

## АНАЛИЗ ОПЫТА ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Неупокоева Е.О. (ИИММ КНЦ РАН)

Научный руководитель – кандидат технических наук Быстров В.В. (ИИММ КНЦ РАН)

**Введение.** В последнее время наблюдается рост интереса со стороны исследователей к имитационному моделированию в связи с гибкими возможностями данного инструмента [1]. В рамках текущего исследования разрабатываются методические программные средства имитационно-аналитической поддержки управления жизнеспособностью региональных социально-экономических систем [2]. Одной из задач исследования является интеграция имитационного моделирования и нечеткой логики, позволяющей работать с качественными оценками. Эта комбинация инструментов используется для моделирования сложных систем в различных областях, включая управление социально-экономическими процессами.

**Основная часть.** В рамках исследования были рассмотрены отечественные и зарубежные компьютерные модели, построенные на основе совместного применения имитационного моделирования и нечеткой логики. Проанализированные модели можно разбить на отдельные группы по методу имитационного моделирования.

В агентных моделях нечеткая логика используется в основном для имитации социальных процессов, например, для принятия агентами типа «Человек» решений, связанных с увольнением или устройством на работу, выбором друзей или здоровьем. Агентное моделирование с использованием нечеткой логики охватывает такие предметные области как моделирование динамики дружбы [3], виртуального поселка [4], трудовой миграции [5].

В системно-динамических моделях нечеткая логика используется в качестве замены одного или нескольких параметров системы на лингвистические переменные, что позволяет повысить вариабельность поведения изучаемой системы. С помощью системной динамики с применением нечеткой логики моделируют, например, уровень удовлетворенности товаром [6], функционирование строительных систем, влияние температуры на урожайность риса [7]. В ходе анализа выделена работа [8], в которой представлен новый гибридный метод N-FSD (neuro-fuzzy system dynamics, нейро-нечеткая системная динамика), работающий на стыке технологий нечеткой системной динамики и гибридных нейро-нечетких систем и использующий гаусовские функции принадлежности.

В имитационных моделях встречается применение метода нечетких когнитивных карт. Такие карты представляют собой ориентированный граф, узлы которого являются нечеткими множествами. Данный инструмент используется, например, в моделях пространственно-временного распространения болезни [9], прогнозирования развития экономической ситуации [1] и т.д. В некоторых работах нечеткие когнитивные карты используются для повышения качества экспертных оценок.

Для реализации нечеткой логики в имитационном моделировании используются различные программные средства, например, такие как библиотека Accord.Fuzzy языка C#; расширение Fuzzy Logic Toolbox в среде MATLAB; AnyLogic в связке с MATLAB; программное средство FCMapper, созданное на основе электронных таблиц Excel; среда моделирования VENSIM.

**Выводы.** Анализ доступных источников по данной теме продемонстрировал, что нечеткая логика активно применяется в имитационном моделировании сложных систем, включая технические, биологические, техногенные и социально-экономические объекты. Независимо от используемого метода, нечеткая логика обычно служит механизмом для разработки нечетких решений и работы с экспертными оценками. Интеграция нечеткой

логики и имитационного моделирования осуществляется как внутри моделей, так и через внешние специализированные пакеты.

#### **Список использованных источников:**

1. Заграновская А., Эйснер Ю. Моделирование сценариев развития экономической ситуации на основе нечетких когнитивных карт // Современная экономика: проблемы и решения. 2017. № 10. С. 33–47.
2. Халиуллина Д. Н., Быстров В. В. Теоретические основы оценки жизнеспособности региональных социально-экономических систем // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 78–92.
3. Hassan, S., Salgado, M., Pavon, J. Friends Forever: Social Relationships with a Fuzzy Agent-Based Model // Hybrid Artificial Intelligence Systems. HAIS 2008. Lecture Notes in Computer Science. — Springer, Berlin, Heidelberg. 2008. Vol. 5271. P. 523–532. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-87656-4\\_65](https://doi.org/10.1007/978-3-540-87656-4_65).
4. Коваленко, Н. Е., Новиков С. П. Разработка имитационной модели виртуального поселка с использованием системы принятия решений на основе нечеткой логики // Научный альманах. 2019. № 5–2(55). С. 35–41.
5. Корчевская, О. В., Бобровский, В. Е. Разработка агент-ориентированной модели и программного обеспечения трудовой миграции населения // Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 8. С. 74–77.
6. Liu, S., Triantis, K.P., Sarangi, S. Representing qualitative variables and their interactions with fuzzy logic in system dynamics modeling // Systems Research and Behavioral Science. 2011 Vol. 28. P. 245–263. <https://doi.org/10.1002/sres.1064>.
7. Kim Y, Lee M., Hong J., Lee Yun-Sik, Wee J., Cho K. Development of a fuzzy logic-embedded system dynamics model to simulate complex socio-ecological systems // Ecological Modelling. — Elsevier, 2024. Vol. 493. 110738. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2024.110738>.
8. Seresht N.G., Fayek A.R. Neuro-fuzzy system dynamics technique for modeling construction systems. *Applied Soft Computing*, 2020, Vol. 93, 106400. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106400>.
9. Song, Z.; Zhang, Z.; Lyu, F.; Bishop, M.; Liu, J.; Chi, Z. From Individual Motivation to Geospatial Epidemiology: A Novel Approach Using Fuzzy Cognitive Maps and Agent-Based Modeling for Large-Scale Disease Spread. // Sustainability, 2024. Vol. 16. 5036. <https://doi.org/10.3390/su16125036>.