

# Социальные проблемы развития территорий

УДК 303.09

ББК 60.5

© Корепина Т.А., Чекмарева Е.А.

## НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОДЕЛЯХ: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ГИБРИДНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ



КОРЕПИНА ТАТЬЯНА АНДРЕЕВНА

Вологодский научный центр Российской академии наук  
Россия, 160014, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а  
E-mail: korepina-tatyana@mail.ru



ЧЕКМАРЕВА ЕЛЕНА АНДРЕЕВНА

Вологодский научный центр Российской академии наук  
Россия, 160014, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а  
E-mail: miteneva@inbox.ru

*Использование агент-ориентированного подхода в моделировании социально-экономических процессов в последнее время становится частым явлением. Максимально приближенная к реальности модель позволяет адекватно произвести оценку ситуации, проиграть различные сценарии модельных экспериментов, на основе результатов сформировать рекомендации для органов власти. В работе поднимается проблема описания в агент-ориентированных моделях поведения экономических агентов, обладающих ограниченной рациональностью, что породило необходимость использования дополнительных методов моделирования, а именно нейронных сетей. Целью статьи является анализ современного опыта и перспектив использования нейронных сетей в агент-ориентированном моделировании социально-экономических процессов. В ходе исследования были рассмотрены примеры российских и зарубежных гибридных агент-ориентированных моделей, разработанных в рамках публичных исследований в университетах, научных организациях и представленных в статьях и монографиях, доступных для ознакомления. На основании обобщения накопленного опыта отечественных и зарубежных ученых по использованию нейронных сетей в агент-ориентированных моделях были выявлены преимущества и недостатки гибридных методов исследования социально-экономических процессов, что отражает новизну исследования. В работе описаны наиболее популярные в настоящее время области применения нейронных сетей в агент-ориентированном мо-*

*делировании социально-экономических процессов. Раскрыты основные способы интеграции нейросетевых и агент-ориентированных моделей, используемые на текущем этапе развития технологий. Рассмотрены локальный (микро-эмуляция) и глобальный (макро-эмуляция) подходы к использованию нейронных сетей в агент-ориентированных моделях, а также способы их внедрения на примере интеграции системы машинного обучения в агент-ориентированную модель. Выявлены преимущества и недостатки гибридных агент-ориентированных моделей социально-экономического развития территорий, которые отражены в краткой матрице SWOT-анализа. Приведены примеры специализированного программного обеспечения, позволяющего встраивать нейронные сети в агент-ориентированные модели. Описаны два варианта включения: online (использование одного инструмента более широкого профиля) и offline (использование нескольких программных продуктов). Перспективность использования нейросетевых технологий в агент-ориентированных моделях определяется существенным повышением качества моделирования и обеспечением большей реалистичности поведения агентов.*

*Агент-ориентированное моделирование, нейронные сети, гибридные агент-ориентированные модели.*

Появившись в середине прошлого века, искусственные нейронные сети (или нейросети) к настоящему времени прочно вошли в инструментарий социально-экономических исследований. В результате развития нейросетевого моделирования к началу XXI века сформировалось по меньшей мере три основных направления практического применения нейронных сетей в экономике: 1) классификация экономических агентов (потребителей, производителей и др.); 2) прогнозирование временных рядов; 3) моделирование поведения экономических агентов, обладающих ограниченной рациональностью. При этом третье направление представляло собой наименее распространенную область применения нейронных сетей [18].

В дальнейшем именно возможности нейронных сетей служить инструментом моделирования ограниченной рациональности экономических агентов в значительной мере обусловили их использование в агент-ориентированных моделях социально-экономических процессов, в том числе в моделях пространственно-территориального развития. Однако объединение двух различных методов и разработка гибридных моделей приносит наряду с двойной выгодой и возмож-

ностью использовать достоинства того и другого подхода зачастую и двойные проблемы, связанные с их недостатками.

В представленном исследовании ставилась цель провести анализ современного опыта и перспектив использования нейронных сетей в агент-ориентированном моделировании социально-экономических процессов. Для достижения поставленной цели были рассмотрены примеры российских и зарубежных гибридных моделей, разработанных в рамках публичных исследований в университетах, научных организациях и представленных в статьях и монографиях, доступных для ознакомления. В ходе исследования описаны наиболее популярные в настоящее время области применения нейронных сетей в агент-ориентированном моделировании социально-экономических процессов, раскрыты основные способы интеграции нейросетевых и агент-ориентированных моделей, используемые на текущем этапе развития технологий, в частности, дан краткий обзор программного обеспечения, позволяющего встраивать нейронные сети в агент-ориентированные модели. В результате проведенного анализа выявлены преимущества и недостатки

использования нейронных сетей в агент-ориентированных моделях, показаны сильные и слабые стороны получаемых гибридных моделей, обоснованы возможности и перспективы развития данного междисциплинарного направления.

Прежде чем перейти к основной проблеме, кратко остановимся на используемой терминологии.

Отечественный ученый А.Р. Бахтизин определяет агент-ориентированные модели (АОМ) как «специальный класс моделей, основанных на индивидуальном поведении агентов и создаваемых для компьютерных симуляций» [3, с. 24].

Агенты в такой модели обладают следующими свойствами:

1. Автономия (каждый агент существует и действует независимо от другого).

2. Отсутствие единой регулирующей системы.

3. Действия агентов не контролируются по отдельности.

4. Взаимодействие на уровнях осуществляется таким образом, что на макроуровне задается общий для всех агентов набор правил, а совокупность действий агентов микроуровня может оказывать воздействие на параметры работы микроуровня.

5. Неоднородность (агенты не идентичны друг другу).

6. Ограниченная интеллектуальность агентов.

7. Расположение в пространстве (сложная структура модели, которая может быть представлена в многомерном пространстве) [9, с. 10].

Основной механизм работы агент-ориентированной модели заключается в том, что создается искусственное общество, которое представляет собой совокупность агентов различного уровня, наделенных определенными свойствами. Агенты, взаимодействуя друг с другом, имитируют реальный процесс, принимают решения.

Агент-ориентированный подход к моделированию социально-экономических систем приобретает все большую востребованность. Приближенная к реальности модель позволяет получить более качественный прогноз и на его основе разрабатывать рекомендации по принятию управленческих решений. В настоящее время данный подход используют в различных научных областях (например, в экономике [7; 12], географии, биологии, медицине).

В свою очередь широкую востребованность при моделировании социально-экономических процессов обрели искусственные нейронные сети. Этот подход появился еще до агент-ориентированного моделирования и используется во многих областях исследований.

Отечественный математик И.В. Заенцев определяет искусственные нейронные сети как совокупность моделей биологических нейронных сетей, представляющих собой сеть элементов (искусственных нейронов), связанных между собой синаптическими соединениями, способную обрабатывать входную информацию и в процессе изменения своего состояния во времени формировать совокупность выходных сигналов [8, с. 3]. Искусственные нейронные сети являются универсальным инструментом для решения различного типа задач и обладают следующими свойствами:

1. Предоставляют возможность лучшего понимания организации нервной системы человека на таких уровнях, как память, обработка сенсорной информации, моторика.

2. Могут выступать средством обработки информации (включают в себя обширный спектр возможностей, таких как поиск по ассоциациям; поиск закономерностей в массивах данных; классификация по признакам, дающая разбиение пространства на области; гибкость моде-

ли для нелинейной аппроксимации многомерных функций; прогнозирование во времени для процессов, которые зависят от многих переменных; распознавание образов).

3. Дают свободу от ограничений обычных компьютеров благодаря параллельной обработке и сильной связанности нейронов [8, с. 3].

На формальном математическом языке нейронную сеть определяют как «упорядоченную тройку  $(N, V, w)$ , состоящую из двух множеств  $N, V$  и функции  $w$ , где:  $N$  – множество нейронов,  $V$  – множество  $\{(i, j) \mid i, j \in N\}$ , элементы которого называются синаптическими связями между нейроном  $i$  и нейроном  $j$ , а функция  $w: V \rightarrow R$  определяет вес синаптической связи между нейроном  $i$  и нейроном  $j$ » [16, с. 34].

Функционирование нейронных сетей основано на механизме работы нервной системы человека. В таких моделях присутствуют связи между входными и выходными элементами, которые описаны математическими функциями.

Нейронные сети являются одним из направлений развития искусственного интеллекта. Имитация работы человеческого мозга с помощью модели биологического нейрона позволяет воспроизводить поведение индивида, его реакцию со стороны внешних воздействий. Биологический нейрон состоит из ядра (тело нейрона), аксонов (передача нервных импульсов), дендритов (прием нервных импульсов), синапсов (влияние на силу сигнала) [4, с. 51].

Метод нейронных сетей используется в различных областях исследований. Он применяется для распознавания текстовой, графической и звуковой информации, прогнозирования, аппроксимации, принятия решения и др. Одним из примеров выступает программный комплекс распознавания образов «Skadi», который в своей структуре содержит нейронные сети для распознавания графической информации [10].

Для моделирования социально-экономических систем нейронные сети используются с целью прогнозирования и для разработки рекомендаций по принятию управленческих решений на основе результатов работы модели.

Использование этого направления искусственного интеллекта для моделирования социально-экономических процессов развития территорий позволяет решить проблему некачественной имитации поведения человека в системе, невозможности моделирования реакций на различные воздействия.

Несмотря на различный механизм работы рассматриваемых подходов при одинаковой цели их использования, у современных разработчиков моделей социально-экономических процессов достаточно высокий интерес как к нейронным сетям, так и к агент-ориентированному моделированию.

Сравнительный анализ метода нейронных сетей (НС) и АОМ, представленный в *таблице 1*, показал, что, независимо от различий в принципах работы, они требуют от разработчика навыков программирования и владения глубокими теоретическими знаниями по моделируемому социально-экономическому процессу.

Стоит обратить внимание на критерий «прозрачности». Работа агент-ориентированной модели является «прозрачной». Разработчик может проследить за тем, как агенты взаимодействуют между собой и каким образом получается результат. Процесс работы модели, построенной с помощью нейронных сетей, проследить нельзя, разработчик только посылает определенные данные на вход и получает результат на выходе.

Но в реальном социально-экономическом процессе нет явной прозрачности, так как наблюдатель не может предсказать поведение человека в той или иной ситуации. В АОМ принимаются строго

Таблица 1. Сравнительный анализ нейросетевого и агент-ориентированного подходов к моделированию социально-экономических процессов

Критерий	НС	АОМ
Уровень сложности освоения метода моделирования	сложная	сложная
Качество прогнозирования	высокое	высокое
Трудоемкость построения модели	очень высокая	высокая
Возможность включения факторов в ходе работы модели	есть	есть
Использование математического аппарата	да	да
Учет основных факторов СЭП при построении модели	да	да
Учет дополнительных факторов СЭП при построении модели	да	да
«Прозрачность» модели	низкая	высокая
Необходимость наличия программного обеспечения	да	да
Наличие навыков программирования	требуется	требуется
Возможность разрабатывать управленческие стратегии на основе результатов моделирования	есть	есть

Источник: составлено авторами.

определенные группы агентов, свойства и факторы, влияющие на них, правила взаимодействия. Несмотря на изменения, которые можно внести в ходе работы модели, АОМ не может учесть все реакции индивидов на внешние или внутренние воздействия. Данную проблему помогают решить нейронные сети.

Работа нейронной сети, которая обучена на основе большого числа данных (опросы нескольких тысяч респондентов), будет наиболее близко соответствовать действительности.

Внедрение нейронных сетей в агент-ориентированные модели социально-экономических процессов позволит повысить качество работы модели и еще больше приблизить ее к реальности.

Агент-ориентированные модели, которые содержат в своей структуре нейронные сети, называются гибридными АОМ (ГАОМ).

Выделяется два подхода к использованию нейронных сетей в агент-ориентированном моделировании: локальный и глобальный (рис. 1). При локальном подходе нейронные сети применяются в модели на микроуровне. Нейронная сеть обучается прогнозированию действий конкретного агента в модели и по сути выступает в роли двойника этого агента. В данном случае речь идет о микро-эмуляции по-

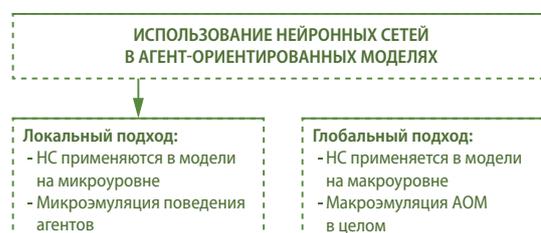


Рис. 1. Подходы к использованию нейронных сетей в агент-ориентированных моделях

Источник: составлено авторами.

ведения агентов при помощи искусственных нейронных сетей. При глобальном подходе нейронная сеть используется для прогнозирования переменных макроуровня агент-ориентированной модели, то есть помогает предсказывать динамику внешней для агентов среды. Этот вариант применения обусловлен успешным опытом использования искусственных нейронных сетей в многомерном прогнозировании временных рядов. Являясь нелинейным, непараметрическим методом приближения временных рядов и более гибким инструментом, чем традиционные статистические методы, нейронные сети весьма перспективны в прогнозировании изменений макросреды при агент-ориентированном моделировании социально-экономических процессов. В таком случае говорят о макро-эмуляции агент-ориентированной имитационной модели в целом [15].

Примером локального подхода является мультиагентная модель рынка, в которой используется идея о том, что один нейрон можно рассматривать как элементарную модель принятия решения для одного агента [14]. Глобальный подход при моделировании социально-экономических процессов встречается редко. Примером выступает агент-ориентированная нейросетевая модель следования машин в городском трафике, в которой трафик моделируется на макроуровне [13].

Интеграция нейронных сетей в АОМ имеет следующие преимущества:

1. Обеспечение лучшего понимания динамических реакций агентов при моделировании сложных социально-экономических систем.

2. Возможность обучения нейронной сети в контролируемой учебной среде (контроль происходит со стороны отдельных агентов).

3. Уникальность отдельных агентов (агенты принимают решение на основе того, что стало известно нейронной сети на этапе обучения).

4. Отдельные стратегии, полученные нейронной сетью, могут быть переведены на отдельных агентов.

5. Интеграция нейронных сетей в АОМ обеспечивает более реалистичное моделирование [17].

Для создания ГАОМ необходимо адаптированное программное обеспечение. Если для моделирования АОМ подходят такие программы, как AnyLogic, JACK, NetLogo, Jadex, REPAST [11, с. 9], то для построения нейронных сетей чаще всего используются Neural Network Framework, Neuro Pro, Prolog, LISP и др. Существуют также узкоспециализированные программы, в которых возможно построение нейронной сети только по определенной тематике, например, QFinAnalysis [6, с. 160].

Одним из вариантов построения ГАОМ является использование нескольких па-

кетов программ. Например, построение и обучение нейронной сети возможно проводить в специализированных программных продуктах (например, Neuro Solutions, STATISTICA Neural Networks, Neural Network Toolbox – дополнительный модуль пакета MATLAB, Neuro Laboratory и др.), а затем осуществлять внедрение обученной модели в другую программу, в которой была разработана АОМ. Такая схема описывает включение offline.

Включение online возможно обеспечить за счет использования инструментов более широкого профиля. К ним относятся Visual Basic, Delphi, C#, обладающие такими преимуществами, как быстродействие и возможность создания удобного для пользователя интерфейса. Внедрение нейронных сетей в АОМ возможно по принципу общей схемы интеграции агент-ориентированной модели и машинного обучения (рис. 2). Первоначальной задачей АОМ является наблюдение за средой, в которой находятся агенты. Интегрирование цикла работы системы машинного обучения в АОМ происходит на третьем шаге. Система МО отправляет рекомендованные действия на АОМ, затем агенты обновляют их внутреннюю модель и принимают меры.

Интеграция двух методов, изображенная на рисунке 2, выглядит достаточно просто, но в практической реализации имеет ряд проблем.

При поступлении рекомендуемых действий от МО на АОМ не происходит проверки на правильность принимаемых решений. Внутренняя работа цикла интеллектуальной системы МО не обладает свойством «прозрачности», она принимает на вход данные и выдает на выходе результат, который мы не можем проверить на адекватность. Суть работы внутреннего цикла основывается на первоначальном обучении машины. От качества данных в процессе обучения зависит правильность дальнейшей работы системы.



Рис. 2. Схема интеграции агент-ориентированной модели и машинного обучения

Источник: Rand W. Machine learning meets agent-based modeling: when not to go to a bar // Proceedings of the Agent 2006 Conference on Social Agents: Results and Prospects. Chicago, IL: Argonne National Laboratory/The University of Chicago, 2006, pp. 51–58 (перевод авторов).

Рассмотрим примеры ГАОМ, описанных в отечественной и зарубежной научной литературе.

Одной из основных разработок отечественных ученых выступает агент-ориентированная модель с искусственными обществами, принимающими решения о поиске работы [5]. В ее работу включены нейронные сети, с помощью которых была проведена спецификация поведения агентов микроуровня.

Авторы ГАОМ выделили 7 экономических агентов, одним из которых являются искусственные общества. Они представляют совокупность людей, работающих на предприятиях государственной и частной форм собственности; совокупность людей, работающих на официально зарегистрированных предприятиях; совокупность людей, подрабатывающих на неофициальной работе. В модели использовали 5 нейронных сетей. Одна группа сетей определяла поведение человека по смене работы, а другая – способ распределения бюджета домохозяйства.

Для обучения сетей использовались такие программные продукты, как NeuroSolutions и STATISTICA NeuralNetworks.

Получившаяся ГАОМ моделирует ограниченную рациональность в поведении

людей и в то же время выступает как инструмент для оценивания последствий финансово-экономических государственных управленческих решений.

Еще одним примером выступает гибридный агент-ориентированной модели оценки знаний участниками дистанционного обучения [1].

Для создания и обучения нейронной сети использовался пакет STATISTICA Neural Networks, дальнейшая интеграция в АОМ происходила в AnyLogic. Нейронная сеть, включенная в общую АОМ, показывает информацию о принятии решения агентом о получении дистанционного образования. Таким образом, ГАОМ позволяет оценить тенденции производства и распространения знаний агентами на основе результатов активности каждого из участников процесса.

С помощью внедрения нейронных сетей чешским ученым была создана агент-ориентированная модель миграционных процессов [20]. Она имитирует и воспроизводит социальную сеть мигрантов и этнических кластеров, взаимоотношения иммигрантов в пределах одного населенного пункта, изучает вероятность дальнейшей миграции индивидов, что позволяет формировать миграционную

политику страны. Нейронные сети описывают познавательные способности агентов. Агенты реагируют на внешние воздействия (стимулы) и приобретают новый опыт за счет изменения значений. Реализация модели происходит с помощью языка программирования C++ (статически типизированный язык программирования общего назначения).

Китайские ученые предложили агент-ориентированную нейросетевую модель следования машин в городском трафике, которая была создана с целью оптимизации дорожного движения в крупных городах. При помощи нейронной сети имитируется поведение отдельного водителя с 95% точностью по траектории перемещения. В данном примере при моделировании использовался локальный и глобальный подход применения нейронных сетей в АОМ. На микроуровне имитируется поведение автомобилей, взаимодействие между ведущей и следующей за ней машиной, на макроуровне – трафик [13]. Модель рассматривает эпизоды как для маленького, так и для большого числа водителей.

Выявленные особенности внедрения нейронных сетей в АОМ были обобщены с помощью краткой матрицы SWOT-анализа, которая представлена в *таблице 2*.

Анализ современного опыта построения агент-ориентированных моделей

территориальных социально-экономических процессов с использованием нейронных сетей позволил выявить сильные и слабые стороны ГАОМ. Интеграция двух методов объединила их недостатки, что повысило сложность реализации и запуска модели. Угрозу для качественного обучения нейронной сети, а затем и для работы ГАОМ в целом могут представить недостаточная квалификация разработчика и недостоверные данные.

С другой стороны, с помощью внедрения нейронных сетей в АОМ была решена проблема имитации поведения агентов в условиях ограниченной рациональности, что явилось главным преимуществом ГАОМ. Также интеграция методов позволила частично наблюдать за обучением и работой нейронных сетей с помощью отдельных агентов.

Таким образом, нейронные сети наиболее адекватно формализуют принятие человеком различных решений, а АОМ лучше других методов учитывают динамику исследуемых процессов (действие существующих причинно-следственных связей). Гибридная модель содержит интеллектуальных агентов, которые позволяют наиболее точно имитировать поведение индивидов в реальной жизни.

Использование ГАОМ для имитации территориальных социально-экономиче-

**Таблица 2. SWOT-анализ использования нейронных сетей в агент-ориентированных моделях**

Сильные стороны (Strengths)	Слабые стороны (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> <li>– обеспечение лучшего понимания динамических реакций агентов при моделировании сложных социально-экономических систем;</li> <li>– возможность обучения нейронной сети в контролируемой учебной среде;</li> <li>– уникальность отдельных агентов;</li> <li>– отдельные стратегии, полученные нейронной сетью, могут быть переведены на отдельных агентов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– чрезмерная сложность ГАОМ, затрудняющая ее запуск на обычном компьютере;</li> <li>– трудоемкость построения модели;</li> <li>– большие временные затраты;</li> <li>– повышенные требования к квалификации разработчика;</li> <li>– потребность в специализированном программном обеспечении и высокой производительности ЭВМ</li> </ul>
Возможности (Opportunities)	Угрозы (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> <li>– интеграция нейронных сетей в АОМ обеспечивает более реалистичное моделирование;</li> <li>– качественное прогнозирование;</li> <li>– разработка на основе полученных результатов системы управленческих мер в области социально-экономической политики</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Скрытая схема работы нейронной сети и некачественное ее обучение представляют угрозу получения неправильных результатов, которые в дальнейшем участвуют в работе АОМ</li> </ul>
Источник: составлено авторами.	

ских процессов создает тенденцию к повышению качества их моделирования и прогнозирования.

Результаты, полученные в ходе исследования, могут быть полезны разработчикам-практикам на этапе выбора подхода к конструированию агент-ориентированной модели, а также служат цели систематизации теоретико-методологических основ применения нейронных сетей в агент-ориентированном моделировании.

По мнению немецкого ученого S. van der Hoog, «есть все основания полагать, что сейчас самое подходящее время для применения нейронных сетей, а в особенности глубоких и многослойных нейронных сетей, в агент-ориентированных моделях экономики» [15, с. 1]. С ним стоит согласиться, так как данное направление открывает перспективу для будущих исследований и открытий новых закономерностей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Артеменко, В. Б. Гибрид агент-ориентированной модели оценки знаний участниками дистанционного обучения [Текст] / В. Б. Артеменко // Образовательные технологии и общество. – 2011. – № 2. – С. 423–434.
2. Барский, А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений [Текст] / А. Б. Барский. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с.
3. Бахтизин, А. Р. Агент-ориентированные модели экономики [Текст] / А. Р. Бахтизин. – М.: Экономика, 2008. – 279 с.
4. Бахтизин, А. Р. Гибридные методы моделирования общего экономического равновесия с использованием агент-ориентированных моделей: автореферат [Текст]: автореф. дис. на соиск. уч. ст. д-ра экон. наук: 08.00.13 / А. Р. Бахтизин. – М., 2008. – 50 с.
5. Бахтизин, А. Р. Опыт построения гибридной агент-ориентированной модели с нейронными сетями [Текст] / А. Р. Бахтизин, Н. В. Бахтизина // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2010. – № 8. – С. 27–39.
6. Бирюков, А. Н. Инструментальные средства моделирования процесса обучения нейро-нечетких сетей в методике минимизации рисков при банковском кредитовании [Текст] / А. Н. Бирюков, О. И. Глущенко // Проблемы функционирования и развития территориальных социально-экономических систем: материалы X междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 14 ноября 2016 г. – Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН, 2016. – С. 157–162.
7. Гулин, К. А. Российский и зарубежный опыт интеграции агент-ориентированных моделей и геоинформационных систем [Текст] / К. А. Гулин, А. И. Россошанский // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2016. – № 5 (47). – С. 141–157.
8. Заенцев, И. В. Нейронные сети: основные модели [Текст] / И. В. Заенцев. – Воронеж, 1999. – 76 с.
9. Макаров, В. Л. Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели) [Текст] / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин. – М.: Экономика, 2013. – 295 с.
10. Частикова, В. А. Распознавание образов на основе нейронной сети Хопфилда [Текст] / В. А. Частикова, А. С. Поликаренов, А. И. Мищенко // Научные труды Кубанского государственного технического университета. – 2016. – № 2. – С. 333–340.
11. Чекмарева, Е. А. Новое в методологии исследования социального пространства, или что такое агент-ориентированное моделирование? [Текст] / Е. А. Чекмарева // Социальное пространство. – 2016. – № 4 (6). – С. 1–13.
12. Чекмарева, Е. А. Обзор российского и зарубежного опыта агент-ориентированного моделирования сложных социально-экономических систем мезоуровня [Текст] / Е. А. Чекмарева // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2016. – № 2 (44). – С. 225–246.
13. Chong L., Abbas M., Medina A. Simulation of driver behavior with agent-based back-propagation neural network. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2011, pp. 17–25.
14. Grothmann R. *Multi-Agent Market Modeling Based On Neural Networks*. Bremen, 2002. 320 p.

15. Hoog S. van der. *Deep Learning in Agent-Based Models: A Prospectus: Working Papers in Economics and Management*. Bielefeld: Bielefeld University, 2016. 19 p.
16. Kriesel D. *A Brief Introduction to Neural Networks*. Germany, 2005. 226 p.
17. Laite R., Portman N., Sankaranarayanan K. Behavioral analysis of agent based service channel design using neural networks. *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*. Arlington, 2016, pp. 3694–3695.
18. Herbrich R., Keilbach M., Graepel T., Bollmann P., Obermayer K. Neural Networks in Economics: Background, Applications and New Developments. *Computational Techniques for Modelling Learning in Economics. Series: Advances in Computational Economics*, 1999, № 11, pp. 169–196.
19. Rand W. Machine learning meets agent-based modeling: when not to go to a bar. *Proceedings of the Agent 2006 Conference on Social Agents: Results and Prospects*. Chicago, 2006, pp. 51–58.
20. Svarc P. *Modeling Migration Using Neural Networks*. Charles University in Prague, 2005. 14 p.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Корепина Татьяна Андреевна* – инженер-исследователь отдела исследования уровня и образа жизни населения. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Вологодский научный центр Российской академии наук». Россия, 160014, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а. E-mail: korepina-tatyana@mail.ru. Тел.: (8172) 59-78-10.

*Чекмарева Елена Андреевна* – кандидат экономических наук, научный сотрудник отдела исследования уровня и образа жизни населения. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Вологодский научный центр Российской академии наук». Россия, 160014, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а. E-mail: miteneva@inbox.ru. Тел.: (8172) 59-78-10.

**Korepina T.A., Chekmareva E.A.**

### NEURAL NETWORKS IN AGENT-BASED MODELS: ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF HYBRID RESEARCH METHODS

*The use of the agent-based approach to modeling socio-economic processes has recently become more frequent. The model close to reality allows us to assess the situation, simulate different scenarios of model experiments, and on the basis of the results to form recommendations to the authorities. The paper brings up the problem of describing agent-based patterns of behavior of economic agents with limited rationality, which necessitated the use of additional modeling techniques, namely neural networks. The purpose of this article is to analyze current experiences and prospects for the use of neural networks in agent-based modeling of socio-economic processes. The study considers examples of Russian and foreign hybrid agent-based models developed in the framework of public research at universities and research organizations and presented in articles and monographs available for public use. On the basis of generalisation of experience of domestic and foreign scholars on the use of neural networks in agent-based models the advantages and disadvantages of hybrid methods of researching socio-economic processes were identified, which reflects the novelty of the research. The paper describes the most popular current applications of neural networks in agent-based modeling of socio-economic processes. It covers the main ways of integrating neural network and agent-based models used in the current stage of technology development. The paper describes the local (micro-simulation) and global (macro-simulation) approaches to the use of neural networks in agent-based models and the methods of their implementation on the example of integrating machine learning in an agent-based model. Advantages and disadvantages of hybrid agent-based models of socio-economic development of*

*territories are revealed, and they are reflected in the summary matrix of the SWOT analysis. The authors provide examples of specialized software that helps embed neural networks in agent-based models. Two options for embedding are described: online (using the same tool of a wider profile) and offline (using several software products). The prospects of using neural network technologies in agent-based models are due to substantial improving the quality of modeling and providing a more realistic behavior of agents.*

*Agent-based modeling, neural networks, hybrid agent-based models.*

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

*Korepina Tat'yana Andreevna* – Research Engineer at the Department for Research of Living Standards and Lifestyles. Federal State Budgetary Institution of Science “Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences”. 56A, Gorky Street, Vologda, Russia, 160014. E-mail: korepina-tatyana@mail.ru. Phone: +7(8172) 59-78-10.

*Chekmareva Elena Andreevna* – Ph.D. in Economics, Research Associate at the Department for the Studies of Lifestyles and Standards of Living. Federal State Budgetary Institution of Science “Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences”. 56A, Gorky Street, Vologda, 160014, Russian Federation. E-mail: miteneva@inbox.ru. Phone: +7(8172) 59-78-10.