

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

DOI: 10.15838/esc.2019.1.61.7

УДК 331.101.26, ББК 65.240

© Россошанская Е.А.

Комплексная агент-ориентированная модель воспроизводства трудового потенциала муниципального образования*



**Елена Андреевна
РОССОШАНСКАЯ**

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

Аннотация. В статье представлены авторские разработки в области агент-ориентированного моделирования воспроизводства трудового потенциала, позволяющие строить сценарные прогнозы динамики трудового потенциала и апробировать различные варианты управленческих воздействий, подбирая оптимальные. Модель имитирует процессы формирования, распределения и использования трудового потенциала муниципального района с учётом действий агентов трёх уровней: физические лица (носители трудового потенциала, агенты-люди), юридические лица (работодатели, агенты-фирмы), муниципальные органы власти. Агенты-люди и агенты-фирмы присутствуют в модели в явном виде как отдельные типы агентов. Стартовое количество агентов-людей определялось из расчёта один человек от каждого десятка. «Фирмы» в силу имеющихся статистических данных рассматриваются укрупнённо: каждая соответствует одному виду экономической деятельности. Всего 13 агентов-фирм. Агенты-органы власти присутствуют в модели в неявном виде и формируют среду функционирования агентов других типов. Их поведение задаётся экзогенно. Модель реализована в системе имитационного моделирования AnyLogic Professional и апробирована на данных Великоустюгского муниципального района Вологодской области. Информационную базу исследования составили материалы Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Вологодской области, а также базы данных анкетных опросов населения, проводимых Вологодским научным центром РАН на территории

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-36-60011 мол_а_дк

Для цитирования: Россошанская Е.А. Комплексная агент-ориентированная модель воспроизводства трудового потенциала муниципального образования // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2019. Т. 12. № 1. С. 124-137. DOI: 10.15838/esc.2019.1.61.7

For citation: Rossoshanskaya E.A. Integrated agent-based model of labor potential reproduction of a municipal formation. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 2019, vol. 12, no. 1, pp. 124-137. DOI: 10.15838/esc.2019.1.61.7

региона. К достоинствам предлагаемого подхода, составляющим его научную новизну, следует отнести то, что модель воспроизводит современное состояние и динамику трудового потенциала в единстве и взаимосвязи его количественной и качественной сторон, имитирует основные процессы каждой фазы воспроизводства трудового потенциала, учитывает особенности муниципальной статистики и реальные полномочия органов власти. Кроме того, при описании качества трудового потенциала агентов-людей впервые в агент-ориентированном моделировании используется концепция качественных характеристик населения и каждый агент наделяется восьмью базовыми качествами: физическое и психическое здоровье, когнитивный и творческий потенциалы, коммуникабельность, культурный и нравственный уровни, потребность в достижении. При этом агенты одного пола и возраста в модели не одинаковы.

Ключевые слова: агент-ориентированная модель, трудовой потенциал, воспроизводство трудового потенциала, качество населения, муниципальный уровень.

Введение

Воспроизводство трудового потенциала является одним из наиболее проблемных процессов муниципального уровня последних десятилетий. К примеру, в Вологодской области с 2000 года численность населения трудоспособного возраста более чем в половине муниципальных районов сократилась минимум на четверть. Структура трудового потенциала и тенденции его формирования, распределения и использования крайне неблагоприятны. Полноценного возобновления и восстановления функционирующего трудового потенциала не наблюдается ни в количественном, ни в качественном плане: приходится говорить о его суженном воспроизводстве [1].

Источники и основные причины этих проблем кроются как на макро-, так и на микроуровне. В силу чего постепенное преломление негативных тенденций требует не только создания соответствующих макроэкономических условий и благоприятной среды функционирования трудового потенциала, но и эффективного управления воспроизводственными процессами микроуровня с учётом качественных характеристик и поведения носителей трудового потенциала — отдельных людей, проживающих на территории муниципального образования.

Управление воспроизводством трудового потенциала — задача сложная и ответственная, требующая комплексного понимания современного состояния проблемы и выдвигающая повышенные требования не только к квалификации лиц, принимающих решения, но и к используемому для данных целей инструментарию. На текущий момент одним из наиболее перспективных и гибких инструментов,

способных помочь в выработке оптимальных управленческих решений различного уровня, называют агент-ориентированные модели, уже получившие большое признание за рубежом [2; 3] и постепенно набирающие популярность в России [4; 5].

Как показал проведённый нами анализ [6], сегодня созданы все необходимые предпосылки для планомерного внедрения агент-ориентированных моделей в реальную практику муниципального управления в России: 1) пройдены необходимые этапы развития экономической мысли и информационных технологий; 2) наблюдается повсеместное признание роли человеческого фактора в социально-экономическом развитии; 3) имеется повышенный интерес власти и общества к проблемам эффективности государственного и муниципального управления; 4) сформированы нормативно-правовые основы стратегического планирования по уровням управления. Всё это неизбежно приведёт к постепенной информатизации процесса принятия управленческих решений и поиску наиболее подходящих инструментов, которыми с большой вероятностью станут агент-ориентированные модели, позволяющие имитировать объект управления наиболее приближённо к реальности.

Данный класс моделей, основанных на индивидуальном поведении множества неоднородных взаимодействующих между собой агентов, способен стать наиболее полезным инструментом для лиц, принимающих решения, поскольку рассматривает проблемные процессы на том же уровне, что и сами управленцы [7, с. 121]. При этом в создаваемом на компьютере «снизу-вверх» искусственном

обществе [8; 9] могут возникать явления эмерджентности и процессы самоорганизации [10], которые не были непосредственно запрограммированы разработчиком. Но главное, что путём экспериментов на искусственном обществе органы власти получают возможность апробировать управленческие решения и подбирать из них оптимальные, дающие наилучший результат при внедрении [5], получают те опыт, информацию и знания об объекте управления, которые невозможно и неэтично приобрести путём прямого эксперимента на реальном обществе.

Таким образом, потребность практики в адекватном, современном и эффективном инструменте апробации управленческих решений, наряду с остротой ситуации, сложившейся в сфере воспроизводства трудового потенциала за пределами крупных городов и значительной ролью в воспроизводственном процессе индивидуальных характеристик и поведения отдельных агентов, предопределили актуальность агент-ориентированного моделирования воспроизводства трудового потенциала на муниципальном уровне.

Проведённый нами анализ российского и зарубежного опыта разработки агент-ориентированных моделей, затрагивающих различные аспекты процесса воспроизводства трудового потенциала, показал, что, во-первых, комплексный подход к определению трудового потенциала территории, учитывающий сущность и глубину этого понятия, практически не используется в построенных на данный момент моделях, за исключением разработок *Е.Д. Сушко* [11]; во-вторых, большинство моделей имитируют отдельные аспекты воспроизводства, например естественное движение, динамику рынка труда или трудовое поведение, и не рассматривают воспроизводственный цикл целиком; и в-третьих, модельное упрощение реальной системы не всегда сопровождается соблюдением логики протекания основных фазовых процессов, например, исключение из модели безработных [12] приводит к искажённому воспроизведению фазы использования трудового потенциала [13].

Кроме того, качественные характеристики работников рассматриваются в основном в рамках теории человеческого капитала [14] и ограничиваются общими и специальными навыка-

ми [15], что существенно сужает возможности анализа проблем воспроизводства качественной составляющей трудового потенциала. Качество трудового потенциала – это более широкое понятие, отражающее весь комплекс разнообразных свойств и способностей индивида, востребованных в трудовой деятельности. Например, нравственный и культурный уровни или потребность в достижении не относятся к навыкам. Тем не менее, по результатам социологического мониторинга качественного состояния трудового потенциала населения Вологодской области, проводимого Вологодским научным центром РАН на территории региона, более трети работников в трудоспособном возрасте стабильно отмечают важность наличия развитых морально-нравственных качеств и высокой общей культуры для успешного осуществления трудовой деятельности. Совсем не важными указанные качества считают менее 10% работников. Этот факт говорит о необходимости более полного учёта качественных характеристик населения при моделировании воспроизводства трудового потенциала.

Целью представляемого исследования являлась разработка комплексной агент-ориентированной модели воспроизводства трудового потенциала муниципального района, имитирующей процессы формирования, распределения и использования трудового потенциала с учётом действий агентов трёх уровней: 1) физические лица (носители трудового потенциала), 2) юридические лица (работодатели), 3) муниципальные органы власти. Для достижения цели были решены следующие задачи: разработана концептуальная модель воспроизводства трудового потенциала на муниципальном уровне; концептуальная модель реализована в виде компьютерной агент-ориентированной модели; осуществлена апробация модели на одном из районов Вологодской области; проведена калибровка модели и серия вычислительных экспериментов по имитации динамики воспроизводства трудового потенциала при различных значениях управляемых параметров модели.

К достоинствам предлагаемого подхода, составляющим его научную новизну, следует отнести то, что модель воспроизводит современное состояние и динамику трудового потенциала в единстве и взаимосвязи его количественной и качественной сторон, имитирует основные

процессы каждой фазы воспроизводства трудового потенциала, учитывает особенности муниципальной статистики и реальные полномочия органов власти. Кроме того, при описании качества трудового потенциала агентов-людей впервые в агент-ориентированном моделировании используется концепция качественных характеристик населения [16] и каждый агент наделяется восьмью базовыми качествами: физическое и психическое здоровье, когнитивный и творческий потенциалы, коммуникабельность, культурный и нравственный уровни, потребность в достижении. При этом агенты одного пола и возраста в модели не одинаковы.

Методология

Остановимся подробнее на теоретико-методологической и информационной базе исследования, а также конкретной методологии построения модели.

Наряду с упомянутой выше концепцией качественных характеристик населения, разработанной ИСЭПН РАН и используемой нами для определения структурных компонентов качества трудового потенциала, теоретическую базу исследования составили:

1) теория трудового потенциала и его воспроизводства, разработанная А.С. Панкратовым [17];

2) комплексный подход к пониманию сущности социально-экономической категории «трудоустройство территории», представленный в работах И.С. Масловой и позволяющий рассматривать трудовой потенциал как «обобщающую характеристику меры и качества совокупности способностей к труду» [18, с. 14], оцениваемую в количественном отношении численностью населения в трудоспособном возрасте, а в качественном — уровнем развития качественных характеристик населения трудоспособного возраста;

3) агент-ориентированная парадигма имитационного моделирования [19].

Основными методами исследования выступили: на этапе сбора информации — социологические и статистические методы (анкетирование и статобработка базы данных); на этапе разработки концептуальной модели — абстракция и обобщение; на этапе построения компьютерной модели — агент-ориентированное моделирование; на этапе апробации модели — ретроспективный прогноз и вычислительные

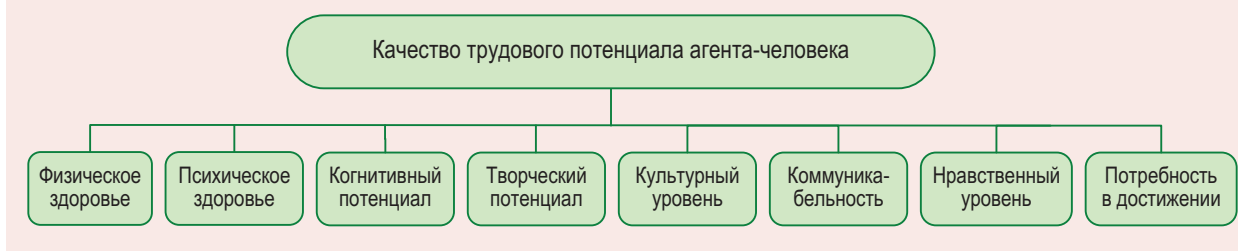
эксперименты; на этапе работы с научной литературой и интерпретации результатов — общенаучные методы работы с информацией (анализ, синтез и т.д.).

Информационную базу исследования составили российские и зарубежные публикации по агент-ориентированному моделированию социально-экономических систем и различным аспектам воспроизводства трудового потенциала, статистические данные Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Вологодской области (Вологдастат), представленные в ежегодных статистических сборниках «Труд и занятость в Вологодской области», «Возрастно-половой состав населения Вологодской области», «Муниципальные районы и городские округа Вологодской области», «Демографический ежегодник Вологодской области» и др., а также результаты социологических измерений, осуществляемых Вологодским научным центром РАН на территории региона, в частности, данные регулярного социологического мониторинга¹ качественного состояния трудового потенциала Вологодской области [20], позволяющего наполнить модель достоверной и подробной информацией о качественных характеристиках населения трудоспособного возраста.

Использование для описания трудового потенциала агентов-людей концепции качественных характеристик населения является принципиальным отличием нашего подхода и позволяет обеспечить в разрабатываемой агент-ориентированной модели комплексное количественно-качественное отражение трудового потенциала территории. На основе полученных по результатам мониторинга эмпирических данных каждый агент-человек в модели наделяется восьмью индивидуальными каче-

¹ Характеристика опроса следующая. Объектом исследования является население Вологодской области в трудоспособном возрасте. Опросы проходят ежегодно в августе—сентябре в городах Вологде и Череповце и в восьми районах области (Бабаевском, Великоустюгском, Вожегодском, Грязовецком, Кирилловском, Никольском, Тарногском и Шекснинском). Общий объем выборки составляет 1500 чел. Метод выборки: районирование с пропорциональным размещением единиц наблюдения. Тип выборки: квотная по полу и возрасту. Величина случайной ошибки выборки: 3–4% при доверительном интервале 4–5%. Метод опроса — анкетирование по месту жительства респондентов.

Рис. 1. Структура качества трудового потенциала агента-человека



ствами: физическим и психическим здоровьем, когнитивным и творческим потенциалом, коммуникабельностью и культурным уровнем, нравственным уровнем и потребностью в достижении (рис. 1).

Методика измерения перечисленных качеств основана на применении шкал Лайкерта², позволяющих установить степень согласия респондента с предложенными ему в анкете сгруппированными по блокам утверждениями. Каждому из восьми качеств трудового потенциала соответствует отдельный блок вопросов. В результате измерений качества получают численную оценку в индексной форме. По сути индекс является отношением фактического числа баллов по конкретной шкале к максимально возможному и интерпретируется таким образом: чем ближе значение индекса к единице, тем лучше развито соответствующее качество, и наоборот. Индекс физического здоровья оценивается на основе данных о частоте и тяжести заболеваний, дополненных самооценкой здоровья. Индекс психического здоровья измеряется по наличию признаков психической неустойчивости. Когнитивный потенциал рассчитывается по информации об источниках пополнения знаний и отношении респондента к знаниям и образованию. Творческий потенциал оценивается на основе данных о занятиях творческой деятельностью и об отношении

к творчеству. Индекс коммуникабельности вычисляется по информации о способности к общению и взаимодействию. Культурный уровень оценивается по внешней и внутренней культуре человека. Индекс нравственного уровня рассчитывается на основе данных о нравственном чувстве и нравственном поведении. А уровень развития потребности в достижении определяется исходя из информации о планах и намерениях респондента [20]. Методика измерения впервые апробирована в 1996 году и по сей день успешно применяется Вологодским научным центром в целях мониторинга качества трудового потенциала региона. В сущности, именно наличие уникальных данных о качестве трудового потенциала и поведении лиц трудоспособного возраста вкупе с нарастающими в муниципалитетах проблемными процессами побудило нас заняться созданием агент-ориентированной модели воспроизводства трудового потенциала на муниципальном уровне. Отдельно подчеркнём, что используемая социологическая методика не ограничивается измерением восьми базовых качеств, а позволяет по специальным формулам [16, 20] получать оценки агрегированных свойств верхних уровней иерархии и заканчивается расчётом индекса социальной дееспособности — интегрального показателя качества трудового потенциала, значения которого в территориальном разрезе можно найти в статье [1]. Однако при построении модели мы сознательно отказались от агрегированных показателей и рассматривали только качества, подлежащие непосредственному измерению. Это обусловлено, в частности, желанием более адекватно отразить рынок труда, поскольку в реальности работодатель выдвигает требования не к трудовому потенциалу в среднем, а к уровню развития отдельных качеств работника.

² Шкалы Лайкерта — разновидность опросников установок (аттитюдов). Названы по имени автора — Р. Лайкерта, предложившего их в 1932 г. Шкалы Лайкерта состоят из набора утверждений с пяти- или семибалльными рейтинговыми шкалами оценивания, которыми устанавливается степень согласия испытуемого с данным утверждением. Более подробная характеристика шкалы измерения базовых качеств представлена в работе: Ильин В.А., Смирнова Н.А., Тимофеева Я.Б. Качество трудового потенциала населения Вологодской области. Вологда: ВНКЦ ЦЭМИ РАН, 1998. 76 с.

Важно отметить, что в 2017 году в рамках очередного этапа мониторинга было проведено углублённое исследование качества трудового потенциала пилотного района, которым для апробации модели выступил Великоустюгский муниципальный район, широко известный как «Родина Деда Мороза». В этом году на территории района было опрошено 400 человек трудоспособного возраста. Кроме того, в 2018 году была организована официальная рабочая встреча с представителями администрации Великоустюгского муниципального района для обсуждения наших разработок и учёта реальных потребностей практики.

Основная концепция разрабатываемой нами агент-ориентированной модели следующая. Считается, что воспроизводство трудового потенциала муниципального образования определяется деятельностью агентов трёх типов: физические лица (носители трудового потенциала, агенты-люди), юридические лица (работодатели, агенты-фирмы), муниципальные органы власти (агенты-управленцы). Такой состав агентов обоснован не только соответствием реальной системе, но и целью исследования. Агенты-люди и агенты-фир-

мы присутствуют в модели в явном виде как отдельные типы агентов. Стартовое количество агентов-людей – основного типа агентов – определялось из расчёта один человек от каждого десятка. Такой хороший масштаб модели удаётся обеспечить благодаря небольшой численности населения муниципалитета. В моделях регионального и странового уровня обычно приходится использовать более крупный масштаб: например, в агент-ориентированной региональной модели «Губернатор» число агентов-людей определялось разработчиком по принципу «шесть агентов от каждой тысячи жителей» [12]. «Фирмы» в силу имеющихся статистических данных рассматриваются укрупнённо: каждая соответствует одному виду экономической деятельности. Всего 13 агентов-фирм. Агенты-органы власти присутствуют в модели в неявном виде и формируют среду функционирования агентов других типов. Их поведение задаётся экзогенно. Основные характеристики различных типов агентов модели и доступные им действия обобщённо представлены в *таблице 1*. Взаимоотношения агентов-людей и агентов-фирм рассматриваются упрощённо и сводятся со стороны

Таблица 1. Характеристика агентов модели и их поведения

Тип агента	Количество	Основные характеристики	Доступные действия (поведение)
Физические лица – носители трудового потенциала («люди»)	5783 агента на момент старта (один от каждого десятка по данным на начало 2011 г.)	Пол, возраст, образование, семейное положение, физическое здоровье, психическое здоровье, когнитивный потенциал, творческий потенциал, коммуникабельность, культурный уровень, нравственный уровень, потребность в достижении, репродуктивные установки и др.	Наняться на работу, уволиться, мигрировать, создать семью, завести ребёнка
Юридические лица – работодатели («фирмы»)	13 агентов (каждая «фирма» соответствует одному ВЭД)	Общее число рабочих мест, число вакантных рабочих мест, средняя заработная плата, политика по отношению к работающим пенсионерам	Нанять работника, уволить работника, создать/закрыть рабочее место, изменить оплату труда
Муниципальные органы власти («управленцы»)	Присутствуют в модели в неявном виде	Явно не заданы	Поведение задаётся экзогенно путём изменения управляемых параметров модели
Вспомогательный тип агентов – рабочие места	Занятые рабочие места+вакантные	Требования к качеству трудового потенциала (по 8 критериям), возрасту, образованию, предлагаемая заработная плата	Создать/расторгнуть связь с работником
Источник: составлено автором.			

работника к возможности наняться на работу и трудиться с определённым уровнем реализации каждого качества трудового потенциала или уволиться, а со стороны работодателя — к найму или увольнению работника, изменению оплаты труда. Подробнее концептуальная модель описана нами ранее в одноимённой статье [13].

Обеспечение адекватного отражения моделируемого процесса достигается в модели за счёт того, что её конструкция соответствует трёхфазной структуре воспроизводства трудового потенциала и содержит три взаимосвязанных и взаимодополняющих блока: 1) блок имитации формирования трудового потенциала (рождаемость, миграция, смертность, формирование качественных характеристик населения); 2) блок имитации распределения трудового потенциала (рынок труда и карьерный рост); 3) блок имитации использования трудового потенциала (производство и трудовое поведение). При этом основная идея построения модели заключается в том, что процессы макроуровня формируются в результате индивидуально-поведенческого множества неоднородных агентов микроуровня, в частности самосохранительного [21], образовательного [22], миграционного [23], репродуктивного поведения [24].

Для имитации поведения агентов используется эвристический подход [25], основанный на информации о принимаемых решениях и реализованном поведении. Оптимизационный подход отклоняется в силу отсутствия обоснованных данных о функциях предпочтения или целевых функциях агентов. По данному вопросу мы поддерживаем точку зрения *D. Helbing* и считаем, что поведение и взаимодействие агентов, конечно, возможно формализовать и описать уравнениями, но в более общем и естественном виде их можно определить с помощью правил принятия решений, таких как правила типа «если—то» или логические операции. Это делает модель более гибкой и позволяет проще отразить индивидуальные вариации в поведенческих правилах («гетерогенность») и случайные воздействия («стохастичность») [10, с. 27]. Такой подход даёт возможность легко визуализировать работу модели и обеспечить максимальную наглядность и простоту восприятия. Мы полностью

согласны с *А.В. Борщёвым*, что «вся динамика модели должна быть вынесена в визуальные формы описания, если таковые вообще поддерживаются, а код должен быть оставлен для вычислений, не имеющих временной семантики» [26].

Трудности восприятия чрезмерно формализованного описания моделей привели зарубежных разработчиков к мысли о необходимости создания общепризнанного стандарта простого и доступного представления агент-ориентированных моделей, в результате чего в 2006 году группой из 28 специалистов в области прикладного агент-ориентированного моделирования был разработан, протестирован и опубликован так называемый ODD-протокол [27]. Протокол состоит из трех блоков: обзор (Overview), концептуальное решение (Design concepts) и детали (Details), каждый из которых разбивается на более мелкие элементы, которые необходимо кратко описать разработчику. В первом разделе раскрывается цель и общий замысел создания модели, описываются переменные и шкалы, осуществляется обзор процессов. Во втором разделе описываются принципы построения модели и предлагаемые конструкторские решения. В третьем разделе раскрываются особенности установки начального состояния, входные данные и компоненты модели. Ключевые принципы описания моделей на основе ODD-протокола авторы формулируют так: сначала обзор, подробности позже; простота описания — простота восприятия; лёгкость тиражирования и повторения; независимость от дисциплины, сложности, операционной системы и языка программирования. Если же модель предполагает выработку конкретных решений, уместно использовать разработанный позже расширенный стандарт: ODD+D (Overview, Design, Details + Decisions) [28]. Удобство использования ODD-протокола наглядно продемонстрировано в монографии *Hamill L., Gilbert N.*, представляющей 19 авторских моделей, каждая из которых для простоты восприятия и воспроизведения описывается на основе сокращённого ODD-протокола и дополняется псевдокодом, бегло раскрывающим работу модели на естественном языке и позволяющим без знания языков программирования понять сущность работы модели [29].

Вставка 1. Описание модели на основе сокращённого ODD-протокола

Цель: моделирование воспроизводства трудового потенциал на муниципальном уровне.

Типы агентов: агенты-люди (в явном виде), агенты-фирмы (в явном виде), агенты-управленцы (в неявном виде).

Масштаб: 1 человек в модели – 10 человек в реальности; 1 фирма в модели – 1 вид экономической деятельности в реальности; агент-управленец – обобщающий представитель всех муниципальных органов власти.

Переменные: индексы качества трудового потенциала, пол, возраст, тип поведения по каждому качеству, требования к качеству трудового потенциала со стороны работодателей, число вакантных рабочих мест и др.

Основные процессы: рождаемость, смертность, миграция, развитие качественных характеристик, увольнение и принятие на работу, создание новых рабочих мест и т.д.

Начальное состояние: соответствует половозрастному составу населения и распределению работников Великоустюгского муниципального района на начало 2011 года.

Входные данные: загружаются из базы данных, управляемые параметры устанавливаются экзогенно «управленцами» в ходе работы модели.

Выходные данные: динамика численности и структуры трудового потенциала, изменение индексов качества трудового потенциала агентов-людей, их распределения по типам поведения и др.

Компоненты модели (субмодели): модели формирования, распределения, использования трудового потенциала.

В нашем случае описание предлагаемой модели на основе сокращённого ODD-протокола представлено во *вставке 1*.

Основные методологические допущения модели:

1. Воспроизводство трудового потенциала муниципалитета формируется в результате действий агентов трёх типов: жители муниципального района, работодатели и муниципальные органы власти. Другие агенты не влияют на воспроизводственный процесс.

2. Местом жительства агентов считается Великоустюгский муниципальный район в целом. Агенты не привязаны к конкретному населённому пункту ввиду отсутствия пространственных данных.

3. Качество трудового потенциала агента-человека определяется на основе концепции качественных характеристик населения и включает в себя только восемь базовых качеств: физическое и психическое здоровье, когнитивный и творческий потенциалы, коммуникабельность, культурный и нравственный уровни, потребность в достижении. Другие качественные характеристики не учитываются.

4. Качество трудового потенциала взрослого агента-человека в будущем периоде зависит от текущего качества и индивидуального поведения по отношению к нему, которое может быть деструктивным, нейтральным или конструктивным.

5. Относительная интенсивность деструктивного поведения считается одинаковой для всех агентов-людей и служит своеобразной

характеристикой популяции. Аналогичное предположение принимается для конструктивного поведения.

6. Органы власти могут влиять на воспроизводство качества трудового потенциала путём пропаганды позитивных практик, например здорового образа жизни, и профилактики негативных явлений, то есть увеличивая в модели долю населения с конструктивным типом поведения и сокращая распространённость деструктивного типа поведения посредством использования интерактивных элементов управления (бегунков-слайдеров).

Результаты и обсуждение

Основным и важнейшим результатом выполненной работы является непосредственно сама комплексная агент-ориентированная модель воспроизводства трудового потенциала на муниципальном уровне. Если придерживаться разработанной ранее классификации [6], то предлагаемая агент-ориентированная модель *по цели применения* будет относиться к моделям, предназначенным для прогнозирования рисков социально-экономического развития и апробации управленческих воздействий; *по способу включения в модель органов власти* – к моделям, содержащим их в неявном виде; *по способу задания управляющих воздействий* – к моделям, в которых поведение органов власти определяется экзогенно, т.е. задаётся вне модели до начала или в процессе её работы.

Модель реализована в системе имитационного моделирования AnyLogic Professional, в которой встроенным языком программирова-

Вставка 2. Псевдокод модели воспроизводства трудового потенциала муниципального образования

Создаём для наглядности искусственный мир размером 450×550 точек.

Случайным образом размещаем там агентов-людей, визуализированных в виде фигур человека.

В зависимости от возраста агента заливаем фигуры светло-зелёным (младше трудоспособного), зелёным (в трудоспособном) или жёлто-зелёным цветом (старше трудоспособного).

На каждом шаге модели:

- удаляем из модели агентов-людей, умерших или мигрировавших на данном шаге;
- увеличиваем возраст агентов на единицу;
- добавляем родившихся и прибывших агентов;
- меняем качественные характеристики трудового потенциала агента-человека в соответствии с текущим качеством и типом поведения;
- создаём связи между агентом-человеком и вспомогательным агентом-рабочим местом при принятии на работу;
- удаляем связи при увольнении или удалении агента из модели;
- выполняем другие основные процедуры имитации формирования, распределения и использования трудового потенциала.

Осуществляем сбор статистики по агентам и выводим данные в соответствующую область просмотра модели в виде динамических графиков.

ния служит Java. Программный Java-код объёмён и сложен для понимания, требует специальных знаний в области программирования и уместен для размещения и обсуждения только в журналах, специализирующихся на информационных технологиях. В публикациях экономической и социальной тематики использование псевдокода является наиболее целесообразным и полезным приёмом описания работы модели. Псевдокод разрабатываемой нами модели воспроизводства трудового потенциала муниципального образования представлен во *вставке 2*.

Модель максимально наполнена реальными социологическими и статистическими данными. При этом основными условными данными в модели, подбираемыми в процессе калибровки, являются: коэффициенты интенсивности деструктивного и конструктивного поведения относительно каждого из восьми базовых качеств трудового потенциала, используемые в процедуре имитации формирования и развития качества трудового потенциала³, а также допустимый разрыв между требованиями рабочих

мест и качеством трудового потенциала работника по восьми критериям, задействованный в процедуре имитации рынка труда.

Имитационная модель имеет дружественный интерфейс, интуитивно понятную систему навигации, реализованную в виде ссылок, дающих пользователю возможность перехода между областями просмотра модели, интерактивные элементы управления, позволяющие лицам, принимающим решения, менять управляемые параметры, тем самым апробируя различные варианты возможных решений и подбывая оптимальные.

На *рисунке 2* приведена стартовая страница модели с прекрасным видом города Великого Устюга (Б. Студенцов. Над Сухоной. 2001 г. Холст, масло), который является административным центром муниципального района и на котором проведена апробация наших разработок. Это своего рода «обложка» модели.

Область просмотра возрастной структуры и численности населения (*рис. 3*) позволяет пользователю и разработчику в динамике наблюдать за тем, как редет и стареет население. Отражает данные о текущей численности агентов-людей (people) и предоставляет возможность перехода к просмотру динамики отдельных качественных характеристик трудового потенциала по ссылкам.

³ Подробнее процедура описана в статье: Чекмарева Е.А. Имитация формирования качественных характеристик населения в агент-ориентированной модели воспроизводства трудового потенциала // Народонаселение. 2018. Т. 21. № 2. С. 69-83. DOI: 10.15838/esc.2018.1.55.11.

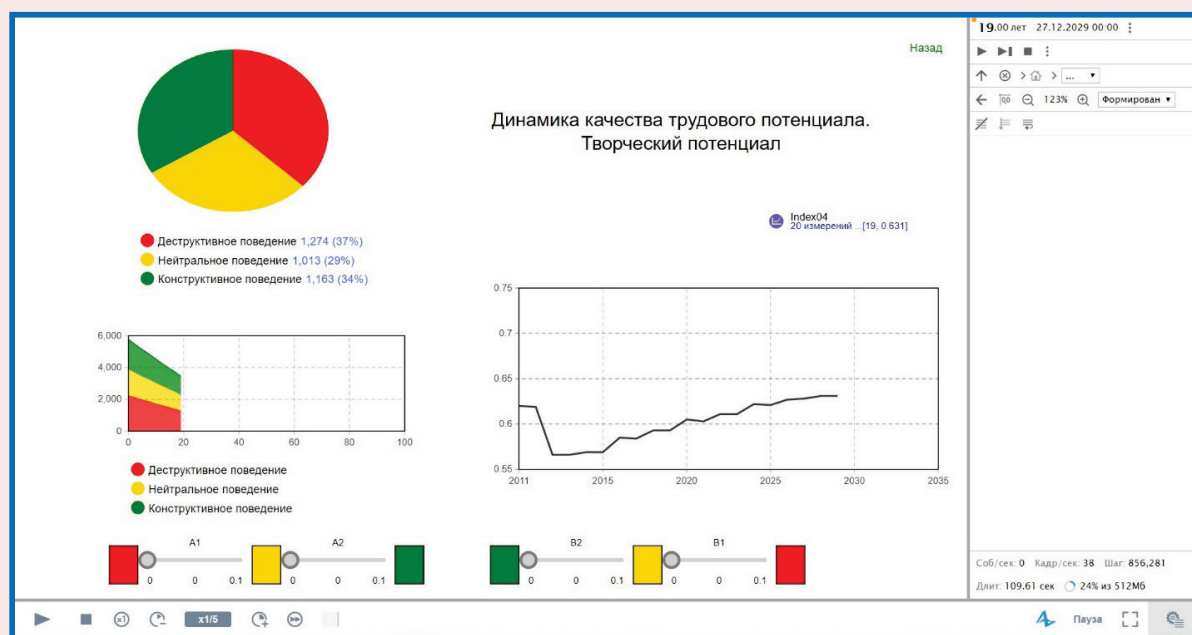
Рис. 2. Стартовая страница модели



Рис. 3. Область просмотра динамики структуры и численности населения



Рис. 4. Область просмотра динамики творческого потенциала населения



Для примера на рисунке 4 представлена область просмотра динамики творческого потенциала. В данном случае результаты вычислительного эксперимента отражают изменение индекса по инерционному сценарию при устойчивости сложившихся типов поведения, без наличия переходов между ними (коэффициенты A_1 , A_2 , B_1 и B_2 , задающие вероятность перехода и регулируемые «бегунками», равны нулю). Как видно по рисунку, провал индекса, зафиксированный в начале периода, будет восстановлен только к 2025 году. При этом если хотя бы 1% населения трудоспособного возраста с

деструктивным и нейтральным поведением поменяет своё отношение к творчеству в лучшую сторону ($A_1=A_2=0,01$), то значение индекса восстановится на год раньше и продолжит постепенно расти.

Анализ качества модели методом ретроспективного прогноза (табл. 2) показал, что отклонение результатов моделирования от официальных данных об общей численности населения в 2012–2018 году (на 1 января), опубликованных в статистических сборниках Вологдастата, не превышает 0,7%. При этом рассчитанная по результатам моделиро-

Таблица 2. Сравнение результатов моделирования с данными официальной статистики, на начало года (масштаб 1:10)

Показатель	Год						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Общая численность населения	5732	5679	5631	5563	5499	5462	5425
Результаты моделирования	5706	5659	5594	5529	5486	5447	5387
Отклонение, %	-0,5%	-0,4%	-0,7%	-0,6%	-0,2%	-0,3%	-0,7%
Численность населения в трудоспособном возрасте	3271	3181	3101	3007	2934	2882	2824
Результаты моделирования	3349	3214	3159	3028	2975	2852	2812
Отклонение, %	2,4%	1,0%	1,9%	0,7%	1,4%	-1,0%	-0,4%

Источники: данные Вологдастата; модельные расчёты автора.

вания численность населения трудоспособного возраста – основной количественный показатель накопленного в районе трудового потенциала – отклоняется от статистических данных не более чем на 2,4%. Полученные показатели свидетельствуют о хорошем качестве модели и её пригодности для практического применения в целях прогнозирования динамики трудового потенциала муниципального образования. Обратим внимание, что официальные статистические данные о численности населения – это тоже оценка, осуществляемая Федеральной службой государственной статистики на основе итогов последней переписи населения и данных о его миграции, рождаемости и смертности. Причем о несовершенстве такой системы расчётов свидетельствует возникающая после каждой переписи необходимость дооценки данных предшествующих лет.

Естественно, допущения и предположения, принятые в модели, а также используемые исходные данные накладывают определённые ограничения на её применимость. Модель – упрощённое отражение реальности. Это нужно понимать и учитывать. Основным недостатком текущей версии модели, который не удаётся пока устранить в силу ограниченности имеющейся информационной базы, является значительная условность данных о качестве трудового потенциала населения младше трудоспособного возраста, поскольку в выборку мониторинга качественного состояния трудового потенциала населения Вологодской области, осуществляемого ВолНЦ РАН, попадают только лица трудоспособного возраста. Возможно, в будущем удастся решить эту проблему. Пока что для задания качественных характеристик

«детей» используются данные о качестве трудового потенциала старшего, «родительского» поколения [13].

Главное то, что нам удалось создать работоспособный инструмент анализа и прогнозирования воспроизводства трудового потенциала, отражающий динамику трудового потенциала муниципального образования в единстве и взаимосвязи его количественной и качественной сторон и позволяющий осуществлять апробацию управленческих решений на искусственном обществе для повышения эффективности и обоснованности управления реальными процессами.

На данный момент теоретическая значимость модели заключается в разработке процедур имитации воспроизводства трудового потенциала на основе концепции качественных характеристик населения и парадигмы агент-ориентированного моделирования. А практическую значимость модели мы видим в предоставляемых ею возможностях апробации управленческих воздействий и проведения вычислительных экспериментов.

Как известно, агент-ориентированные модели – гибкий инструмент, позволяющий надстраивать и корректировать процедуры имитации, добавляя новые типы агентов и взаимодействий, изменяя характеристики агентов при появлении новой информации и т.д., практически бесконечно совершенствуя свои разработки. Однако приоритетным направлением дальнейшего развития созданной нами комплексной агент-ориентированной модели воспроизводства трудового потенциала муниципалитета должен стать учёт реальных потребностей практики и доведение модели до практического применения.

Литература

1. Чекмарева Е.А. Исследование условий и факторов воспроизводства трудового потенциала муниципальных районов Вологодской области // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2016. № 5 (47). С. 173-194. DOI: 10.15838/esc.2016.5.47.10.
2. Gaffard J.-L., Napoletano M. *Agent-based Models and Economic Policy*. Paris: OFCE, 2012. 448 p.
3. Furtado V.A. *Policy space: agent based modeling*. Rio de Janeiro: Ipea, 2018. 121 p.
4. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: Экономика, 2013. 295 с.
5. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Агент-ориентированные модели как инструмент апробации управленческих решений // Управленческое консультирование. 2016. № 12. С. 16-25.
6. Чекмарева Е.А. Агент-ориентированные модели в муниципальном управлении // Проблемы развития территории. 2017. № 6 (92). С. 121-135.

7. Mendritzki S. *Artificial Policy: Examining the Use of Agent-Based Modeling in Policy Contexts*: M.S. Thesis. Alberta: University of Calgary, 2010. 130 p.
8. Epstein J.M., Axtell R.L. *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. Cambridge: MIT Press, 1996. 224 p.
9. Epstein J.M. *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling*. Princeton: Princeton University Press, 2006. 384 p.
10. Helbing D. (Ed.) *Social Self-Organization: Agent-Based Simulations and Experiments to Study Emergent Social Behavior*. Springer; 2012. 341 p. doi: 10.1007/978-3-642-24004-1.
11. Сушко Е.Д. Трудовой потенциал и поведение людей в мультиагентной модели региона // Вестник университета. М.: Издательский дом ФГБОУВПО «Государственный университет управления». 2011. № 3. С. 183-186.
12. Сушко Е.Д. Мультиагентная модель региона: концепция, конструкция и реализация: препринт # WP/2012/292. М.: ЦЭМИ РАН, 2012. 54 с.
13. Чекмарева Е.А. Концептуальная модель воспроизводства трудового потенциала на муниципальном уровне: агент-ориентированный подход // Социальное пространство. 2017. № 4 (11). URL: <http://sa.vscs.ac.ru/article/2376>
14. Becker G.S. *Human Capital: Theoretical and Empirical Analysis with Special Reference to Education*. 3rd ed. Chicago: University of Chicago Press, 1993. 412 p.
15. Dawid H., Gemkow S., Harting P., Neugart M. Labor market integration policies and the convergence of regions: the role of skills and technology diffusion. *Journal of Evolutionary Economics*, 2012, vol. 22, iss. 3, pp. 543-562. doi: 10.1007/s00191-011-0245-1.
16. Качество населения / под ред. Н.М. Римашевской, В.Г. Копниной. М.: ИСЭПН РАН, 1993. 185 с.
17. Панкратов А.С. Трудовой потенциал: социально-экономические аспекты управления процессом его воспроизводства: дис. в виде науч. докл. на соиск. уч. ст. д.э.н. : 08.00.05. М., 1993. 60 с.
18. Маслова И.С. Трудовой потенциал советского общества: вопросы теории и методологии исследования. М., 1987. 32 с.
19. Fagiolo G., Roventini A. *On the Scientific Status of Economic Policy: A Tale of Alternative Paradigms*. Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant'Anna School of Adv Studies, Pisa, Italy, LEM Working Paper Series, February 2008. 28 p.
20. Ильин В.А., Смирнова Н.А., Тимофеева Я.Б. Качество трудового потенциала населения Вологодской области. Вологда: ВНКЦ ЦЭМИ РАН, 1998. 72 с.
21. Калачикова О.Н., Корчагина П.С. Основные тенденции самосохранительного поведения населения региона // Проблемы развития территории. 2012. № 5. С. 72-82.
22. Леонидова Г.В., Устинова К.А. Непрерывное образование как условие формирования человеческого капитала // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2012. № 6. С. 124-137.
23. Леонидова Г.В., Вячеславов В.Н. Гендерные особенности внутрирегиональной миграции // Вопросы территориального развития. 2016. № 2. URL: <http://vtr.vscs.ac.ru/article/1822>
24. Калачикова О.Н., Шабунова А.А. Репродуктивное поведение как фактор воспроизводства населения: тенденции и перспективы: монография. Вологда: ИСЭРТ РАН, 2015. 172 с.
25. Villamor G.B., van Noordwijk M., Troitzsch K.G., Vlek P.L.G. Human decision making for empirical agent-based models: construction and validation // *Managing Resources of a Limited Planet: proceedings of the sixth biennial meeting of the International Environmental Modelling and Software Society, Leipzig, Germany, July 1-5, 2012* / edited by R. Seppelt, A. A. Voinov, S. Lange, D. Bankamp. Leipzig: International Environmental Modelling and Software Society, 2012. 3151 p. pp. 2529-2536.
26. Борщёв А.В. Как строить простые, красивые и полезные модели сложных систем // Материалы конф. «Имитационное Моделирование. Теория и Практика» ИММОД 2013. Казань: ФЭн АН РТ, 2013. Т. 1. С. 21-34.
27. Grimm V., Berger U., Bastiansen F., Eliassen S., Ginot V., Giske J., et al. A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological Modelling*, 2006, vol. 198, iss. 1–2, pp. 115-126. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2006.04.023.

28. Grow A., Van Bavel J. (Eds.) *Agent-Based Modelling in Population Studies: Concepts, Methods, and Applications*. Cham: Springer, 2017. 513 p. doi: 10.1007/978-3-319-32283-4.
29. Hamill L., Gilbert N. *Agent-Based Modelling in Economics*. Chichester: WILEY, 2016. 246 p. doi: 10.1002/9781118945520.

Сведения об авторе

Елена Андреевна Россошанская – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Вологодский научный центр Российской академии наук (160014, Российская Федерация, г. Вологда ул. Горького д. 56а; e-mail: miteneva@inbox.ru)

Rossoshanskaya E.A.

Integrated Agent-Based Model of Labor Potential Reproduction of a Municipal Formation

Abstract. The article presents the author's developments in the field of agent-based modeling of labor potential reproduction that help build scenario forecasts of labor potential dynamics and test various options of management actions, choosing the optimal ones. The model simulates processes of the formation, distribution and use of labor potential of a municipal district, taking into account activities of the agents of three levels: individuals (carriers of labor potential, agents-people), legal entities (employers, agents-firms), municipal authorities. Agents-people and agents-firms are present in the model explicitly as separate types of agents. The starting number of agents-people is determined at the rate of one person from each ten. "Firms" are considered in aggregate due to available statistical data: each corresponds to one type of economic activity. Thirteen agents-firms are presented as a total. Agents-authorities are present in the model implicitly and form the functioning environment of agents of other types. Their behavior is set exogenously. The model is implemented in the simulation system AnyLogic Professional and tested on the data of the Velikoustyugsky Municipal District of the Vologda Oblast. The research information base consists of the materials, provided by the Territorial Body of the Federal State Statistics Service of the Vologda Oblast, as well as the database of the questionnaire surveys conducted by the Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences in the region. The advantages of the proposed approach, which make up its scientific novelty, include the fact that the model reproduces a current state and dynamics of labor potential in unity and relationship of its quantitative and qualitative aspects, simulates basic processes of each phase of labor potential reproduction, takes into account features of municipal statistics and authorities' real powers. In addition, to describe people-agents' labor potential quality, agent-based modeling uses a concept of qualitative characteristics of the population for the first time and each agent is endowed with eight basic qualities: physical and mental health, cognitive and creative potential, sociability, cultural and moral levels, achievement need. The agents of the same sex and age are not the same in the model.

Key words: agent-based model, labor potential, labor potential reproduction, quality of population, municipal level

Information about the Author

Elena A. Rossoshanskaya – Candidate of Sciences (Economics), Senior Researcher, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (56A Gorky Street, Vologda, 160014, Russian Federation; e-mail: miteneva@inbox.ru)

Статья поступила 10.10.2018.