

Использование нечетких когнитивных карт для решения задачи развития муниципальных образований

А. В. Петухова¹, А.В. Коваленко², М.В. Шарпан³

¹*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону*

²*Кубанский государственный университет, Краснодар*

³*Краснодарский университет МВД России, Краснодар*

Аннотация: В условиях быстрой урбанизации общества моделирование процессов устойчивого развития городов привлекает значительное внимание ученых. В данной статье представлено исследование нечетких когнитивных карт (НКК) как междисциплинарной модели для имитации процессов городского развития. Это подчеркивает универсальность НКК в интеграции экспертных знаний и количественной оценке влияния показателей, которые формируют городское пространство, от инфраструктуры и жилья до экологической устойчивости и благополучия общества. В исследовании используется синтез обширного обзора литературы и экспертных мнений с целью создания и уточнения когнитивной карты, адаптированной для развития муниципальных образований. Изложенная методология формулирует систематический подход к выбору концептов, присвоению весов и проверке модели. Благодаря сотрудничеству с межотраслевыми экспертами, исследование подтверждает ценность НКК для выявления каскадных эффектов в процессе принятия решений при формировании стратегий развития города. Признавая ограничения, присущие экспертным методам и нечеткий характер данных, авторы приводят доводы в пользу эффективности НКК не только в выявлении, но и в решении возникающих проблем урбанизации. В конечном счете, эта статья привносит детальный взгляд на дискурс стратегического планирования, поскольку авторы выступают за использование НКК в качестве инструмента поддержки принятия управленческих решений, который может помочь руководящим органам в обеспечении устойчивого и справедливого городского будущего.

Ключевые слова: нечеткие когнитивные карты, городское развитие, городское планирование, устойчивая урбанизация, экспертные системы, благополучие общества.

Введение

Развитие муниципальных образований — это многогранная задача, состоящая из многочисленных взаимодействующих факторов, которые в совокупности определяют качество и устойчивость городской жизни. Поскольку города быстро расширяются и сталкиваются со сложными проблемами, существует потребность в инновационных инструментах, которые могут фиксировать, анализировать и прогнозировать динамику роста муниципальных образований.

Нечеткие когнитивные карты (НКК) предлагают способ моделировать тонкую сложность городских систем через призму мягких вычислений. Они позволяют архитекторам, политикам и другим заинтересованным сторонам визуализировать и моделировать влияние различных переменных и политических решений на развитие города. В основе этого подхода лежит интеграция человеческого опыта и количественного анализа, где нечеткая логика учитывает присущую экспертным знаниям двусмысленность. Создавая НКК на основе как литературных данных, так и экспертных методологий, это исследование пытается синтезировать огромные объемы информации в последовательные концепты и их взаимосвязи. В контексте городского дизайна такие концепты, как доступность и благополучие общества, рассматриваются как центральные основы динамичных и инклюзивных городов.

В этой статье делается попытка очертить методологический путь создания НКК, адаптированных для городского развития, продемонстрировать их применение и подчеркнуть их значение в дискурсе городского планирования. Цель состоит в том, чтобы создать НКК не просто как теоретическую конструкцию, но и как практическую помощь в принятии управленческих решений в непрерывном поиске оптимальной городской среды [1].

Моделирование процессов в муниципальных образованиях

Интеграция НКК в муниципальное планирование и развитие городов становится все более важным аспектом создания умной и устойчивой городской среды. НКК, как метод мягких вычислений, сочетает в себе элементы нечеткой логики и нейронных сетей для моделирования сложных систем с присущей им неопределенностью экспертных знаний. Составляя карту причинно-следственных связей между различными концептами и

моделируя их динамику, НКК позволяют заинтересованным сторонам предвидеть последствия различных политических решений и вмешательств.

Когнитивные карты берут свое начало в психологии и первоначально были предложены Э.С. Толманом в 1948 году как средство представления ментальных моделей [2]. Эволюция от когнитивных карт к НКК включала добавление к этим представлениям тематической структуры, как это было предложено Б. Коско в 1986 году [3]. Инновация НКК заключалась в их способности справляться с двусмысленностью и неточностью экспертных знаний, тем самым улучшая процесс принятия решений в сложных системах. Ранние исследования НКК были сосредоточены на различных областях: от экологического моделирования до анализа социально-политической стабильности, демонстрируя универсальность НКК в определении динамики сложных систем. В системном моделировании НКК известны своей способностью учитывать несколько точек зрения и исследовать потенциальное влияние различных переменных, взаимодействующих нелинейно [4].

В контексте городского планирования НКК использовались для понимания и прогнозирования городской динамики, позволяя проводить анализ, включающий социальные, экономические и экологические аспекты. В литературе описано применение НКК для анализа пробок на дорогах [5], планирования землепользования [6] и оценки устойчивости городов [7]. Исследования [8] и [9], продемонстрировали полезность НКК в стратегическом планировании и анализе политики, подчеркнув их роль в обеспечении ясности в сложных процессах принятия решений.

Несмотря на достигнутый прогресс, НКК, используемые в городском развитии сталкиваются с проблемами, связанными с субъективным характером привлечения экспертов, масштабируемостью моделей и необходимостью надежных методов проверки. Тем не менее, растущее

количество литературы указывает потенциал НКК для внесения значимого вклада в проектирование будущих городов. Ожидается, что достижения в области вычислительных методов и повышение доступности данных будут способствовать дальнейшему использованию НКК при принятии управленческих решений в области городского развития.

Методы исследования

Дизайн исследования для создания и использования НКК для развития города предполагает систематический подход к сбору и синтезу как качественной, так и количественной информации из широкого спектра источников. Этот смешанный подход сочетает в себе тщательный обзор литературы и привлечение экспертов в предметной области для построения и уточнения карт.

Этап 1: Сбор концептов из литературы. Начальный этап состоит из обширного обзора научной литературы, политических документов, планов городского развития и других соответствующих источников. Целью данного обзора является определение ключевых идей, традиционно рассматриваемых в городском развитии и проектировании городов (например, инфраструктура, землепользование, экономическое развитие).

Этап 2: Первоначальное построение НКК. На основе этих идей определяется первоначальный набор концептов и их связей для создания предварительного НКК. На этом этапе карта является в основном теоретической, с отношениями и весами, присвоенными в соответствии с данными литературы. Например, влияние инфраструктуры на экономическое развитие можно определить количественно на основе эконометрических исследований, которые пытались измерить эту взаимосвязь в прошлом. Веса карты представляют собой действительные числа $[-1, 1]$, представляющие силу и характер (положительный или отрицательный) влияния.

Этап 3: Привлечение экспертов. После обзора литературы первоначальная версия НКК предоставляется группе экспертов в предметной области, которые приносят практический опыт в концептуальную основу НКК. Эксперты отбираются на основе их знаний и опыта в различных аспектах городского развития, включая городское планирование, гражданское строительство, экологию, социологию, экономику и государственное управление.

Этап 4: Сбор весов. Экспертов просят проанализировать и уточнить первоначальную НКК, предоставив вес и направление связей между каждой парой концептов. Они могут использовать методы парного сравнения, прямую оценку или другие специализированные методы выявления для количественного определения весов. На этом этапе использовались интервью для систематического сбора мнений и предпочтений экспертов.

Этап 5: Интеграция и адаптация экспертного вклада. Результатом обратной связи экспертов является адаптированная НКК, в которой связи и сила этих связей (веса) отражают медианную оценку всех мнений. Двойной подход, заключающийся в сочетании тщательного обзора литературы и привлечения экспертов, гарантирует, что НКК одновременно основана на фактических данных и отражает практический опыт. Этот дизайн исследования необходим для разработки реалистичных и прикладных НКК, которые можно использовать для стратегического планирования и моделирования развития муниципальных образований.

Результаты численного эксперимента

На основе обзора литературы были определены концепты для НКК городского развития, которые в совокупности определяют городскую среду. Эти концепты представляют собой как материальные, так и нематериальные элементы, которые взаимодействуют, формируя городскую жизнь. В Таблице 1 представлены выбранные концепты НКК и их описание.

Таблица №1.

Концепты, влияющие на развитие муниципальных образований.

Здесь КС – концепт состояния, УК – управляющий концепт, ЦК – целевой концепт.

Обозначение	Концепт	Описание	Тип
1	2	3	4
X1	Валовой региональный продукт	Относятся к общему экономическому объему производства или добавленной стоимости всех производителей в регионе. В контексте развития города часто рассматривается для понимания экономического вклада города в общую экономику страны [10].	КС
X2	Объем промышленного производства	Охватывает продукцию обрабатывающей, горнодобывающей, электрической и газовой промышленности в пределах территории. Считается, что этот показатель отражает экономическое состояние региона и его способность создавать рабочие места и обеспечивать экономический рост[11].	КС
X3	Объем производства услуг	Отражает масштаб сектора услуг, который может включать такие сегменты, как финансы, образование, здравоохранение, розничная торговля и информационные технологии. Рост или спад производства услуг может оказать глубокое влияние на городскую экономику, занятость и общую эволюцию города [12].	КС
X4	Конкурентоспособность продукции	Означает способность города производить товары и услуги, соответствующие ожиданиям мирового рынка по качеству и цене. Высокий уровень конкурентоспособности продукции может привлечь инвестиции, способствовать диверсификации экономики и обеспечить устойчивый рост города за счет создания рабочих мест и укрепления репутации города как центра инноваций и передового опыта [13].	КС

1	2	3	4
X5	Уровень социальной безопасности	Включает в себя предотвращение преступности, общественное здравоохранение, готовность к стихийным бедствиям и общее чувство безопасности для жителей, что имеет решающее значение для здоровой городской жизни [14].	КС
X6	Уровень спроса и потребления	Может существенно повлиять на траекторию развития города, поскольку более высокие потребительские расходы стимулируют рост бизнеса и привлекают новые инвестиции. Кроме того, понимание местных моделей потребления позволяет городским планировщикам и политикам адаптировать инфраструктуру и услуги для лучшего удовлетворения растущих потребностей городских жителей, тем самым поддерживая устойчивое городское развитие [15].	КС
X7	Эффективность использования ресурсов	Направлен на минимизацию отходов и оптимизацию воздействия городской деятельности на окружающую среду. Оптимизируя потребление энергии, воды и материалов, города могут улучшить свое воздействие на устойчивое развитие, сократить расходы и повысить комфортность жизни своих жителей [16].	КС
X8	Объем инвестиций	Служит источником жизненной силы для развития города, катализируя экономический рост и улучшая качество жизни жителей. Крупномасштабные инвестиции могут изменить городские ландшафты, стимулировать создание рабочих мест и привлечь бизнес, в то время как недостаточные инвестиции могут тормозить развитие и привести к упадку городов [17].	КС
X9	Уровень развития инфраструктуры	Инфраструктура относится к физическим активам, необходимым для функционирования города, включая транспортные системы, коммунальные услуги и сети связи. Развитие и поддержание инфраструктуры напрямую влияет на мобильность, экономический рост и	КС

1	2	3	4
X10	Уровень загрязнения	качество жизни [18]. Высокий уровень загрязнения окружающей среды может отпугивать инвестиции, наносить вред здоровью населения и снижать общее качество жизни, тем самым препятствуя росту и привлекательности города. И, наоборот, эффективное управление и сокращение загрязнения может повысить комфортность жизни в городах, привлечь экологически сознательных жителей и предприятия, а также укрепить репутацию города, как чистого и желательного места для жизни и работы [19][20].	КС
X11	Средняя заработная плата	Более высокая средняя заработная плата в городе может повысить покупательную способность потребителей, стимулируя местную экономику и потенциально привлекая квалифицированную рабочую силу, что, в свою очередь, может способствовать дальнейшим городским инновациям и развитию. Однако, если не принять меры наряду с корректировкой стоимости жизни, это может усугубить социально-экономическое неравенство и повлиять на доступность жилья [20].	КС
X12	Объем финансирования здравоохранения	Имеет решающее значение для обеспечения здоровья рабочей силы и населения, способствуя общей производительности и привлекательности города как для новых жителей, так и для предприятий, в то время как недостаточные инвестиции в здравоохранение могут привести к системным проблемам со здоровьем и затруднить долгосрочную перспективу. демографический рост.	КС
X13	Объем социального финансирования	Благосостояние сообщества связано с социальным капиталом, культурной деятельностью и местами отдыха, которые способствуют качеству жизни в городских условиях [20].	КС

1	2	3	4
X14	Уровень безработицы	Низкий уровень безработицы обычно указывает на устойчивую городскую экономику с широкими возможностями трудоустройства, что может привлечь соискателей работы и поддержать динамичное развитие города, тогда как высокий уровень безработицы может создать нагрузку на социальные услуги и ограничить экономический прогресс.	КС
X15	Уровень развития технологий	Стимулирует инновации, эффективность и часто приводит к созданию высокооплачиваемых рабочих мест, способствуя созданию атмосферы прогресса и экономического роста. Городу, отстающему в технологиях, может быть трудно сохранить таланты и конкурировать на мировом уровне, что ограничивает перспективы его развития.	КС
X16	Социальная напряженность	Этот концепт направлен на создание социально инклюзивной и справедливой среды для всех жителей города, включая доступ к услугам, удобствам и возможностям [21].	КС
X17	Уровень обеспеченности "зелеными" территориями	Города с обширными «зелеными» территориями, такими, как парки и природные пространства, часто более привлекательны для жителей и туристов, предлагая преимущества для здоровья и отдыха, которые улучшают качество жизни и могут способствовать устойчивому городскому развитию. Пренебрежение зелеными насаждениями может снизить привлекательность города и способствовать ухудшению состояния окружающей среды и проблемам общественного здравоохранения.	УК
X18	Политическая	Этот концепт определяет процессы	УК

	стабильность	принятия решений в городе и степень участия жителей в формировании городского развития [22].	
1	2	3	4
X19	Численность населения	Растущее население может сигнализировать о процветании города, увеличении спроса на товары, услуги и жилье, что стимулирует экономическую активность и возможности развития; и, наоборот, сокращение численности населения может привести к экономическому спаду и недостаточному использованию инфраструктуры.	КС
X20	Трудовой потенциал	В городах с высоким трудовым потенциалом имеется рабочая сила с разнообразными навыками и высокой производительностью, которая привлекает работодателей и способствует экономическому росту, в то время как нехватка квалифицированной рабочей силы может удерживать предприятия от инвестиций и ограничивать инновации и расширение.	КС
X21	Прибыль предприятий	Здоровая норма прибыли предприятий в городе может указывать на сильную экономику и обеспечивать средства для реинвестирования в местное развитие, занятость и инновации; недостаточная прибыльность может привести к закрытию предприятий, потере рабочих мест и экономической стагнации.	КС
X22	Обеспеченность объектами соц., культ. и спорт. назначения	Этот концепт подробно описывает управление и планирование земельных ресурсов, а также то, как они распределяются для жилых, коммерческих, промышленных и рекреационных целей. Планирование землепользования имеет решающее значение для устойчивого городского развития и предотвращения разрастания городов [23].	КС

1	2	3	4
X23	Жилой фонд	Наличие, доступность и качество жилья в городских условиях имеют решающее значение для обеспечения высокого уровня жизни жителей [24].	КС
X24	Уровень налогов	Конкурентоспособные уровни налогов могут стимулировать бизнес-инвестиции и способствовать процветанию города, однако чрезмерно высокие налоги могут отпугнуть представителей предприятий и жителей, препятствуя экономической жизнеспособности и развитию инфраструктуры.	КС
X25	Уровень инфляции	Может оказать существенное влияние на развитие города, подрывая покупательную способность потребителей и увеличивая стоимость инфраструктурных проектов, потенциально замедляя экономический рост и приводя к более осторожным инвестиционным стратегиям. Кроме того, неконтролируемая инфляция может усугубить проблемы доступности продуктов потребления для жителей города, что приведет к большему неравенству доходов и создаст проблемы для местных органов власти в предоставлении справедливых государственных услуг.	КС
X26	Экономическая стабильность	Экономическая стабильность является центральным аспектом городского планирования. Оно включает в себя создание рабочих мест, поддержку инноваций и предпринимательства, а также содействие инвестициям и торговле [25].	КС
X27	Эколого-ресурсный потенциал территории	Этот концепт описывает создание городского дизайна, который способствует энергоэффективности, сокращению отходов и сохранению природных ресурсов [26].	КС
Y1	Туристическая привлекательность города	Города, являющиеся важными туристическими направлениями, получают выгоду от внешних инвестиций, создания рабочих мест в секторе услуг и повышения культурной активности, что способствует	ЦК

1	2	3	4
		городскому развитию; отсутствие туризма может привести к упущенным экономическим возможностям и недостаточному использованию культурных ценностей.	
У2	Уровень социального благополучия	Концепт описывает общий уровень социального благополучия города, включая его инфраструктуру, образование и управление, служит основой для поддержания текущего роста и привлечения будущих инвестиций, тогда как недостаточная развитость может создавать препятствия для прогресса и снижать благосостояние жителей.	ЦК
У3	Эколого-экономическая эффективность	Акцент города на экологической и экономической эффективности может привести к устойчивому росту, сохранению ресурсов для будущих поколений, обеспечивая при этом экономический импульс, тогда как неэффективность может привести к отходам, загрязнению окружающей среды и финансовым проблемам, которые препятствуют долгосрочному развитию.	ЦК

На этапе отбора экспертов была тщательно выбрана группа экспертов в предметной области, чтобы обеспечить всесторонний и разнообразный спектр точек зрения на развитие города. Критерии отбора включают в себя академическое образование, профессиональный опыт, публикации и практическое участие в проектах городского планирования. Участники привлекались из различных областей, таких, как городское планирование, архитектура, гражданское строительство, экология, экономика и местное самоуправление, чтобы охватить междисциплинарный характер городского развития. Всего были выбраны 8 экспертов, работающих в Краснодарском крае. Выбранные эксперты продемонстрировали знание местного и более

2. Y2 Уровень социального благополучия.
3. Y3 Эколого-экономическая эффективность.

Было проведено формирование когнитивной матрицы взаимовлияний и согласование отношений взаимовлияния концептов по методу, описанному в работе [27]. Из исходной НКК $W = W_j$ размерностью $n \times n$, была сформирована нечеткая матрица положительных связей $R(2n \times 2n)$. В результате расчетов была получена транзитивно замкнутая когнитивная матрица взаимовлияний, которая позволяет произвести расчет системных показателей НКК. Были определены системные показатели влияния концептов на систему и системы на концепты представленные в Таблице 3.

Таблица 3.

Системные характеристики НКК развития муниципальных образований

Концепт	Консонанс влияния системы	Консонанс влияния концепта	Влияние системы на концепт	Влияние концепта на систему
1	2	3	4	5
X1	0.716	0.564	0.067	0.003
X2	0.653	0.505	0.044	0.047
X3	0.616	0.564	0.021	0.011
X4	0.677	0.506	0.006	0.019
X5	0.613	0.562	0.025	0.031
X6	0.616	0.506	0.044	0.051
X7	0.628	0.033	0.03	0.01
X8	0.764	0.612	0.026	0.013
X9	0.133	0.712	0.006	0.023
X10	0.66	0.514	0.007	-0.01
X11	0.409	0.632	-0.007	0.037
X12	0.674	0.572	0.005	0.009
X13	0.674	0.455	0.003	0.006
X14	0.513	0.657	-0.046	-0.018
X15	0.76	0.64	0.004	0.03
X16	0.546	0.462	-0.044	-0.051

X17	0	0.737	0	0.045
X18	0	0.598	0	0.011
X19	0.587	0.671	0.017	0.007
X20	0.601	0.678	0.005	-0.008
X21	0.732	0.505	0.015	0.022
1	2	3	4	5
X22	0.133	0.607	0.008	0.022
X23	0	0.618	0	-0.005
X24	0.674	0.509	0.032	-0.003
X25	0.044	0.461	-0.017	0.024
X26	0.044	0.476	0.016	-0.004
X27	0.033	0.033	0.008	0.002
Y1	0.591	0	-0.001	0
Y2	0.597	0	0.033	0
Y3	0.705	0	0.026	0

Произведен анализ НКК, который показал, что первый целевой концепт система ослабляет, но диссонанс ослабляющего действия выше среднего, поэтому намечается тенденция к стабилизации туристической привлекательности города. Целевые концепты Y2 и Y3 усиливаются системой, при этом консонанс выше среднего, что отображает оптимистичную тенденцию развития системы по этим концептам. Концепт “Уровень спроса и потребления” в наибольшей степени по сравнению с другими концептами усиливает систему (положительное влияние концепта на систему 0,051), а система, в свою очередь, слабее увеличивает этот концепт. Консонансы системы и концепта примерно равны, поэтому концепт сам обеспечивает усиление системы. “Уровень спроса и потребления” — хорошо сбалансированный концепт, он обеспечивает усиление системы в равной степени, как и оно его. Следующими по степени положительного усиления системы являются следующие концепты: X2 “Объем промышленного производства”, X17 “Уровень обеспеченности “зелеными” территориями”. “Валовой региональный продукт” и “Объем промышленного производства”. Система в наибольшей степени, по сравнению с другими

концептами, ослабляет концепт X14 “Уровень безработицы”. “Социальная напряженность” действует отрицательно на систему, в то время, как система также ослабляет этот концепт. При этом консонансы системы и концепта лежат в одном диапазоне. Концепт “Уровень безработицы” противоречивый: система ослабляет его, но он оказывает слабое отрицательное влияние на систему.

Системные показатели в большинстве случаев не дают информации о валентности взаимодействия концептов с системой, однако характерным показателем валентности является консонанс. При кластеризации системных показателей можно выделить концепты, имеющие высокий консонанс, — это X5 ~ X29, X25 ~ X26, X2 ~ X6, так называемые хорошие фигуры, и высокий диссонанс — это X16 ~ X19 (плохие фигуры).

Проведенный структурный анализ НКК позволил выявить информацию для “реструктурирования” проблем городского развития и может помочь найти противоречивые места системы с целью изменения структуры и весов причинно-следственных связей в исходной матрице.

На следующем этапе произведено решение задачи поддержки принятия решения и формирование стратегий развития системы. Задача была решена путем определения вектора начальных состояний системы, которые приводят к заданным целевым показателям по алгоритму, описанному в работе [28]. В Таблицы 4 приведены заданные приращения целевых концептов.

Таблица 4.

Целевые приращения концептов

Концепт	Изменение концепта	Консонанс
Y1 (положительное)	0.040	0.300
Y1 (отрицательное)	0.022	0

Y2 (положительное)	0.007	0.177
Y2 (отрицательное)	0.005	0
Y3 (положительное)	0.001	0.177
Y3 (отрицательное)	0.000	0

При решении обратной задачи получен вектор значений приращений управляющих концептов, представленный в Таблице 5, Таблице 6 и Таблице 7 для различных операций композиции:

Таблица 5.

Приращения целевых концептов при композиции max – min

Тип решения	X17 приращение	X17 консонанс	X18 приращение	X18 консонанс	X23 приращение	X23 консонанс
макс	0.0007	0	0.0007	0	0.0007	0
мин	0	0	0	0	-0.0007	1
мин	0	0	0	0	0.0007	1
мин	0	0	-0.0007	1	0	0
мин	0	0	0	0	0	0
мин	-0.0007	1	0	0	0	0
мин	0.0007	1	0	0	0	0

Таблица 6.

Приращения целевых концептов при композиции max – prod

Тип решения	X17 приращение	X17 консонанс	X18 приращение	X18 консонанс	X23 приращение	X23 консонанс
макс	0.011	0.177	0.058	0.177	0.087	0.177
мин	0.011	0.177	0	0	0.087	0.177
мин	0.011	0.177	0.058	1	-0.061	1
мин	0.011	0.177	-0.041	1	0.087	1
мин	0.001	0.177	0.058	0.177	0	0

Таблица 7.

Приращения целевых концептов при композиции $\max - \text{bounded diff}$

Тип решения	X17 приращение	X17 консонанс	X18 приращение	X18 консонанс	X23 приращение	X23 консонанс
макс	0.96	0.01	1	0	1	0
мин	0.96	0.01	0	0	0	0

Охарактеризуем результаты, представленные в Таблице 7. Полученная верхняя стратегия направлена на незначительные увеличения концептов “Уровень обеспеченности “зелеными” территориями”, “Политическая стабильность” и “Жилой фонд”, что позволит увеличить концепт “Туристическая привлекательность региона” до целевой значения и даже в незначительной мере увеличить остальные целевые концепты. При этом консонанс управляемых концептов низкий, поэтому в данной систему необходимо учитывать как положительные, так и отрицательные компоненты стратегии. Сравнивая данные, описанные в Таблице 5, Таблице 6 и Таблице 7, можно заметить, что система является более устойчивой при использовании операции $\max - \text{bounded_diff}$, самые мягкие условия изменения приращений концептов получены при применении операции $\max - \text{min}$, что соответствует свойствам этих операторов каузальной алгебры.

С помощью построенной НКК и решения обратной задачи можно моделировать процесс развития муниципальных образований путем изменения значений управляющих концептов с целью имитации стратегии развития муниципальных образований.

Ограничения модели. Одним из ограничений этого исследования является присущая экспертным мнениям субъективность, которая может внести предвзятость и повлиять на объективность НКК, потенциально искажая представленные веса и связи. Отбор участников может не

охватывать все соответствующие области или перспективы городского развития, что приводит к неполному представлению сложной городской экосистемы на когнитивной карте. Нечеткий характер данных и лингвистическая аппроксимация, используемая при присвоении весов, могут привести к нечеткости и неточности структуры карты. Кроме того, из-за быстрого развития и непредсказуемости городских систем НКК может не полностью отражать возникающие тенденции или непредвиденные разрушительные события, которые могут существенно повлиять на развитие города. Наконец, возможность обобщения результатов может быть ограничена, поскольку результаты сильно зависят от контекста и могут быть неприменимы к разным городам с уникальными характеристиками и проблемами.

Литература

1. Johnson C.W. What are emergent properties and how do they affect the engineering of complex systems? *Reliability Engineering & System Safety*. 2006. №91. pp. 1475 – 1481.
2. Tolman E.C. Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*. 1948 №55. 4. pp. 189 – 208.
3. Kosko B. Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*. 1986. №24. pp. 65 – 75.
4. Петухова А.В., Коваленко А.В., Теунаев Д.М. Обзор динамических свойств и алгоритмов обучения нечетких когнитивных карт. Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета. 2021. №167. С. 43 – 74.
5. Rodrigues C., Lima S.R., Álvarez Sabucedo L.M., Carvalho P. An ontology for managing network services quality. *Expert Systems with Applications*. 2012. №39. 9. pp. 7938 – 7946.

6. Glykas M. Fuzzy cognitive maps. Advances in theory, methodologies, tools and applications. 2010. 10.1007/978-3-642-03220-2.
7. Assunção E.R.G.T.R., Ferreira F.A.F., Meidutė-Kavaliauskienė I., Zopounidis C., Pereira L.F., Correia R. J. C. Rethinking urban sustainability using fuzzy cognitive mapping and system dynamics. International Journal of Sustainable Development & World Ecology. 2020. №27. 3. pp. 261 – 275.
8. Папагеоргиу К., Исматуллина В.И., Залешин М.С., Белова А.П. Гендерные различия в когнитивных способностях: роль стереотипа и «эффект сиблинга». Теоретическая и экспериментальная психология. 2012. Т. 5. № 4. С. 83 – 90.
9. Olazabal M., Pascual U. Use of fuzzy cognitive maps to study urban resilience and transformation. Environmental Innovation and Societal Transitions. 2016. №18. pp. 18 – 40.
10. Пахомов А.А., Соломонов М.П., Анализ влияния факторов производства на экономический рост регионов. Власть и управление на Востоке России. 2020. №3. 92. с. 107 – 119.
11. Juraschek M., Bucherer M., Schnabel F., Hoffschroer H., Vossen B., Kreuz F., Thiede S., Herrmann Ch. Urban Factories and Their Potential Contribution to the Sustainable Development of Cities. Procedia CIRP. 2018 V. 69. pp. 72 – 77.
12. Zhang J., Cheng JW., Philbin S.P., Ballesteros-Pérez, P., Skitmore M., Wang G. Influencing factors of urban innovation and development: a grounded theory analysis. Environment Development and Sustainability. 2023. №25. pp. 2079 – 2104.
13. Putu Eka Juliana J., Made U., Yasa I., Yuliarmi Ni. Improving competitiveness and well-being through human resources quality, local culture, and product performance. Cogent Business & Management. 2020. №7. 10.1080/23311975.2020.1831247.

14. Coaffee J., Ham P. 'Security branding': The role of security in marketing the city, region or state. *Place Branding and Public Diplomacy*. 2008. №4. pp. 191 – 195.
15. Xiaobing L., Xinxin Sh., Kuo G. The Relationship between Urbanization and Consumption Upgrading of Rural Residents under the Sustainable Development: An Empirical Study Based on Mediation Effect and Threshold Effect. *Sustainability*. 2023. №15. 10.3390/su15108426.
16. Liu Ya., Lu F., Xian Ch., Ouyang Zh. Urban development and resource endowments shape natural resource utilization efficiency in Chinese cities. *Journal of Environmental Sciences*, V. 126. 2023. pp. 806 – 816.
17. Kang W., Changcheng Y. Exploring the association between shrinking cities and the loss of external investment: An intercity network analysis. *Cities*. 2021. №119. 10.1016/j.cities.2021.103351.
18. Fistola R., La Rocca R.A. Driving functions for urban sustainability: The double-edged nature of urban tourism. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 2016. №12. 3. pp. 425 – 434 p.
19. Liang L., Gong P. Urban and air pollution: a multi-city study of long-term effects of urban landscape patterns on air quality trends. *Scientific Reports*. 2020. №10. 10.1038/s41598-020-74524-9
20. Veenhoven R. How do we assess how happy we are? Tenets, implications and tenability of three theories. *Happiness, Economics and Politics*. Cheltenham. Edward Elgar Publishing. 2009. Chapter 3. pp. 45–69.
21. Soja E.W. *Seeking Spatial Justice*. University of Minnesota Press. Oxford. Oxford Academic. 2010. 10.5749/minnesota/9780816666676.001.0001.
22. Fainstein S. The just city. *International Journal of Urban Sciences*. 2013. №18. pp. 1 – 18.
23. Middleton J., Samanani F. Whose city? Which sociality? *Urban Geography*. 2022, №43. pp. 1 – 7.

24. Reed R. The significance of social influences and established housing values. Proceedings of the 7th Annual Pacific Rim Real Estate Society Conference. 2001. №69. pp. 21 – 24.

25. Antonescu D. Liveable City from an Economic Perspective. Journal for Urban and Landscape Planning (JULP). 2017. №2. 10.54508/JULP.02.02.

26. Pickett S.T.A., Mcgrath B., Cadenasso M., Felson A. Ecological resilience and resilient cities. Building Research and Information. 2014. №42. 10.1080/09613218.2014.850600.

27. Петухова А.В., Коваленко А.В. Методы прогнозирования развития сложных систем с применением теории нечетких когнитивных карт. Вычислительная математика и информационные технологии. 2022. №1. С. 81 – 95.

28. Petukhova A.V., Kovalenko A.V., Ovsyannikova A.V. Algorithm for Optimization of Inverse Problem Modeling in Fuzzy Cognitive Maps. Mathematics. 2022. №10. pp. 34 – 52.

References

1. Johnson C.W. Reliability Engineering & System Safety. 2006. №91. pp. 1475 – 1481.

2. Tolman E.C. Cognitive maps in rats and men. Psychological Review. 1948 №55. 4. pp. 189 – 208.

3. Kosko B. Fuzzy cognitive maps. International Journal of Man-Machine Studies. 1986. №24. pp. 65 – 75.

4. Petukhova A.V., Kovalenko A.V., Teunaev D.M. Politematicheskij setevoj e`lektronny`j nauchny`j zhurnal kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. №167. pp. 43 – 74.

5. Rodrigues C., Lima S.R., Álvarez Sabucedo L.M., Carvalho P. Expert Systems with Applications. 2012. №39. 9. pp. 7938 – 7946.

6. Glykas M. Fuzzy cognitive maps. Advances in theory, methodologies, tools and applications. 2010. 10.1007/978-3-642-03220-2.
7. Assunção E.R.G.T.R., Ferreira F.A.F., Meidutė-Kavaliauskienė I., Zopounidis C., Pereira L.F., Correia R. J. C. International Journal of Sustainable Development & World Ecology. 2020. №27. 3. pp. 261 – 275.
8. Papageorgiu K., Ismatullina V.I., Zaleshin M.S., Belova A.P. Teoreticheskaya i eksperimental'naya psixologiya. 2012. T. 5. № 4. pp. 83 – 90.
9. Olazabal M., Pascual U. Environmental Innovation and Societal Transitions. 2016. №18. pp. 18 – 40.
10. Paxomov A.A., Solomonov M.P., Vlast` i upravlenie na Vostoke Rossii. 2020. №3. 92. pp. 107 – 119.
11. Juraschek M., Bucherer M., Schnabel F., Hoffschroer H., Vossen B., Kreuz F., Thiede S., Herrmann Ch. Procedia CIRP. 2018 V. 69. pp. 72 – 77.
12. Zhang J., Cheng JW, Philbin S.P., Ballesteros-Pérez, P., Skitmore M., Wang G. Environment Development and Sustainability. 2023. №25. pp. 2079 – 2104.
13. Putu Eka Juliana J., Made U., Yasa I., Yuliarmi Ni. Cogent Business & Management. 2020. №7. 10.1080/23311975.2020.1831247.
14. Coaffee J., Ham P. 'Security branding': The role of security in marketing the city, region or state. Place Branding and Public Diplomacy. 2008. №4. pp. 191 – 195.
15. Xiaobing L., Xinxin Sh., Kuo G. The Relationship between Urbanization and Consumption Upgrading of Rural Residents under the Sustainable Development: An Empirical Study Based on Mediation Effect and Threshold Effect. Sustainability. 2023. №15. 10.3390/su15108426.
16. Liu Ya., Lu F., Xian Ch., Ouyang Zh. Journal of Environmental Sciences, V. 126. 2023. pp. 806 – 816.

17. Kang W., Changcheng Y. Exploring the association between shrinking cities and the loss of external investment: An intercity network analysis. *Cities*. 2021. №119. 10.1016/j.cities.2021.103351.

18. Fistola R., La Rocca R.A. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 2016. №12. 3. pp. 425 – 434.

19. Liang L., Gong P. *Scientific Reports*. 2020. №10. 10.1038/s41598-020-74524-9

20. Veenhoven R. How do we assess how happy we are? Tenets, implications and tenability of three theories. *Happiness, Economics and Politics*. Cheltenham. Edward Elgar Publishing. 2009. Chapter 3. pp. 45–69.

21. Soja E.W. *Seeking Spatial Justice*. University of Minnesota Press. Oxford. Oxford Academic. 2010. 10.5749/minnesota/9780816666676.001.0001.

22. Fainstein S. The just city. *International Journal of Urban Sciences*. 2013. №18. pp. 1 – 18.

23. Middleton J., Samanani F. Whose city? Which sociality? *Urban Geography*. 2022, №43. pp. 1 – 7.

24. Reed R. The significance of social influences and established housing values. *Proceedings of the 7th Annual Pacific Rim Real Estate Society Conference*. 2001. №69. pp. 21 – 24.

25. Antonescu D. Liveable City from an Economic Perspective. *Journal for Urban and Landscape Planning (JULP)*. 2017. №2. 10.54508/JULP.02.02.

26. Pickett S.T.A., Mcgrath B., Cadenasso M., Felson A. Ecological resilience and resilient cities. *Building Research and Information*. 2014. №42. 10.1080/09613218.2014.850600.

27. Petukhova A.V., Kovalenko A.V. Vy`chislitel`naya matematika i informacionny`e texnologii. 2022. №1. pp. 81 – 95.

28. Petukhova A.V., Kovalenko A.V., Ovsyannikova A.V. *Mathematics*. 2022. №10. pp. 34 – 52.

Дата поступления: 5.01.2024

Дата публикации: 21.02.2024