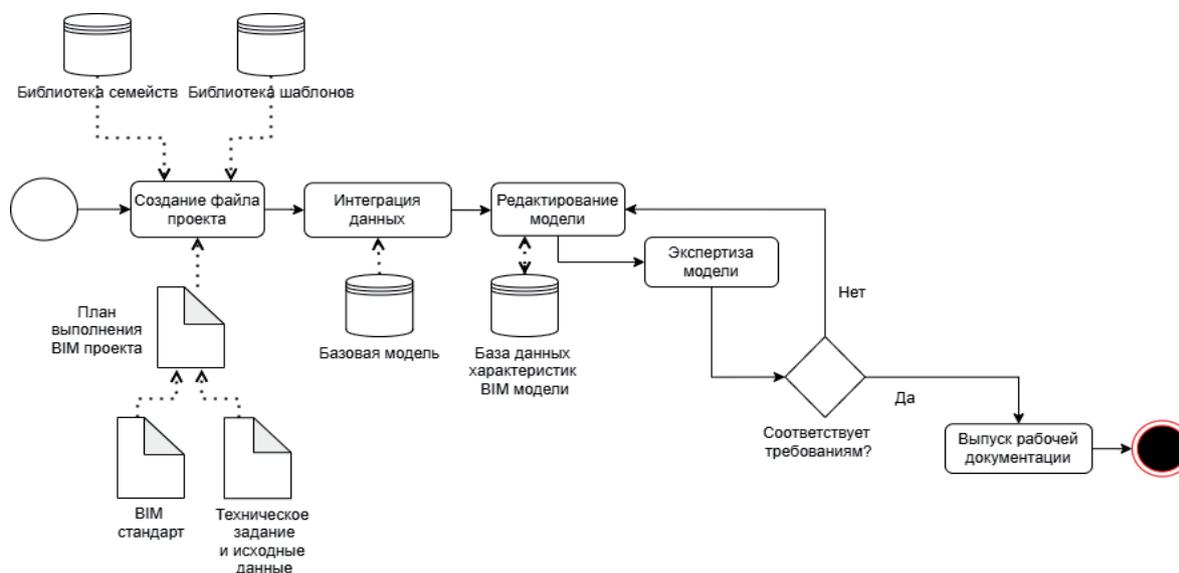


Рисунок 1 – Этапы процесса градостроительного проектирования с использованием цифровых моделей

- 1) Создание файла проекта включает подключение/создание библиотеки семейств, содержащей все необходимые для проекта элементы строительства/градостроительства (окна, двери, материалы, ограды, транспортно-телекоммуникационная инфраструктура, объекты городской среды и т.д.), библиотеку шаблонов – набор предварительно созданных типовых элементов, компонентов и конструкций. На основе технического задания, определяющие требования и условия для выполнения проектных работ, формируется план выполнения *BIM* проекта (*БЕР*, *BIM Execution Plan*), определяющий координацию, планирование и организацию совместной работы всех участников проектной группы на всех этапах *BIM*-проекта.

- 2) Интеграция данных – слияние информации о проектируемом объекте строительства из множества источников в унифицированное и стандартизированное отображение. Базовая модель представляет собой упрощённое представление объекта строительства и включает основные элементы здания (стены, перекрытия, инженерные системы и др.). Эта модель служит основой для более детализированной модели.
- 3) Редактирование модели – на данном этапе дорабатывается базовая модель, наполняется характеристиками и значениями всех её составляющих из сформированной базы данных *ВМ* модели.
- 4) Экспертиза модели представляет собой проверку и оценку модели на соответствие определённым критериям, стандартам и требованиям. Если модель не проходит проверку, то она отправляется на доработку.
- 5) Если модель проходит экспертизу, то на её основе готовят рабочую документацию, по которой выполняются строительные работы.

2.2 Формализация знаний для анализа градостроительных проектов

Задача автоматизации поиска нормативных нарушений в процессе проектирования в строительстве является важным направлением цифровизации этой отрасли⁴. Единого стандарта, описывающего структурные связи и информационное наполнение цифровых моделей, нет, но необходимость поддерживать существующую нормативную базу является обязательной. При этом разные нормативные документы могут содержать взаимоисключающие требования, неоднозначные определения и понятия.

Например, в сфере градостроительства могут возникать противоречия между требованиями к плотности застройки и минимальными расстояниями между зданиями. Согласно одному нормативному документу, плотность жилой застройки в конкретной зоне может быть установлена на уровне 40%, что подразумевает максимальное использование территории под строительство (СП 42.13330.2016⁵ приложение Б.1). Другой нормативный акт (например, СП 476.1325800.2020⁶) содержит требование выдерживать минимальные расстояния между зданиями.

Неоднозначность терминологии также создаёт сложности для проектировщиков и застройщиков. Например, понятие «прилегающая территория» может трактоваться по-разному: в одних документах оно относится только к участкам, непосредственно примыкающим к зданию, а в других — ко всей территории, находящейся в пределах красных линий улиц.

В предметной области рассмотрены типы строительных объектов, своды правил (СП), санитарные правила и нормы (СанПиН), ГОСТы и другие нормативные документы, определены концепты и связи между ними. На рисунке 2 показаны основные концепты, которые использовались для построения онтологии, а на рисунке 3 представлен фрагмент структуры классов разработанной онтологии.

Для формализации знаний и анализа соответствия проектов требованиям нормативных документов использовался язык *SWRL* (*Semantic Web Rule Language*) [16], который представляет собой язык для формулирования правил вывода, расширяющий возможности онтологии. *SWRL*-правила состоят из антецедента и консеквента, которые формируются на основе атомов, переменных и констант.

- Атомы – это базовые составляющие правила, которые могут быть двух типов: классовые, например класс *Road(?r)*, где *Road* является классом, и переменные, где *?r* – экземпляр класса *Road*.
- Переменные, которые обозначаются с помощью префикса *?* (например, *?x*, *?y*) и используются для связывания различных атомов в одном правиле.
- Стандартные логические операторы конъюнкции и импликации.
- Антецедент — это часть правила, описывающая условия, при которых правило применяется.
- Консеквент — это часть правила, описывающая следствие, которое должно быть выполнено, если условия антецедента истинны.

⁴ В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 17.05.2024 № 614 предъявляются новые требования к составу сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства.

⁵ СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89.

⁶ СП 476.1325800.2020. Свод правил. Территории городских и сельских поселений. Правила планировки, застройки и благоустройства жилых микрорайонов" (утв. и введён в действие Приказом Минстроя России от 24.01.2020 N 33/пр).

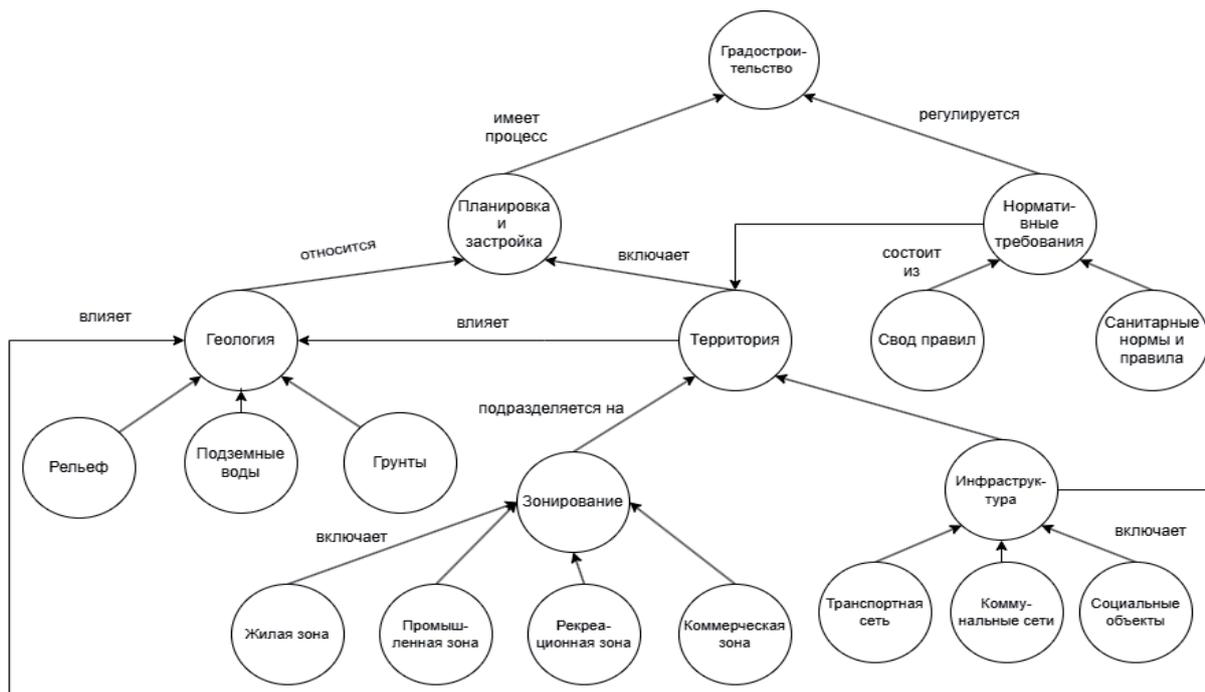


Рисунок 2 – Концептуальная модель знаний для анализа градостроительных проектов в нотации IDEF5 (фрагмент)

Пример формального представления правила:

$$A1 \wedge A2 \wedge \dots \wedge An \rightarrow B1 \wedge B2 \wedge \dots \wedge Bm,$$

где $A1, A2, \dots, An$ — атомы в антецеденте (условия правила); $B1, B2, \dots, Bm$ — атомы в консеквенте (следствия правила); $n \geq 1, m \geq 1$ — количество атомов в антецеденте и консеквенте.

Формализация правил позволяет автоматизировать процесс анализа модели и сопутствующей проектной документации т.к. появляется возможность напрямую работать с OWL классами, свойствами и индивидами и определять более сложные отношения и ограничения.

Для этого используются механизмы логического вывода, которые позволяют оценивать сложные условия и взаимосвязи между различными элементами модели. Например, если изменение проекта влияет на другие его части, система эти взаимосвязи учитываются при проверке. В работе сформировано 125 правил по различным нормативам и стандартам. Примеры правил представлены в таблице 1.

2.3 Метод анализа градостроительных проектов

Использование ОМ позволяет автоматизировать процессы, связанные с проверкой качества создаваемой цифровой модели и сопутствующей проектной документации. Экспертиза строительных проектов трудоёмкая, дорогостоящая и ответственная процедура, выполняемая специалистами высокой квалификации. Однако практика показывает, что ошибки могут обнаруживаться в процессе строительства и даже в эксплуатации. Высокий риск ошибок проектирования обусловлен:

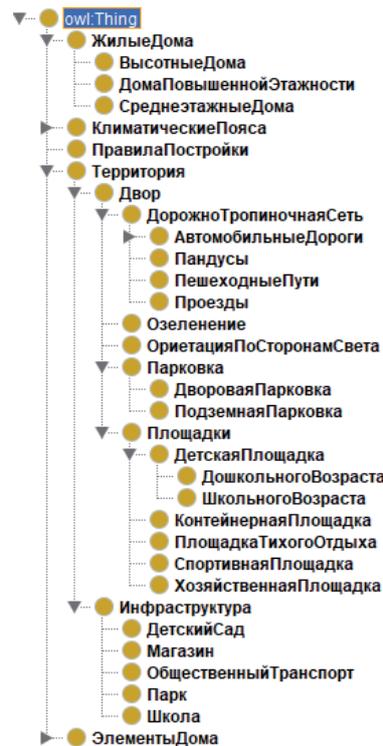


Рисунок 3 – Иерархия классов онтологии (фрагмент)

- сложностью городской среды, состоящей из большого числа взаимосвязанных элементов;
- большим количеством нормативной документации и противоречиями в ней;
- постоянными изменениями в законодательстве;
- недостатком квалифицированных специалистов и др.

Таблица 1 – Примеры *SWRL*-правил

Раздел СП	Требование по СП	<i>SWRL</i> -правило
СП 42.13330.2016 п.7	Расстояние между домами свыше 9 этажей должно быть больше 25 м	MultiStoreyBuildings(?b1) ^ MultiStoreyBuildings(?b2) ^ hasFloors(?b1, ?f1) ^ hasFloors(?b2, ?f2) ^ swrlb:greaterThan(?f1, 9) ^ swrlb:greaterThanOrEqual(?f2, 9) ^ Distance(?d) ^ connects(?d, ?b1) ^ connects(?d, ?b2) ^ distanceBetween(?d, ?dist) ^ swrlb:lessThan(?dist, 25) -> InvalidDistance(?b1, ?b2)
СП 42.13330.2016 п.9	Площадь озеленённой территории микрорайона многоквартирной застройки жилой зоны должна составлять не менее 25% площади территории квартала.	Microdistrict(?d) ^ hasArea(?d, ?a) ^ hasGreenArea(?d, ?g) ^ swrlb:divide(?p, ?g, ?a) ^ swrlb:multiply(?p, ?p, 100) ^ swrlb:lessThan(?p, 25) -> has-InsufficientGreenery(?d, true)
СП 42.13330.2016 п.11.11	Расстояние между магистральной трассой и жилым домом, должно быть больше 50 м	TrunkRoad(?road) ^ ResidentialBuilding(?building) ^ hasDistanceTo(?road, ?building) ^ distanceBetween(?road, ?distance) ^ swrlb:lessThan (?distance, 50) -> InvalidDistance(?road, ? building)

Основные ошибки в градостроительном проектировании сооружений часто возникают на начальных этапах, когда проводятся изыскания, определяются инженерные, архитектурные и конструктивные характеристики при учёте множества факторов (геологические условия, климатические особенности, функциональное назначение объекта и др.). Вследствие этого велика вероятность сделать неверные предположения. Например, неточная информация о грунтах может привести к ошибкам в расчётах фундамента, что приводит к использованию материалов, не соответствующих требованиям безопасности.

Предлагаемый метод анализа градостроительных проектов включает следующие этапы:

- 1) загрузка информационной модели, созданной в программе градостроительного проектирования *Rhinoceros*⁷, и создание файла проекта формата *XML*;
- 2) передача параметров и данных модели через программный интерфейс (*Application Programming Interface, API*) и создание их списка – структурированного представления данных модели, которое включает ключевые характеристики и их значения; для извлечения параметров используются функции *Rhinoceros API*;
- 3) преобразование *SWRL*-правил в *JSON*-файл с помощью *OWL API* и создание массива для хранения правил;
- 4) чтение *JSON*-файла через *API* среды информационного моделирования;
- 5) интерпретация *JSON*-файла в список правил;
- 6) проверка соответствия параметров модели правилам онтологии.

В таблице 2 представлены элементы *XML*-файла и интерпретированные правила из *JSON*. Элементы *Building* содержат атрибуты *id*, *Name*, *Floors*, *Height*, *Location* и *AdjacentBuildings*, которые описывают характеристики здания и его расположение относительно других зданий. В начале процесса экспертизы интерпретируются *SWRL*-правила, описанные в *JSON* структуре. Каждое правило содержит ключи *ruleName*, *description*, *antecedent*, *consequent* и *condition*. Антецедент в правиле указывает, что необходимо проверить, являются

⁷ Rhinoceros 3D. - <https://www.rhino3d.com/>.

ся ли две сущности соседними зданиями и какое расстояние между ними. Эти условия связаны с элементами XML файла *Building*, *AdjacentBuildings* и атрибутом *distanceToBuilding*, описанным в JSON. После извлечения данных применяются логические условия, указанные в *condition JSON* структуры. Если условие выполняется, то применяется консеквент. В результате формируется список всех несоответствий с указанием на нормативные документы.

Таблица 2 – Проверка соответствия параметров модели правилам онтологии

Элемент XML-файла	Правила из JSON-файла
<pre> id="Building1" Residential Tower A <Floors>12</Floors> <Height>40m</Height> <AdjacentBuildings> <BuildingDistance id="Building2"> 25m </BuildingDistance> <BuildingDistance id="Building3"> 30m </BuildingDistance> </AdjacentBuildings> </Building> id="Building2" <Name>Residential Building B</Name> <Floors>8</Floors> <Height>25m</Height> <AdjacentBuildings> <BuildingDistance id="Building1"> 25m </BuildingDistance> <BuildingDistance id="Building3"> 20m </BuildingDistance> </AdjacentBuildings> </Building> </pre>	<pre> "swrlRules": [{ "ruleName": "BuildingSpacingRule" "antecedent": ["?b1 rdf:type :Building", "?b2 rdf:type :Building", "?b1 :hasAdjacentBuilding ?b2", "?b1 :distanceToBuilding ?d"], "consequent": ["?b1 :meetsBuildingSpacingRequirement true"], "condition": "?d > 25" }] </pre>

Диаграмма компонентов системы анализа градостроительных проектов в виде совокупности модулей показана на рисунке 4.

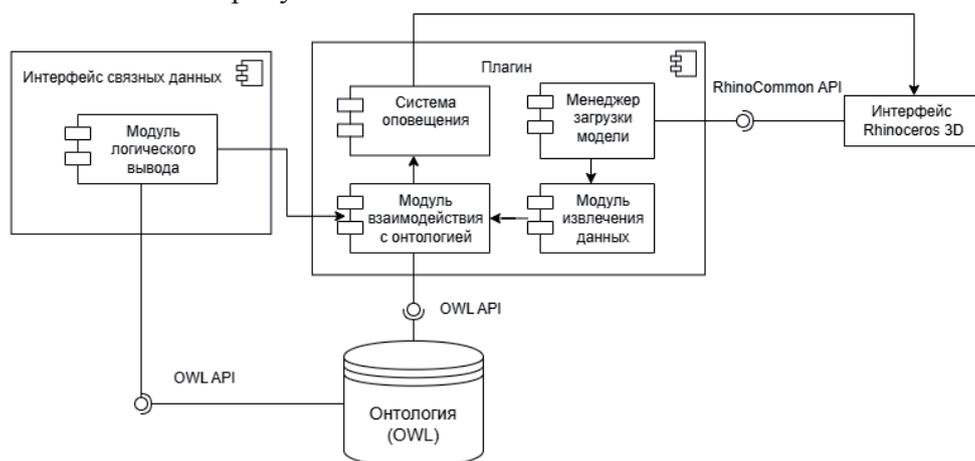


Рисунок 4 – Диаграмма компонентов системы анализа градостроительных проектов

- Интерфейс *Rhinoceros 3D* предназначен для взаимодействия пользователя с информационной моделью и получения предупреждения о несоответствиях, если таковые имеются.
- Плагин взаимодействует с интерфейсом через *RhinoCommon API* и состоит из следующих модулей:
 - Менеджер загрузки модели с помощью языка программирования *C#* обрабатывает данные информационной модели и формирует список её элементов.

- Модуль извлечения данных получает значения характеристик информационной модели и формирует её структуру.
- Модуль взаимодействия с онтологией обеспечивает связь между характеристиками информационной модели *Rhino* и онтологией. Этот модуль использует *OWL API* для аннотации объектов модели семантическими метаданными и установления связей между ними.
- *OWL API* является инструментом для работы с онтологией и предоставляет доступ к семантическим данным и регулирующим правилам.
- Модуль логического вывода осуществляет применение логических правил и выводов на основе данных модели и онтологии.

Результатом выполнения плагина является массив правил, который передаётся в модуль взаимодействия с онтологией, где правила обрабатываются и используются для проверки модели. Если в информационной модели найдены несоответствия, то система оповещения уведомляет пользователей об этом. Процедура поиска способов разрешения несоответствий проектировщиком может быть следующей:

- 1) анализ несоответствий (какие параметры не соответствуют требованиям и почему);
- 2) пересмотр параметров модели (изменение размеров, выбор других материалов и др.);
- 3) проверка модели (цикл повторяется до тех пор, пока все несоответствия не будут устранены);
- 4) если ошибки не выявлены, то принимается решение о формировании проектной документации.

3 Пример анализа градостроительного проекта

Рассматривается соответствие проектных решений своду правил СП 42.13330.2016 при проектировании жилого квартала. Проверка реализуется в виде запросов к модели проекта на языке *SPARQL*, что позволяет извлекать необходимые данные и анализировать их на соответствие семантическим связям, заданным в онтологии. Результаты проверки возвращаются в формате таблицы, где отображаются соответствия установленным правилам и возможные противоречия. Модель проекта представляет собой набор конкретных данных, таких как параметры зданий, характеристики участков или другие атрибуты, которые могут соответствовать правилам либо противоречить им. *SPARQL*-запросы используют онтологию как основу для проверки данных модели проекта, выявляя несоответствия или ошибки [16, 17]. Созданные запросы хранятся в файле и могут повторно использоваться. Примеры запросов и используемых при этом *SWRL*-правил представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Примеры *SPARQL*-запросов и результаты проверки

<i>SPARQL</i> -запросы	Результаты проверки
<pre>SELECT ?house1 ?property ?house2 ?value WHERE { ?house1 a ?class. FILTER(regex(str(?class), "MultiStoreyBuildings\$", "i")). ?house1 <http://www.semanticweb.org/gsher/ontologies/buildingFamily.owl#asDistance> ?house2. ?house1 <http://www.semanticweb.org/gsher/ontologies/buildingFamily.owl#hasADistanceOf ?value }</pre>	<p>Расстояние между домами свыше 9-ти этажей должно быть больше 25 м согласно СП 42.13330.2016.</p>
<pre>SELECT ?district ?area ?greenArea ?greenPercentage WHERE { ?district a ?class . FILTER(regex(str(?class), "Microdistrict\$", "i")) http://www.semanticweb.org/gsher/ontologies/buildingFamily.owl#hasArea> ?area. ?district http://www.semanticweb.org/gsher/ontologies/buildingFamily.owl#hasGreenArea> ?greenArea . BIND((?greenArea / ?area) * 100 AS ?greenPercentage) }</pre>	<p>Площадь озеленённой территории микрорайона многоквартирной застройки должна составлять не менее 25% площади территории микрорайона согласно СП 42.13330.2016.</p>
<pre>SELECT ?road ?property ?relatedRoad ?value WHERE { ?road a ?class. FILTER(regex(str(?class), "TrunkRoad\$", "i")) ?road http://www.semanticweb.org/gsher/ontologies/buildingFamily.owl#hasDistance > ?relatedRoad. ?road ?property ?value. }</pre>	<p>Расстояние между магистральной трассой и жилым домом должно быть больше 50 м согласно СП 42.13330.2016.</p>

Визуальное представление результатов проверки информационной модели в среде проектирования *Rhinoceros*, показаны на рисунке 5.

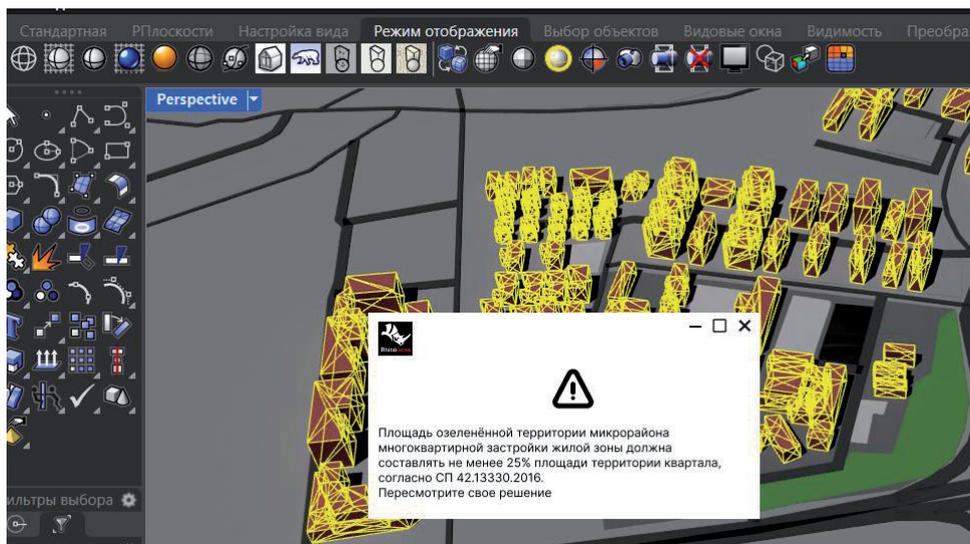


Рисунок 5 – Визуальное представление результатов анализа проекта в среде проектирования *Rhinoceros*

Заключение

Представлен подход к формализации знаний и интеграции данных на этапах проектирования градостроительных объектов. Разработана модель в виде онтологии для поддержки задач градостроительного проектирования.

Предложен метод анализа градостроительных проектов с использованием ОМ, позволяющий автоматизировать процессы, связанные с проверкой создаваемой цифровой модели и сопутствующей проектной документацией. Программное решение в виде модуля среды *Rhinoceros* для анализа градостроительных объектов позволяет интегрировать разработанную онтологию с *BIM*-моделями, организовать обмен информацией между цифровыми моделями, внешними программами и проектировщиками, снизить трудоёмкость экспертизы.

Список источников

- [1] **Оглоблин В.А.** Современные принципы градостроительной политики // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021. № 6-1(57). С.227-229. DOI:10.24412/2500-1000-2021-6-1-227-229.
- [2] **Савинкин В.В., Дорофеева А.А.** Методы исследования и принципы проектирования городской среды. *Бизнес и дизайн ревью*. 2022. № 4(28). С.87-100.
- [3] **Верхоланцева Ю.Д.** Обзор практических методов поддержки принятия решений в управлении социально-экономическим развитием региона. *Умная цифровая экономика*. 2022. № 2(4). С.31-40.
- [4] **Анопченко Т.Ю., Трухачев С.Ю., Мурзин А.Д.** Система интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению городской средой / Сборник трудов XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2019 (17-20 июня 2019 г., Москва, Россия). М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2019. С.1864-1868. DOI:10.25728/vspu.2019.1864.
- [5] **Marcher C., Giusti A., Matt D.T.** Decision Support in Building Construction: A Systematic Review of Methods and Application Areas. *Buildings*. 2020. Vol. 10(10):170. DOI:10.3390/buildings10100170.
- [6] **Хорошевский В.Ф.** Проектирование систем программного обеспечения под управлением онтологий: модели, методы, реализации. *Онтология проектирования*. 2019. Т.9, №4(34). С.429-448. DOI:10.18287/2223-9537-2019-9-4-429-448.
- [7] **Авдошин С.М., Шатилов М.П.** Онтологический инжиниринг. *Бизнес-информатика*. 2007. № 2. С.3-13.
- [8] **Денисов Д.В., Журавлев М.Ю., Медведева Н.Ю., Журавлева Т.Д.** Онтологические модели освоения городских территорий с позиций прикладной культурологии. *Онтология проектирования*. 2023. Т.13, №3(49). С.380-391. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-3-380-391.
- [9] **Detoly F., Kim K-Y., Horváth I.** Ontological engineering for supporting semantic reasoning in design: deriving models based on ontologies for supporting engineering design. *Journal of Engineering Design*. 2019. Vol.30(10-12). P.405-416. DOI:10.1080/09544828.2019.1633626.

- [10] **Teller J., Keita A.K., Roussey C., Laurini R.** Urban Ontologies for an improved communication in urban civil engineering projects. *Cybergeo: European Journal of Geography*. 2007. Vol. 386. DOI:10.4000/cybergeo.8322.
- [11] **Caglioni M., Rabino G.A.** Theoretical approach to urban ontology: a contribution from urban system analysis // *Ontologies for Urban Development. Studies in Computational Intelligence*. 2007. Vol.61. P.109-119. DOI:10.1007/978-3-540-71976-2_10.
- [12] **Barton J., Yu H.** URBANIT - Urban Ontologies to Support Informed Urban Development and Planning // In: *Proceedings of the International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development (KEOD-2010)*. 2010. P.224-228. DOI:10.5220/0003087202240228.
- [13] **Berta M., Caneparo L., Montuori A., Rolfo D.** Semantic urban modelling: Knowledge representation of urban space. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 2016. Vol. 43(4). P.610-639. DOI:10.1177/0265813515609820.
- [14] **Борзест Н.М.** Социально-экономический эффект онтологического анализа при создании информационных систем. *Онтология проектирования*. 2021. Т.11, № 1(39). С.35-50. DOI:10.18287/2223-9537-2021-11-1-35-50.
- [15] **Горлов Д.А., Рашевский Н.М., Дятлов К.А., Залинян А.К., Щербаков А.Г.** Применение онтологической модели представления знаний в проектировании архитектурных объектов. *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*. 2022. №6 (61). С.22-25.
- [16] **Hitzler P., Lehmann J., Polleres A.** Logics for the Semantic Web // *Handbook of the History of Logic*. 2014. Vol.9. P.679-710. DOI:10.1016/B978-0-444-51624-4.50016-2.
- [17] **Гориков С.** Введение в онтологическое моделирование: ревизия 2.4. ООО «ТриниДата», 2018. 150 с.

Сведения об авторах



Щербаков Артём Геннадьевич, 2000 г. рождения. Окончил ВолгГТУ в 2024 г. Ассистент кафедры «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве» (ЦТУАС) ВолгГТУ. В списке научных трудов более 30 работ, в т.ч. в области онтологического инжиниринга и проектирования высоконагруженных систем. ORCID: 0009-0009-1008-9639; Author ID (РИНЦ): 1181934; Author ID (Scopus): 57802327000. artem.shcherbakov01@gmail.com.

Садовникова Наталья Петровна, 1967 г. рождения. Окончила Волгоградский государственный университет в 1990 г., д.т.н. (2014). Профессор кафедры ЦТУАС ВолгГТУ. В списке научных трудов более 200 работ в области анализа данных, компьютерного моделирования, создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений. ORCID: 0000-0002-7214-9432; Author ID (РИНЦ): 427120; Author ID (Scopus): 57210403332; Researcher ID (WoS): M-1564-2015. npsn1@ya.ru.



Парыгин Данила Сергеевич, 1984 г. рождения. Окончил ВолгГТУ в 2008 г., к.т.н. (2013). Заведующий кафедрой ЦТУАС ВолгГТУ. В списке научных трудов более 200 работ в области поддержки принятия решений на основе данных в задачах управления развитием сложных территориально-распределённых систем. ORCID: 0000-0001-8834-5748; Author ID (РИНЦ): 842349; Author ID (Scopus): 55913072300; Researcher ID (WoS): A-9781-2016. dparrygin@gmail.com. ✉.

Рашевский Николай Михайлович, 1991 г. рождения. Окончил ВолгГТУ в 2014 г., к.т.н. (2019). Доцент кафедры ЦТУАС ВолгГТУ. В списке научных трудов более 60 работ в области методов интеллектуального анализа данных, вычислительных экспериментов на моделях окружающей среды. ORCID: 0000-0002-8076-4187; Author ID (РИНЦ): 791634; Author ID (Scopus): 57190966857; Researcher ID (WoS): AAG-7764-2019. rashevsky.n@gmail.com.



Гуртяков Александр Сергеевич, 1987 г. рождения. Окончил Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ в 2010 г., к.т.н. (2013). Доцент кафедры ЦТУАС ВолгГТУ. В списке научных трудов более 30 работ в области методов интеллектуального анализа данных и автоматизации бизнес-процессов. ORCID: 0000-0002-8013-5778; Author ID (РИНЦ): 1026582; Author ID (Scopus): 55801801100. agurtyakov@gmail.com.

Поступила в редакцию 28.09.2024, после рецензирования 12.04.2025. Принята к публикации 11.06.2025.



Intelligent support for the analysis of urban development projects based on ontology

© 2025, A.G. Shcherbakov, N.P. Sadovnikova, D.S. Parygin ✉,
N.M. Rashevskiy, A.S. Gurtyakov

Volgograd State Technical University (VSTU), Volgograd, Russia

Abstract

The design of urban development projects relies on approaches that involve the creation of new methods for knowledge extraction and representation. These approaches enable the adaptation of digital models to changing conditions and facilitate the coordination of interdisciplinary requirements. This article addresses the formalization of knowledge related to building structure types, regulatory standards, operational conditions, and other data that must be considered in urban development processes. Based on an analysis of design workflows and regulatory and reference documentation, an ontology has been developed to support the evaluation of urban development projects. The article proposes a method for analyzing such projects that integrates data from informational, geometric, and ontological models to verify the compliance of digital models and design documentation with relevant norms and standards. The method is applicable across a wide range of urban development projects; its use depends on the completeness of the databases and rule sets involved. The software implementation of the proposed method reduces the labor intensity of project review and contributes to improving the overall quality of urban development outcomes.

Keywords: decision support, knowledge representation model, urban development project, ontologies, design.

For citation: Shcherbakov AG, Sadovnikova NP, Parygin DS, Rashevskiy NM, Gurtyakov AS. Intelligent support for the analysis of urban development projects based on ontology [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2025; 15(3): 436-448. DOI:10.18287/2223-9537-2025-15-3-436-448.

Financial support: The study was carried out with the support of the Center for Digital Scientific and Educational Projects and Developments in the Field of Industrial Artificial Intelligence (C2RED-AI) of Volgograd State Technical University, created as part of the implementation of top-level educational programs in the field of artificial intelligence (Agreement No. 70-2025-000756).

Acknowledgment: The authors express their gratitude to their colleagues from the Department of Digital Technologies in Urban Studies, Architecture and Construction of Volgograd State Technical University, who took part in the work.

Authors' contribution: Shcherbakov A.G. conducted a study of the application of the ontological approach. Sadovnikova N.P. developed a method for analyzing urban development projects using an ontological model. Parygin D.S. formulated the research problem and formulated an approach to its implementation. Rashevskiy N.M. proposed an approach to formalizing knowledge to support urban development design. Gurtyakov A.S. prepared and analyzed examples of the practical application of the developed approach.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

List of figures and table

- Figure 1 - Stages of the urban development design process using digital models
- Figure 2 - Conceptual knowledge model for the analysis of urban development projects in IDEF5 notation (fragment)
- Figure 3 - Ontology class hierarchy (fragment)
- Figure 4 - Diagram of components of the urban development project analysis system
- Figure 5 - Visual representation of project analysis results in the *Rhinoceros* design environment
- Table 1 - Examples of SWRL rules
- Table 2 - Verification of model parameter compliance with ontology rules
- Table 3 - Examples of SPARQL queries and the result of the verification

References

- [1] **Ogloblin VA.** Modern principles of urban development policy [In Russian]. *Int. J. of Humanities and Natural Sciences.* 2021; 6-1(57): 227-229. DOI:10.24412/2500-1000-2021-6-1-227-229.
- [2] **Savinkin VV, Dorofeeva AA.** Research methods and principles of urban environment design [In Russian]. *Business and design review.* 2022; 4(28): 87-100.
- [3] **Verkholantseva YuD.** Review of practical methods for supporting decision-making in managing the socio-economic development of a region [In Russian]. *Smart digital economy.* 2022; 2(4): 31-40.
- [4] **Anopchenko TYu, Trukhachev SYu, Murzin AD.** Intelligent decision support system for urban environment management [In Russian]. In: Collection of papers of the XIII All-Russian Conference on Management Problems VSPU-2019 (Moscow, Russia, 2019, June 17-20). Moscow: V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences; 2019: 1864-1868. DOI:10.25728/vspu.2019.1864.
- [5] **Marcher C, Giusti A, Matt DT.** Decision Support in Building Construction: A Systematic Review of Methods and Application Areas. *Buildings.* 2020; 10(10):170. DOI:10.3390/buildings10100170.
- [6] **Khoroshevsky VF.** Ontology driven software engineering: models, methods, implementations [In Russian]. *Ontology of designing.* 2019; 4(34): 429-448. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-429-448.
- [7] **Avdoshin SM, Shatilov MP.** Ontological engineering [In Russian]. *Business informatics.* 2007; 2: 3-13.
- [8] **Denisov DV, Zhuravlev MYu, Medvedeva NYu, Zhuravleva TD.** Ontological models of the development of urban areas from the standpoint of applied cultural studies [In Russian]. *Ontology of designing.* 2023; 3(49): 380-391. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-3-380-391.
- [9] **Demoly F, Kim K-Y, Horváth I.** Ontological engineering for supporting semantic reasoning in design: deriving models based on ontologies for supporting engineering design. *J. of Engineering Design.* 2019; 30(10-12): 405-416. DOI:10.1080/09544828.2019.1633626.
- [10] **Teller J, Keita AK, Roussey C, Laurini R.** Urban Ontologies for an improved communication in urban civil engineering projects. *Cybergeog: European Journal of Geography.* 2007; 386. DOI:10.4000/cybergeog.8322.
- [11] **Caglioni M., Rabino G.A.** Theoretical approach to urban ontology: a contribution from urban system analysis. *Ontologies for Urban Development. Studies in Computational Intelligence.* 2007; 61: 109-119. DOI:10.1007/978-3-540-71976-2_10.
- [12] **Barton J, YuH.** URBANIT - Urban Ontologies to Support Informed Urban Development and Planning. In: Proc. of the Int. Con. on Knowledge Engineering and Ontology Development (KEOD-2010). 2010: 224-228. DOI:10.5220/0003087202240228.
- [13] **Berta M, Caneparo L, Montuori A, Rolfo D.** Semantic urban modelling: Knowledge representation of urban space. *Environment and Planning B: Planning and Design.* 2016; 43(4): 610-639. DOI:10.1177/0265813515609820.
- [14] **Borgest NM.** Socio-economic effect of ontological analysis when creating information systems [In Russian]. *Ontology of designing.* 2021; 1(39): 35-50. DOI:10.18287/2223-9537-2021-11-1-35-50.
- [15] **Gorlov DA, Rashevsky NM, Dyatlov KA, Zalinyan AK, Shcherbakov AG.** Application of an ontological model of knowledge representation in the design of architectural objects [In Russian]. *Natural and man-made risks. Safety of structures.* 2022; (61): 22-25.
- [16] **Hitzler P, Lehmann J, Polleres A.** Logics for the Semantic Web. *Handbook of the History of Logic.* 2014; 9: 679-710. DOI:10.1016/B978-0-444-51624-4.50016-2.
- [17] **Gorshkov S.** Introduction to Ontological Modeling: Revision 2.4 [In Russian]. TriniData LLC; 2018. 150 p.

About the authors

Artem Gennadievich Shcherbakov (b. 2000) graduated from the VSTU in 2024. He is an assistant at the Department of Digital Technologies for Urban Studies, Architecture and Civil Engineering at VSTU. He is a co-author of more than 30 scientific articles and abstracts, including in the field of ontological engineering and design of high-load systems. ORCID: 0009-0009-1008-9639; Author ID (RSCI): 1181934; Author ID (Scopus): 57802327000. artem.shcherbakov01@gmail.com.

Natalia Petrovna Sadovnikova (b. 1967) graduated from Volgograd State University in 1990, D. Sc. Eng. (2014). She is a professor at the Department of Digital Technologies for Urban Studies, Architecture and Civil Engineering of VSTU. She is a co-author of more than 200 scientific articles and abstracts in the field of data analysis, computer modeling, and the creation of intelligent decision support systems. ORCID: 0000-0002-7214-9432; Author ID (RSCI): 427120; Author ID (Scopus): 57210403332; Researcher ID (WoS): M-1564-2015. npsn1@ya.ru.

Danila Sergeevich Parygin (b. 1984) graduated from the VSTU in 2008, PhD (2013). He is the Head of the Department of Digital Technologies for Urban Studies, Architecture and Civil Engineering at VSTU. He is a co-author of more than

200 scientific articles and abstracts in the field of data-based decision support in the tasks of managing the development of complex geographically distributed systems. ORCID: 0000-0001-8834-5748; Author ID (RSCI): 842349; Author ID (Scopus): 55913072300; Researcher ID (WoS): A-9781-2016. *dparygin@gmail.com*. ✉.

Nikolay Mikhailovich Rashevskiy (b. 1991) graduated from the VSTU in 2014, PhD (2019). He is an associate professor at the Department of Digital Technologies for Urban Studies, Architecture and Civil Engineering of VSTU. He is a co-author of more than 60 scientific articles and abstracts in the field of data mining methods, decision support, computational experiments on environmental models. ORCID: 0000-0002-8076-4187; Author ID (RSCI): 791634; Author ID (Scopus): 57190966857; Researcher ID (WoS): AAG-7764-2019. *rashevsky.n@gmail.com*.

Alexander Sergeevich Gurtyakov (b. 1987) graduated from the National Research Nuclear University MEPhI in 2010, PhD (2013). He is an associate professor at the Department of Digital Technologies for Urban Studies, Architecture and Civil Engineering of VSTU. He is a co-author of more than 30 articles and abstracts in the field of data mining methods and business process automation. ORCID: 0000-0002-8013-5778; Author ID (RSCI): 1026582; Author ID (Scopus): 55801801100. *agurtyakov@gmail.com*.

Received September 28, 2024. Revised April 12, 2025. Accepted June 11, 2025.
