

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Анна Корнеева*

DOI 10.24833/2073-8420-2023-3-68-89-97



Введение. Для управления сложными системами градостроительства важное теоретическое и практическое значение имеют задачи выбора альтернатив и поиска эффективных решений в условиях риска и неопределенности при взаимодействии множества экзогенных и эндогенных факторов. Особое место в принятии решений занимает интегрированный подход, позволяющий на базе моделей искусственного интеллекта, экспертного оценивания, аналитических и расчетных моделей, методов моделирования и целого ряда других моделей и методов успешно применять различные подходы к поддержке принятия решений, обеспечивать более глубокий и всесторонний учет различных факторов, их взаимосвязь, действовать в условиях слабоструктурированной или неструктурированной информации об объекте управления.

В этой связи актуальна проблема создания интегрированных интеллектуальных систем поддержки принятия решений, которые основываются на теории и принципах гибридных систем искусственного интеллекта, методах математического моделирования, системном анализе, синтезе управляющих действий и т.д.

Целью данной статьи является уточнение концептуальных основ технологии информационного моделирования в градостроительной деятельности.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели в статье использовались методы анализа проблемы, синтеза, научных подходов к решению заявленной проблемы, классификации гибридных моделей, используемых в информационном моделировании в градостроительной деятельности. Материалами статьи стали работы ученых по заявленной проблематике.

Результаты исследования. В статье указано на то, что возможности моделирования в градостроительной деятельности связаны с разработкой гибридных моделей, каковыми являются модели, при построении которых используются различные методы. Автором определено, что гибридная интеллектуальная система – это совокупность: аналитических моделей, экспертных систем, искусственных нейронных сетей, нечетких систем, генетических алгоритмов, имитационных статистических моделей.

* **Корнеева Анна Михайловна**, соискатель кафедры управления активами МГИМО МИД России
e-mail: sacramental@bk.ru
ORCID ID: 0000-0002-2208-3789

Главная задача при разработке гибридных систем состоит в том, чтобы наилучшим образом сочетать разные формы представления и методы обработки знаний в процессе принятия решений в области градостроительной деятельности.

Обсуждение и заключение. В статье обоснована важность внедрения гибридных моделей для исследования функционирования и прогнозирования развития городской инфраструктуры. Рассмотрены подходы к созданию интеллектуальных информационных систем поддержки принятия решений в градостроительстве, основанные на сочетании аналитических методов и моделей, таких как имитационное моделирование, расчетные вычисления, оптимизационные расчеты с моделями мягких вычислений, такими как нечеткие системы, нейронные сети, генетические решения сложных слабо структурированных или неструктурированных задач.

Создание таких систем позволит повысить уровень принятия управленческих решений в градостроительстве, лучше выполнять оценивание качества проводимой жилищной политики.

Введение

Город относится к сложным системам с множеством прямых и обратных связей, которые носят нелинейный характер. Такие системы имеют сложную внутреннюю структуру и включают в себя подсистемы, такие как жилищное строительство, экология, производство, население, финансы, земельные ресурсы и т.д. К одной из важнейших относится сфера, связанная с развитием городских территорий и жилищным строительством.

Процесс комплексного развития городских территорий включает в себя:

- градорегулирование, включающее процессы, обеспечивающие комплекс мероприятий содержательно-строительного планирования работ, составляющих градостроительный комплекс;
- инвестиционно-строительная деятельность;
- эксплуатация, включающая процессы управления территорией жилой застройки, процессами развития и эксплуатации жилищного фонда.

Таким образом, перед проектировщиками городских территорий стоит комплексная задача оптимизации стратегических аспектов градостроительной деятельности, которые определяют направление развития городских территорий.

Решение данной задачи само по себе является сложным и трудоемким процессом, в котором множество практических

вопросов невозможно решить без использования технологии информационного моделирования.

К вопросам, касающимся моделирования процессов создания и освоения городских территорий, управления градостроительной деятельностью в последние годы обращались Д.М. Астанин [1], А.В. Гаврилов [2], В.Б. Заалишвили, А.С. Кануков [3], А.С. Кануков [4], Е.И. Костина [6], Т. Лютомский [7], К.П. Макарова, Ю.С. Левина, О.А. Зарубин, А.Е. Климов [8], М.В. Пасхина [9], Н.А. Самойлова [10], М.Е. Скачкова, К.А. Чудова [12], Г.А. Ткачук [13], А.В. Шадрин [14], Barbosa J.A., Bragança L., Mateus R. [15], Price S.J., Terrington R.L., Busby J., Bricker S., Berry T. [17] и др.

В то же время развитие цифровых технологий, искусственного интеллекта вносят в данную деятельность постоянные коррективы, в связи с чем информация, касающаяся заявленного аспекта градостроительной деятельности, нуждается в постоянной актуализации.

В этой связи целью данной статьи является уточнение концептуальных основ технологии информационного моделирования в градостроительной деятельности.

Исследование

Структурирование процесса градостроительной деятельности показывает, что он состоит из целого ряда процессов, которые обеспечивают реализацию проекта (рис. 1).

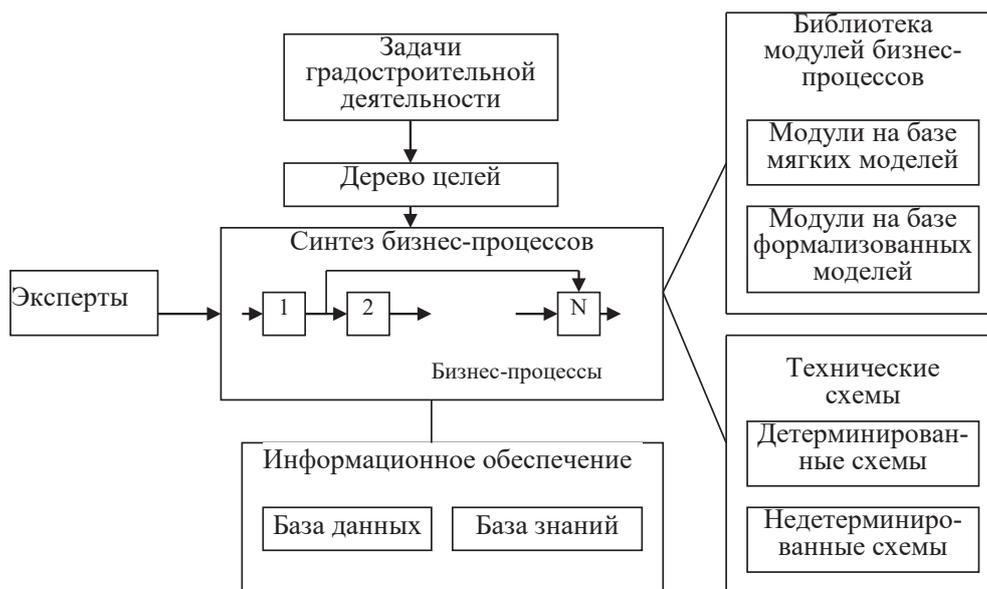


Рисунок 1 – Структурирование процесса градостроительной деятельности (составлено автором)

Как видно из данной схемы, важнейшее место в процессе градостроительной деятельности отводится созданию моделей бизнес-процессов, необходимых для проектной деятельности с учетом жизненного цикла градостроительного проекта.

Соответственно современный этап развития градостроения невозможно себе представить без использования систем информационного моделирования различных процессов, стратегий, объектов.

Технология построения современных систем информационного моделирования предусматривает обработку комплекса взаимосвязанных задач и обрабатываемых потоков информации. Это требует более глубокой проработки методологических вопросов создания и применения данных систем в области градостроения [3. С. 19].

Одной из основных особенностей современных систем информационного моделирования является интегрированность. На базе объединения интеллектуальных технологий с традиционными информационными технологиями они становятся гибридными системами, которые включают параллельно с интеллектуальными комплексами моделирования расчетные модели, статистический анализ, имитационные модели и т.д. Это позволяет значительно расширить возможности принятия управленческих решений, обеспечить их синергетический характер, повысить качество и универсальность всей управленческой системы градостроительной деятельности. При этом направление развития многомодельных систем подразумевает объединение

процедурных методов моделирования с недетерминированными методами формулирования выводов, используемых в технологии экспертных систем [12. С. 41].

Таким образом, говоря о возможностях моделирования в градостроительной деятельности, мы обращаемся к гибридным моделям, каковыми являются модели, при построении которых используются разные методы.

Термин «гибрид» понимается как система, состоящая из двух или более интегрированных подсистем, каждая из которых может иметь разные языки представления и методы вывода. Подсистемы объединяются вместе семантически и по действию одна с другой. В настоящее время разработаны также гибридные интеллектуальные системы, являющиеся инструментом синергетического искусственного интеллекта, предназначенного для моделирования эффектов взаимодействия, самоорганизации, адаптации, которые наблюдаются в системах, где тесно переплетаются природа, человек и техника. Возможно, модели и методы гибридных интеллектуальных систем станут релевантными сложности задач, решаемых в системах поддержки принятия решений [11. С. 58].

Гибридную интеллектуальную систему рассматривают как систему, в которой для решения задачи используют более одного метода имитации интеллектуальной деятельности человека. Таким образом, гибридная интеллектуальная система – это совокупность: аналитических моделей, экспертных систем, искусственных нейронных сетей, нечетких систем, генетических алгоритмов, имитационных статистических моделей.

Гибридную интегрированную систему определяют также как систему, использующую более одной компьютерной технологии [2. С. 34].

Несмотря на то, что термин «гибридные интеллектуальные системы» возник совсем не так давно, в конце XX века, в наше время уже практически сформировалось междисциплинарное направление «гибридные интеллектуальные системы». Основателями гибридного направления были А. Пнуэли и Д. Харел. Они ввели новый класс гибридных реактивных систем, входящих в состав сложных систем. Разработка гибридных моделей и систем производится с помощью инструментальной системы NuTech.

Направление «гибридные интеллектуальные системы» объединяет ученых и специалистов, исследующих применение не одного, а нескольких методов, как правило, из разных классов, для решения задач управления и проектирования [2. С. 36].

Отметим, что специалисты University of Sanderland (Англия) определяют «гибридные информационные системы» как большие, сложные системы, которые целостно интегрируют знания и традиционную обработку информации. Они могут давать возможность хранить, искать и манипулировать данными, знаниями и традиционными технологиями [2. С. 28].

Отдельные исследователи акцентируют внимание на том, что главной задачей при разработке гибридных систем является наилучшее сочетание различных методов и соответствующая обработка знаний в процессе принятия решений [10. С. 99].

При этом приводятся примеры сочетания интеллектуальных технологий при создании гибридных систем:

- нейронные сети + нечеткие системы - нейронные сети создают функции принадлежности и правила для нечетких систем; нечеткие системы расширяют возможности нейронных сетей, делая возможным понимание выводов, сделанных нейронными сетями;
- нечеткие системы + генетические алгоритмы - генетические алгоритмы оптимизируют нечеткие правила нечетких систем и ищут функции принадлежности;
- нейронные сети + генетические алгоритмы - генетические алгоритмы оптимизируют нейронные сети; нейронные сети выбирают релевантные входы для генетических алгоритмов;
- экспертные системы + генетические алгоритмы - генетические алгоритмы ис-

пользуют правила, выработанные экспертной системой, как основу для поиска оптимальных решений [5. С. 155].

Часто гибридные интеллектуальные системы делят условно на три класса:

1. Гибридные системы с функциональным замещением, в которых используется одна модель. В этой модели один из элементов замещается другой моделью (например, перерасчет весовых коэффициентов в нейронной сети с помощью генетического алгоритма или подбор функций принадлежности для нечетких систем с помощью генетического алгоритма).

2. Гибридные системы с взаимодействием, в которых используются независимые модули, обменивающиеся информацией и выполняющие различные функции с целью получения совместного решения.

3. Полиморфные гибридные системы, в которых одна модель используется для имитации функционирования других моделей (например, распределение с помощью цепи правил можно моделировать с помощью нейронной сети) [2. С. 51].

Примером таких моделей являются модели, построенные на базе метода клеточных автоматов и агентных моделей. Ряд ученых считает, что их можно использовать для региональных исследований, в том числе для изучения систем градостроительной инфраструктуры, в том числе для изучения систем городской инфраструктуры, используя в качестве базового математического аппарата объединение методологий теории нечетких множеств, нейронных сетей, генетических алгоритмов и других методов моделирования, что в конечном итоге формирует условия для использования в системе градостроительной деятельности «мягких вычислений», для которых характерна терпимость к неточности, неопределенности и частичной истинности, которая позволяет достичь низкой стоимости решения, легкости обработки, лучшей согласованности с реальностью [10, 15].

Комбинация методов мягких вычислений, аналитических моделей, методов моделирования предназначена для их взаимного дополнения при решении сложных, слабо структурированных или неструктурированных задач, для решения трудноформализованных проблем или проблем, которые вообще невозможно формализовать.

Нечеткие системы позволяют работать с приближительными (неточными) данными, приближенными размышлениями, выполнять вычисления с вербальными опи-

саниями. Нейронные сети могут учиться и адаптироваться к изменениям, выполнять операции классификации, кластеризации, распознавания образов, а генетические алгоритмы позволяют находить оптимальные значения параметров градостроительных объектов.

В результате формируется схема интеграции, которая должна решать следующие задачи системы:

- придавать нейронным сетям способность объяснять полученные результаты;
- учитывать нечеткость, неточность, неполноту представления знаний и немонотонный характер вывода;
- снижать субъективность представления знаний (функций принадлежности и нечетких правил) посредством настройки на объективные данные;
- оптимизировать базу знаний за счет эволюционного моделирования [7].

Нельзя не согласиться с Е.И. Костиной в том плане, что использование многомодельных систем является важным и эффективным инструментом при решении проблем развития городов, в частности позволит по-

высить уровень принятия управленческих решений, лучше оценивать качество экономической политики [6. С. 44]. Считаем, что многомодельные системы можно использовать и при обосновании развития городской инфраструктуры, а также при принятии решений относительно путей стратегического развития городов.

В то же время, как считают ученые, главная задача при разработке гибридных систем состоит в том, чтобы наилучшим образом сочетать разные формы представления и методы обработки знаний в процессе принятия решений с использованием искусственного интеллекта, способного функционировать как система нечеткого вывода, создаваясь не с помощью инженерии знаний, а посредством обучения по образцам. Эти системы позволяют моделировать логические и аналоговые процессы при решении интеллектуальных задач [2. С. 71].

По другой классификации по типам архитектуры многомодельные системы делятся на следующие способы формирования многомодельной архитектуры (табл. 1).

Таблица 1 – Средства формирования архитектуры [4. С. 111-112]

Архитектура многомодельной системы	Определение модели
	Комбинированная модель – модель, которая подразумевает интеграцию различных систем, представляющих как формализованные, так и неформализованные знания. Процесс формирования модели иерархичен.
	Интегрированная модель – модель, предполагающая, что один из модулей является доминирующим, и в зависимости от текущих условий он выбирает для функционирования те или иные модули.
	Объединенная модель – модель, которая предполагает, что исходные модели теряют свою автономность и из них формируется новая система с общим выходом.
	Ассоциативная модель – модель, предполагающая, что модули, входящие в состав такой системы, могут работать как автономно, так и в интеграции с другими
	Доска объявлений – модель, предполагающая, что решение формируется в некоторой глобально доступной структуре; знания о предметной области разделены между независимыми источниками знаний, работающих под управлением планировщика

Процесс создания многомодельных систем предполагает два основных подхода.

Первый подход предполагает, что одна и та же задача может быть решена несколькими известными методами, и вычисления, начиная с некоторого шага алгоритма, могут быть продолжены тем или иным способом. При таком подходе информационная технология решения задачи предполагает формирование алгоритма в процессе решения.

Второй подход предполагает, что метод решения задачи неизвестен, однако задача была разбита на несколько подзадач, для каждой из которых известно множество методов решения. Управляющая программа, используя декомпозицию задачи и множество моделей и методов, строит комбинированную модель решения задачи.

База правил систем нечеткого вывода предназначена для формального представления эмпирических знаний или знаний экспертов в проблемной сфере. В системах нечеткого вывода используются правила нечетких продукций, в которых условия и заключения сформулированы в терминах нечетких лингвистических высказываний. База правил нечетких продукций представляет собой конечное множество правил нечетких продукций, которое представлено в таком виде:

Правило_1: Если «Условие_1», то «Заключение_1» (F_1)

Правило_2: Если «Условие_2», то «Заключение_2» (F_2)

Правило_N: Если «Условие_N» то «Заключение_N» (F_N)

где F_i – весовой коэффициент соответствующего правила.

Градостроительное развитие города включает в себя решение задач организационного управления, архитектурно-пространственных, инфраструктурных, структурно-функциональных, эколого-рекреационных, технических, городской недвижимости и некоторых других. Специфика градостроительных задач ограничивает применение чисто математических подходов, особенно на этапах планирования.

Качество моделирования увеличивается с улучшением информационного обеспечения процессов градостроительства при применении информационных систем.

Решению отдельных задач отвечают определенные информационные технологии. В таблице 2 представлены варианты применения информационных технологий для решения задач управления градостроительством.

Таблица 2 – Место информационных технологий в структуре моделирования градостроительной деятельности (составлено по данным [3])

Функциональная подсистема	Задачи управления	Информационная технология
Управление градостроительством		
Нормативное управление	Развитие и эксплуатация жилищного фонда города в целом (срок управления – от 25 лет)	Методы имитационного моделирования, методы экспертных оценок, организационно-технические и организационно-экономические модели
Стратегическое управление	Развитие комплексов объектов, территорий, коммуникационных подсистем (срок управления – 5-10 лет)	Методы имитационного моделирования, методы экспертных оценок, методы исследования операций, нейронные сети
Тактическое управление	Реконструкция и развитие отдельных объектов (срок управления – 1-3 года)	Мягкие модели, исследование операций
Оперативное управление	Эксплуатация отдельных подсистем объекта (срок управления – менее года)	Нейронные сети, нечеткие системы, генетические алгоритмы
Примеры отдельных задач градостроительства		
	Оценка градостроительной стоимости территорий	Аналитические модели, нечеткие множества
	Диагностика технического состояния зданий и сооружений	Нейронные сети, нечеткие системы, генетические алгоритмы
	Исследование градостроительных ситуаций	Имитационные модели, нечеткие системы, факторные модели
	Оценка объектов недвижимости	Статистические модели, нейронные сети

Применение подхода с использованием интеллектуальных информационных систем поддержки принятия решений ис-

пользуется при разработке системы, предназначенной для решения следующих задач:

- хранение, обработка и анализ результатов обследования технического состояния зданий;
- определение физического и морального износа строительных объектов;
- проведение технической экспертизы объектов недвижимости;
- выполнение моделирования изменения технического состояния зданий;
- определение окончательного срока надежности эксплуатации построек;
- выполнение планирования управлением техническим состоянием жилищного фонда; определение градостроительной стоимости территорий;
- выполнение оптимизации моделей управления в зависимости от заданных параметров и целей;
- выполнение исследования градостроительных ситуаций;
- анализ и оценка застройки района реконструкции;
- выполнение оценки объектов недвижимости;
- проведение функционального анализа реконструируемой территории района и решение некоторых других задач градостроительства.

В целом, мы можем сказать, что главной задачей при разработке гибридных систем

является наилучшее сочетание различных методов и соответствующая обработка знаний в процессе принятия решений, касающихся различных аспектов градостроительной деятельности.

Заключение

Таким образом, очевидна важность использования гибридных моделей для исследования функционирования и прогнозирования развития градостроительной деятельности и городской инфраструктуры.

Рассмотрены подходы к созданию интеллектуальных информационных систем поддержки принятия решений в градостроительстве, основанные на сочетании аналитических методов и моделей, таких как имитационное моделирование, мягкие вычисления, оптимизационные расчеты с моделями мягких вычислений, такими как нечеткие системы, нейронные сети, генетические алгоритмы решение сложных слабоструктурированных или неструктурированных задач.

Создание таких систем позволит повысить уровень принятия управленческих решений в градостроительстве, лучше выполнять оценку качества проводимой градостроительной политики.

Литература:

1. Астанин Д.М. Структурно-функциональный подход как методологическая основа моделирования градостроительной системы территории экологического туризма // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2021. № 9. С. 64-74.
2. Гаврилов А.В. Гибридные интеллектуальные системы. Новосибирск, 2002.
3. Заалишвили В.Б., Кануков А.С. Алгоритм создания информационных систем обеспечения градостроительной деятельности // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. № 6. С. 19-22.
4. Кануков А.С. Разработка модели и алгоритма построения информационных систем обеспечения градостроительной деятельности: диссертация ... кандидата технических наук. Таганрог, 2015.
5. Колесников А.В., Кириков И.А. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. М., 2007.
6. Костина Е.И. Цифровая экономика: как составляющая градостроительной политики // Вестник науки. 2018. № 7. С. 40-51.
7. Лютомский Т. Информационное моделирование территорий в мире и в России // Журнал IT News. 2021. № 04. URL: <https://www.it-world.ru>.
8. Макарова К.П., Левина Ю.С., Зарубин О.А., Климов А.Е. Математико-картографическое моделирование плотности застройки городской среды // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2018. № 7. С. 231-238.
9. Пасхина М.В. Моделирование комплексной устойчивости зданий и сооружений в городской среде средствами ГИС // Ярославский педагогический вестник. 2011. № 3. С. 138-144.
10. Самойлова Н.А. Градостроительная инновационная технология: прообраз информационной модели регулирования среды жизнедеятельности // Экология урбанизированных территорий. 2019. № 3. С. 95-107.
11. Сетлак Г. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений. К., 2004.

12. Скачкова М.Е., Чудова К.А. Трехмерное моделирование градостроительных условий и ограничений земельного участка // Природообустройство. 2019. № 3. С. 39-48.
13. Ткачук Г.А. Дизайн-моделирование городской среды как объекта восприятия // Интерактивная наука. 2020. № 5. С. 17-20.
14. Шадрина А.В. Градостроительное моделирование развивающихся объектов. URL: <https://nirov-ya-ru.livejournal.com/37960.html>.
15. Barbosa, J.A., Bragança, L., Mateus, R. New approach addressing sustain-ability in urban areas using sustainable city models // International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development. Vol. 5 (4). 2014. P. 297-305.
16. Filatova, T., Parker, D.C, van der Veen, A. Introducing Preference Heterogeneity into a Monocentric Urban Model: an Agent-Based Land Market Model // Environmental Modelling and Software. Vol. 26. 2018. P. 179-190.
17. Price, S.J., Terrington, R.L., Busby, J., Bricker, S., Berry, T. 3D ground-use optimisation for sustainable urban development planning: A case-study from Earls Court, London, UK // Tunnelling and Underground Space Technology. Vol. 81. 2018. P. 144-164.

CONCEPTUAL FOUNDATIONS OF INFORMATION MODELING TECHNOLOGY IN URBAN PLANNING

Introduction. For the management of complex urban planning systems, the problems of choosing alternatives and finding effective solutions under conditions of risk and uncertainty in the interaction of many exogenous and endogenous factors are of great theoretical and practical importance. A special place in decision-making is occupied by an integrated approach that allows, based on artificial intelligence models, expert assessment, analytical and computational models, modeling methods and a number of other models and methods, to successfully apply various approaches to decision support, to provide a deeper and more comprehensive account of various factors, their relationship, act in conditions of semi-structured or unstructured information about the control object.

In this regard, the problem of creating integrated intelligent decision support systems based on the theory and principles of hybrid artificial intelligence systems, mathematical modeling methods, system analysis, synthesis of control actions, etc. is relevant.

The **purpose** of this article is to clarify the conceptual foundations of information modeling technology in urban planning.

Materials and methods. To achieve this goal, the article used methods of problem analysis, synthesis, scientific approaches to solving the stated problem, classification of hybrid models used in information modeling in urban planning. The materials of the article are the works of scientists on the stated issues.

Research results. The article points out that the possibilities of modeling in urban planning are asso-

ciated with the development of hybrid models, which are models that are built using various methods. The author determined that a hybrid intelligent system is a combination of: analytical models, expert systems, artificial neural networks, fuzzy systems, genetic algorithms, simulation statistical models.

The main task in the development of hybrid systems is to best combine different forms of representation and methods of knowledge processing in the decision-making process in the field of urban planning.

Discussion and conclusion. The article substantiates the importance of introducing hybrid models for studying the functioning and forecasting the development of urban infrastructure. Approaches to the creation of intelligent information systems for decision support in urban planning based on a combination of analytical methods and models, such as simulation modeling, computational calculations, optimization calculations with soft computing models, such as fuzzy systems, neural networks, genetic solutions of complex weakly structured or unstructured tasks.

The creation of such systems will increase the level of managerial decision-making in urban planning, better assess the quality of the housing policy being pursued.

Anna M. Korneeva,
Ph.D. applicant of the Department of Asset
Management of MGIMO-University, Russia

Ключевые слова:

градостроительство, управленческое решение, модель, моделирование, интеллектуальная система, искусственный интеллект, цифровые технологии

Keywords:

urban planning, management decision, model, simulation, intelligent system, artificial intelligence, digital technologies

References:

1. Astanin, D.M., 2021. Strukturno-funktional'nyy podkhod kak metodologicheskaya osnova modelirovaniya gradostroitel'noy sistemy territorii ekologicheskogo turizma [Structural-functional approach as a methodological basis for modeling the urban planning system of the territory of ecological tourism]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova [Bulletin of the Shukhov Belgorod State Technological University]*. No. 9. P. 64-74.
2. Gavrilov, A.V., 2002. Gibridnyye intellektual'nyye sistemy [Hybrid intelligent systems]. Novosibirsk.
3. Zaalishvili, V.B., Kanukov, A.S., 2013. Algoritm sozdaniya informatsionnykh sistem obespecheniya gradostroitel'noy deyatel'nosti [Algorithm for creating information systems for urban planning]. *Seismostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Seismic construction. Building safety]*. No. 6. P. 19-22.
4. Kanukov, A.S., 2015. Razrabotka modeli i algoritma postroyeniya informatsionnykh sistem obespecheniya gradostroitel'noy deyatel'nosti [Development of a model and algorithm for building information systems for urban planning]: dissertation ... candidate of technical sciences. Taganrog.
5. Kolesnikov, A.V., Kirikov I.A., 2007. Metodologiya i tekhnologiya resheniya slozhnykh zadach metodami funktsional'nykh gibridnykh intellektual'nykh sistem [Methodology and technology for solving complex problems using functional hybrid intelligent systems]. Moscow.
6. Kostina, E.I., 2018. Tsifrovaya ekonomika: kak sostavlyayushchaya gradostroitel'noy politiki [Digital economy: as a component of urban policy]. *Vestnik nauki [Science Bulletin]*. No. 7. S. 40-51.
7. Lyutomsky, T., 2021. Informatsionnoye modelirovaniye territoriy v mire i v Rossii [Information modeling of territories in the world and in Russia]. *Journal of IT News*. No. 04. URL: <https://www.it-world.ru/it-news/tech/170530.html?ysclid=llz5wtvewj892599273>.
8. Makarova, K.P., Levina, Yu.S., Zarubin, O.A., Klimov, A.E., 2018. Matematiko-kartograficheskoye modelirovaniye plotnosti zastroyki gorodskoy sredy [Mathematical-cartographic modeling of urban environment density]. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta [Scientific and technical bulletin of the Bryansk State University]*. No. 7. P. 231-238.
9. Pashkina, M.V., 2011. Modelirovaniye kompleksnoy ustoychivosti zdaniy i sooruzheniy v gorodskoy srede sredstvami GIS [Modeling the complex sustainability of buildings and structures in the urban environment by means of GIS]. *Yaroslavskiy pedagogicheskij vestnik [Yaroslavl Pedagogical Bulletin]*. No. 3. P. 138-144.
10. Samoilova, N.A., 2019. Gradostroitel'naya innovatsionnaya tekhnologiya: proobraz informatsionnoy modeli regulirovaniya sredy zhiznedeyatel'nosti [Urban planning innovative technology: a prototype of the information model for regulating the environment of life]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorij [Ecology of Urbanized Territories]*. No. 3. P. 95-107.
11. Setlak, G., 2004. Intelletual'nyye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy [Intelligent decision support systems].
12. Skachkova, M.E., Chudova, K.A., 2019. Trekhmernoye modelirovaniye gradostroitel'nykh usloviy i ogranicheniy zemel'nogo uchastka [Three-dimensional modeling of town-planning conditions and restrictions of the land plot]. *Prirodoobustrojstvo [Environment Engineering]*. No. 3. P. 39-48.
13. Tkachuk, G.A., 2020. Dizayn-modelirovaniye gorodskoy sredy kak ob'yekta vospriyatiya [Design modeling of the urban environment as an object of perception]. *Interaktivnaya nauka [Interactive Science]*. No. 5. P. 17-20.
14. Shadrina, A.V., 2014. Gradostroitel'noye modelirovaniye razvivayushchikhsya ob'yektov [Urban modeling of developing objects]. URL: <https://nirov-ya-ru.livejournal.com/37960.html>.
15. Barbosa, J.A., Bragança, L., Mateus, R., 2014. New approach addressing sustainability in urban areas using sustainable city models. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*. Vol. 5 (4). P. 297-305.
16. Filatova, T., Parker, D.C., van der Veen, A., 2018. Introducing Preference Heterogeneity into a Monocentric Urban Model: an Agent-Based Land Market Model. *Environmental Modeling and Software*. Vol. 26. P. 179-190.
17. Price, S.J., Terrington, R.L., Busby, J., Bricker, S., Berry, T., 2018. 3D ground-use optimization for sustainable urban development planning: A case-study from Earls Court, London, UK. *Tunneling and Underground Space Technology*. Vol. 81. P. 144-164.