

DOI: 10.15838/esc.2022.1.79.3

УДК 330.4:338.26; ББК 65.495+65.054+51.1

© Дианов С.В., Калашников К.Н., Ригин В.А.

## Агент-ориентированное моделирование регионального здравоохранения: решение задачи формализации медицинской активности жителей



**Сергей Владимирович  
ДИАНОВ**

Вологодский научный центр Российской академии наук  
Вологда, Российская Федерация  
E-mail: Dianov.sv@mail.ru  
ORCID: 0000-0001-8297-8077; ResearcherID: P-9737-2017



**Константин Николаевич  
КАЛАШНИКОВ**

Вологодский научный центр Российской академии наук  
Вологда, Российская Федерация  
E-mail: konstantino-84@mail.ru  
ORCID: 0000-0001-9558-3584; ResearcherID: I-9519-2016



**Василий Александрович  
РИГИН**

Вологодский научный центр Российской академии наук  
Вологда, Российская Федерация  
E-mail: riginva@mail.ru  
ORCID: 0000-0001-6359-1192

**Для цитирования:** Дианов С.В., Калашников К.Н., Ригин В.А. (2022). Агент-ориентированное моделирование регионального здравоохранения: решение задачи формализации медицинской активности жителей // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. Т. 15. № 1. С. 55–73. DOI: 10.15838/esc.2022.1.79.3

**For citation:** Dianov S.V., Kalashnikov K.N., Rigin V.A. (2022). Agent-based modeling of regional healthcare: Addressing the task of formalizing residents' medical activity. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 15(1), 55–73. DOI: 10.15838/esc.2022.1.79.3

**Аннотация.** В статье решается задача, связанная с разработкой методов формализации поведения пользователей медицинских услуг в агент-ориентированных моделях, предназначенных для оказания поддержки при принятии решений по пространственному размещению объектов инфраструктуры здравоохранения региона. Проанализированы существующие подходы к определению моделей поведения потребителей медицинских услуг, на основании чего разработана структура модели поведения агента. Рассмотрены вопросы реализации предложенной модели с использованием аппарата нечетких нейронных сетей. В процессе формирования сети были задействованы результаты социологического опроса, проведенного Вологодским научным центром Российской академии наук на территории Вологодской области в 2020 году. Выполнена практическая реализация сети в среде Microsoft Access, на основе исходных данных социологического опроса осуществлен ряд экспериментов по определению медицинской активности населения. Для решения поставленных задач использовались общенаучные методы формализации, абстрагирования, обобщения, методы системного анализа, математической статистики, нечеткой логики. Результатами работы стали структура модели поведения агентов – потребителей медицинских услуг и методы ее реализации. Новыми научными результатами выступают предложенная структура модели поведения потребителя медицинских услуг и ее практическая реализация с применением аппарата нечетких нейронных сетей в части проявления медицинской активности. Практическая значимость состоит в том, что предложенные и частично апробированные инструментальные подходы дают возможность разработать адекватные объективным условиям среды агентные модели регионального здравоохранения с учётом сложившихся у граждан установок и мотивов поведения во взаимодействии с медицинскими службами, что в дальнейшем позволит предлагать и калибровать меры повышения эффективности пространственного размещения и функционирования сетей. Дальнейшая работа будет связана с совершенствованием предложенных методов по следующим направлениям: определение способов обучения разработанной нечеткой нейронной сети и нахождение способов реализации оставшихся элементов разработанной модели поведения агента.

**Ключевые слова:** объекты инфраструктуры здравоохранения, медицинские услуги, медицинская активность, агент-ориентированное моделирование, нечеткие нейронные сети.

### Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (научный проект № 20-010-00852 А).

### Введение

В условиях развития технологических возможностей современной медицины и повышенного интереса к получению медицинских услуг со стороны населения важное социально-экономическое значение для регионов приобретает задача формирования на их территории эффективной пространственной инфраструктуры здравоохранения, обеспечивающей доступную среду предоставления услуг. В настоящее время эту задачу невозможно решить без использования инструментария имитационного моделирования. Авторами статьи осуществляется проект по разработке сценариев оптимального пространственного размещения и функционирования региональной инфраструктуры здравоохранения с помощью

имитационных агент-ориентированных моделей. Основная идея проекта заключается в формировании архитектуры агент-ориентированных моделей пространственной сети регионального здравоохранения с учётом принципиальных параметров институциональной среды отрасли, в том числе – размытости границ между общественным и коммерческим сектором, а также характеристик поведения населения во взаимодействии с медицинскими организациями, принимающих в современных условиях специфический характер. Новизна проекта состоит в том, что объектом моделирования станет система здравоохранения, включающая, помимо базовых государственных структур, коммерческий сектор и «третий» сектор. Кроме

того, конструируемые имитационные модели будут опираться на комплекс достоверных данных, объединяющих официальные статистические отчёты, геоинформационные системы и социологические опросы населения, проводимые с непосредственным участием авторов. Исследование и формализация мотивов и поведенческих установок жителей территорий относительно медицинской активности и выбора стратегий обращения в медицинские учреждения, включая коммерческие, позволит учесть в моделировании и при дальнейшей разработке мер управленческого воздействия критерий доступности медицинской помощи для граждан. Исходя из этого, модель будет строиться на объективных предпосылках, реальных потребностях, мотивах и поведении агентов, что даст возможность использовать её в практике управления и апробации альтернативных сценариев принятия решений и реализации региональной политики.

Суть проекта состоит в применении агент-ориентированного моделирования к решению задач пространственного размещения сетей региональной системы здравоохранения (на примере Вологодской области), обеспечивающего её эффективное функционирование в интересах населения.

Основной целью исследования является разработка методов формализации поведения агентов – пользователей медицинских услуг – в агент-ориентированной модели оптимального пространственного размещения и функционирования инфраструктуры здравоохранения региона. Для ее достижения решались следующие задачи:

- разработка общей концепции агент-ориентированной модели, в которой определены структурная и функциональная составляющие;
- анализ моделей поведения потребителей медицинских услуг;
- реализация механизма проявления медицинской активности в поведении агентов.

Новыми научными результатами выступают предложенная структура модели поведения агента – потребителя медицинских услуг и ее практическая реализация с использованием аппарата нечетких нейронных сетей в части проявления медицинской активности.

Практическая значимость полученных результатов заключается в обеспечении возможности реализовывать агент-ориентированные модели, предназначенные для поддержки принятия решений по управлению системой здравоохранения на региональном уровне. Результаты могут быть полезны административным структурам регионального и муниципального уровней управления.

#### **Материалы и методы**

##### **Исходные данные**

Получить реальную картину состояния здоровья населения в конкретном регионе практически невозможно вследствие не только чрезвычайной динамичности данной категории, но и технических возможностей современной медицины. К тому же в этом нет необходимости. Система, включающая в себя такой элемент, как изучение самочувствия населения на основе репрезентативных опросов, вполне себя оправдывает. В исследовании использовались данные социологического опроса «Изучение здоровья населения и определяющих его факторов», регулярно проводимого сотрудниками Вологодского научного центра Российской академии наук (ФГБУН ВолНЦ РАН). В опросе участвуют 1500 человек, живущих в городах и сельских поселениях Вологодской области. Выборка респондентов репрезентативная, квотная. Ошибка выборки не превышает 3%. В статье анализируются данные опроса за 2020 год на предмет выявления медицинской активности населения в разрезе гендерных, возрастных групп, а также категорий населения по уровню образования, месту проживания и социальному статусу. Ответы на два вопроса анкеты: «Что Вы обычно делаете, когда чувствуете заметное ухудшение самочувствия?» (вариант: «Терплю, не обращаюсь к врачам, не пытаюсь лечиться самостоятельно; пройдет само») и «Что Вы лично предпринимаете для сохранения и укрепления своего здоровья?» (вариант: «Обращаюсь к врачу при первых признаках болезни, регулярно прохожу медицинский осмотр») позволяют дифференцировать агентов по степени медицинской активности. Удельный вес положительных ответов на указанные вопросы выступает источником определения параметров функций принадлежности.

### Задача оптимального пространственного размещения ресурсов здравоохранения

Здоровье устойчиво занимает первое место в приоритетах россиян, а удовлетворенность доступностью медицинской помощи, напротив, является наименьшей среди характеристик удовлетворенности жизнью<sup>1</sup>. Главными препятствиями для адекватного ответа российского здравоохранения на ожидания граждан выступают недостаточность ресурсного обеспечения в сочетании с нереализованностью многочисленных резервов повышения эффективности применения имеющихся материальных, трудовых и финансовых ресурсов<sup>2</sup>.

В основе существующей концепции развития российского здравоохранения лежит подход, согласно которому приоритетной задачей реализации программы государственных гарантий является обеспечение доступности и качества медицинской помощи, удовлетворяющей потребностям населения при эффективном использовании государственных ресурсов<sup>3</sup>. Рационализация потребления ресурсов системой здравоохранения предусматривает сопоставление расходов на медицинские услуги и в целом на предоставленный объем медицинской помощи с итогами, выявленными при их оказании. Наилучший результат, полученный при меньших расходах, свидетельствует об оптимальном использовании ресурсов при производстве единицы продукции. Медико-социальная результативность рассматривается с позиции снижения случаев заболеваемости, инвалидности, смертности населения, увеличения продолжительности жизни и ее качества.

Способом формирования картины происходящего является изучение ситуации, построенное на статистических данных, т. е. на информации, претендующей на научность, точность и достоверность. Этот подход лежит в основе выработки управленческих решений в сфере здравоохранения и государственного дискурса о медицине (Михайлова и др., 2007). Планирование в сфере здравоохранения в Российской Федерации проводится на трех уровнях: федеральном, региональном и муниципальном.

<sup>1</sup> Опрос ВЦИОМ, октябрь 2017. URL: <https://wciom.ru/index.php?id=236&uid=116472>

<sup>2</sup> Там же.

<sup>3</sup> Стратегия развития здравоохранения Российской Федерации на долгосрочный период 2015–2030 гг.

Федеральный уровень в основном отвечает за формирование общей стратегии, на региональном и муниципальном уровнях осуществляется планирование объемов и видов медицинской помощи с учетом мощности, структуры учреждения, численности прикрепленного населения.

При планировании в сфере здравоохранения применяются различные методы: аналитический, балансовый, нормативный и др. Все они практически в полном объеме используются в экспериментальном методе. Любое нововведение обязательно испытывается и оценивается в эксперименте, поэтому чрезвычайно актуальной является задача, связанная с применением компьютерных моделей в конструировании социально-экономического контекста с дальнейшей «репетиционной» проверкой, апробацией на предложенной имитационной модели управленческих решений. Особенно перспективными в экономике и социальной сфере становятся агент-ориентированные модели, относящиеся к классу моделей, основанных на индивидуальном поведении агентов и создаваемых для компьютерных симуляций. Построение максимально приближенной к реальности агент-ориентированной модели, которая отражала бы комплекс базовых и принципиальных транзакций между агентами в рамках региональной системы здравоохранения, позволит формировать адекватные управленческие решения, касающиеся распределения ресурсов, рационального пространственного размещения объектов инфраструктуры отрасли.

На наш взгляд, агент-ориентированное моделирование (АОМ) выступает особенно уместным способом формирования адекватных реальной практике сценариев пространственного размещения объектов социальной инфраструктуры и организации эффективных алгоритмов маршрутизации граждан в контексте пространственной системы региона. Применение агент-ориентированного моделирования в решении прикладных вопросов государственного управления является в известной степени универсальным. Иными словами, инструментальных различий в применении агент-ориентированного подхода к городскому хозяйству, образованию или здравоохранению не существует. Как показывает ряд зарубежных исследований, он является мощным и гибким инструментом для выработки оптимальных управленческих

решений различного уровня (Gaffard, Napoletano, 2012; Dawid, Neugart, 2011; Mendritzki, 2010; Badham et al., 2018; Silverman, 2014). Однако сами характеристики, закладываемые в модель, должны быть крайне специфичны и как можно больше соответствовать реальной практике управления и деятельности в той или иной сфере. Опыт АОМ в России представлен преимущественно трудами специалистов ЦЭМИ РАН под руководством академика В.Л. Макарова (Макаров и др., 2016; Макаров и др., 2019; Бахтизин, 2008).

Агент-ориентированное моделирование получает все большую распространенность в сфере здравоохранения. Если раньше ученые с его помощью моделировали только эпидемиологические заболевания и их распространение среди населения, то в настоящее время сфера применения АОМ расширилась (Tracy et al., 2018). Оно позволяет решать более широкий круг вопросов, чем традиционные аналитические подходы, что может пролить новый свет на проблемы здоровья населения. По сути, две основные цели АОМ в общественном здравоохранении состоят в том, чтобы объяснить и предсказать результаты в отношении здоровья населения, учитывая аспекты сложной системы, в которой оно возникает. Также они обуславливают основные сильные стороны АОМ для исследований, практики и политики в области общественного здравоохранения: модели дают представление об основных механизмах, определяющих поведение и результаты в отношении здоровья (а также неравенства в отношении моделей поведения и результатов), и могут использоваться для проведения виртуальных экспериментов по вмешательствам, направленным на снижение бремени болезней среди населения. Таким образом, в мире накоплен существенный и важный опыт методологической проработки и практической реализации агент-ориентированного моделирования как в практике государственного управления в целом, так и в здравоохранении, однако недостаточно внимания уделяется аспектам пространственного размещения объектов инфраструктуры здравоохранения, которые, помимо этого, редко опираются на собственно потребности населения и поведенческие установки различных социальных групп.

Концептуальная основа моделей будет состоять из агентов и среды их функционирования. В качестве агентов будет рассматриваться население региона, а также элементы ресурсного обеспечения системы регионального здравоохранения. Агенты населения отождествляются с определенными социальными группами, имеющими схожее поведение с точки зрения потребностей в медицинских услугах. Основной целью их функционирования является наиболее полное удовлетворение данных потребностей. Для реализации обозначенных целей они взаимодействуют с агентами медицинских ресурсов. Предполагается создание в рамках моделей интерактивной системы формирования структуры агентов населения, учитывающей изменения параметров среды функционирования агентов и структуры агентов медицинских ресурсов. Агенты медицинских ресурсов выступают в роли поставщиков услуг для агентов населения. Они могут иметь как пассивный характер, предполагающий ожидание обращения к ним агентов населения за услугами, так и активный, связанный с поиском возможных клиентов предоставляемых услуг. Среда функционирования агентов состоит из элементов, оказывающих влияние на структуру и поведение агентов модели. К таким элементам будут, в частности, отнесены элементы транспортной инфраструктуры, инфраструктуры связи, производственной инфраструктуры, природно-климатические особенности территорий и др. Элементы модели имеют пространственную привязку, в соответствии с которой формируется характер и степень их взаимодействия. При этом агенты будут иметь возможность пространственного перемещения. Предлагаемые подходы позволяют обеспечить наиболее оптимальное решение задачи эффективного использования ресурсов здравоохранения на региональном уровне за счёт возможности учёта при принятии решений элементов нижнего уровня системы, а также оперативной перенастройки модели в условиях динамического изменения предметной области моделирования. Для успешного использования модели при принятии управленческих решений и в сопоставлении вариантов распределения ресурсов планируется привлечь к построению её архитектуры объективные данные, точно описыва-

ющие демографический, институциональный и экономический контекст (характер расселения, численность и половозрастную структуру населения, обеспеченность населения территорий объектами инфраструктуры здравоохранения, медицинскими кадрами и финансовыми ресурсами, развитость коммерческого сектора медицинских услуг). Особую функциональность модели придадут интеграция с геоинформационными системами и опора на данные социологических опросов, правдиво описывающих характер взаимодействия граждан с медицинскими учреждениями.

При построении моделей планируется сосредоточить внимание на оптимизации пространственного размещения сети медицинских учреждений, учитывая уровни, этапность и маршрутизацию пациентов (сельские ФАПы – ЦРБ – областные учреждения здравоохранения и пр.), а также растущее влияние на выбор пациентами услуг коммерческого сектора. При этом основной акцент будет сделан на диспропорциях в доступности медицинской помощи для различных категорий населения (они будут конгломерироваться в однородные общности и выступать агентами моделей). Практическая значимость модели заключается в том, что она будет использоваться как инструмент для апробации механизмов регионального управления. Разработка и апробация с помощью модели различных сценариев пространственного размещения сетей инфраструктуры здравоохранения и взаимодействия агентов (проведение компьютерных экспериментов на искусственном обществе) позволит избежать практики «проб и ошибок» в реализации региональной политики охраны здоровья населения. В конечном итоге модель должна помочь сформулировать меры по совершенствованию пространственного размещения сети медицинских учреждений с опорой на особенности поведения агентов (пациентов), в том числе в зависимости от влияния обозначенной группы факторов, что поможет повысить эффективность системы и доступность медицинской помощи для граждан.

С точки зрения авторов статьи, разрабатываемые сценарии пространственного размещения объектов инфраструктуры здравоохранения должны опираться на объективные императивы

поведения жителей территорий в их взаимодействии с медицинскими службами, миграционные установки, а также комплекс внутренних факторов, среди которых – половозрастные особенности, уровень образования и благосостояния, место проживания и др. Таким образом, при реализации проекта особую важность имеет определение методов формализации поведения пользователей медицинских услуг в агент-ориентированной модели оптимального пространственного размещения и функционирования инфраструктуры здравоохранения региона.

#### **Формализация задачи**

Задача моделирования строится на трёх основах – сервисы, мобильность сервисов и агенты-пользователи. Агенты-пользователи обладают мобильностью, могут свободно перемещаться в пространстве, достигать точек интереса – сервисов услуг. Последние, в свою очередь, характеризуются различными возможностями мобильности. Ряду сервисов свойственна функция перемещения и транспортировки агента из точки проживания или происхождения, вызвавшего необходимость получения медицинской помощи (скорая медицинская помощь, выезд врача на дом, мобильные медицинские службы). Другие сервисы стационарны (например, приём специалиста в поликлинике, плановая госпитализация). В целом взаимодействия агентов-пользователей и сервисов в известной степени регламентированы законодательными документами, постановлениями, протоколами, что предоставляет широкие возможности для точного структурирования их точек соприкосновения, распределения узлов размещения пользователей и точек интереса в рамках агент-ориентированной модели. Существенную проблему составляет формализация поведения пользователей, поскольку она зависит от поведенческих факторов, привычек и культурных установок населения. В самом простом варианте пользователь в рамках модели существует в двух альтернативных режимах – наличие, ощущение им потребности в услугах и помощи и отсутствие такой потребности. В отдельных случаях, прежде всего экстренного характера, потребность становится более объективной и очевидной, когда факт потребно-

сти агента в помощи могут фиксировать другие агенты (дорожно-транспортное происшествие, насильственное действие, серьезное нарушение состояния здоровья, приводящее к потере сознания), однако в большинстве случаев оценка необходимости обращения в медицинскую организацию диктуется исключительно свободным выбором самого человека.

Задача оптимального размещения сервисов здравоохранения связана с поиском вариантов, которые обеспечивают наилучшие характеристики системы с учетом выбранных критериев. На сегодняшний день не существует однозначно определенных критериев оптимальности. Как правило, они формулируются на уровне государственного управления исходя из принятых приоритетов и существующих возможностей. В большинстве случаев они связаны с временными ограничениями на возможность получения того или иного сервиса.

В общем виде модель представляется следующим образом (Дианов, 2020):

$$M = \langle U, R, S, C \rangle, \quad (1)$$

где  $U$  – узлы расположения сервисов и клиентов,

$R$  – связи между узлами,

$S$  – сервисы,  $C$  – пользователи.

Сервисы и пользователи могут располагаться в ограниченном количестве мест. Исходя из этого, в модели  $M$  может существовать определенное количество узлов расположения сервисов и пользователей:

$$U = \{U_1, \dots, U_{UN}\}. \quad (2)$$

Между узлами может существовать множество связей – путей перемещения сервисов и пользователей:

$$R = \{R_1, \dots, R_{RN}\}. \quad (3)$$

Узлы и связи имеют набор характеризующих их атрибутов различной природы:

$$U: A^U = \{A_1^U, \dots, A_{AUN}^U\}, \quad (4)$$

$$R: A^R = \{A_1^R, \dots, A_{ARN}^R\}.$$

Модель содержит множество сервисов и пользователей:

$$S = \{S_1, \dots, S_{SN}\}, \quad (5)$$

$$C = \{C_1, \dots, C_{CN}\}. \quad (6)$$

Применительно к описываемой задаче они, обладая активным поведением, относятся к разряду агентов.

Агент Сервис может быть описан следующим образом:

$$S = \langle U_i, A^S, Bh^S \rangle, \quad (7)$$

где  $U_i$  – узел постоянной дислокации сервиса,  $A^S$  – множество атрибутов сервиса ( $A^S = \{A_1^S, \dots, A_{ASN}^S\}$ ),

$Bh^S$  – модель поведения сервиса.

Аналогичное описание имеет агент Пользователь:

$$C = \langle U_i, A^C, Bh^C \rangle, \quad (8)$$

где  $U_i$  – узел постоянной дислокации пользователя,

$A^C$  – множество атрибутов пользователя ( $A^C = \{A_1^C, \dots, A_{ACN}^C\}$ ),

$Bh^C$  – модель поведения пользователя.

Модели поведения содержат модули, в которых определяются сценарии поведения агентов. Модули состоят из набора правил, позволяющих агенту выбрать тот или иной сценарий в зависимости от текущих значений параметров элементов модели.

В модели поведения агента Сервис определены два модуля:

$$Bh^S = \{Md_s^S, Md_d^S\}, \quad (9)$$

где  $Md_s^S$  – модуль сценариев оказания услуги,

$Md_d^S$  – модуль сценариев передвижения.

Агенты Сервисов могут быть двух видов: стационарные, жестко привязанные к конкретному узлу, и перемещаемые. Для стационарных агентов модуль сценариев передвижения не определяется:  $Md_d^S = \emptyset$ .

На уровне модуля сценариев оказания услуги определяются возможность и порядок оказания услуги конкретному пользователю. Исходя из этого, в правилах применяются значения атрибутов пользователя и сервиса:

$$Md_s^S = \{Pr_1^{Md_s^S}(A^S, A^C), \dots, \dots, Pr_{PrMd_s^S}^{Md_s^S}(A^S, A^C)\}, \quad (10)$$

где  $Pr_i^{Md_s^S}(X_1, \dots, X_{XN})$  –  $i$ -е правило модуля, содержащее параметры  $X_1, \dots, X_{XN}$ .

На уровне модуля сценариев передвижения определяются необходимость, возможность, параметры и маршрут перемещения агента:

$$Md_a^S = \{Pr_1^{Mdsd}(A^S, A^C, A^U, A^R), \dots, \dots, Pr_{PrMdsdN}^{Mdsd}(A^S, A^C, A^U, A^R)\} \quad (11)$$

В модели поведения агента Пользователь определены также два модуля:

$$Bh^C = \{Md_{gu}^C, Md_{pu}^C\}, \quad (12)$$

где  $Md_{gu}^C$  – модуль сценариев генерации потребности в услуге,

$Md_{pu}^C$  – модуль сценариев получения услуги.

Модуль сценариев генерации потребности в услуге обеспечивает способность агента Пользователь инициировать появление у него необходимости и желания получить конкретную услугу. Это зависит от личных характеристик агента и факторов среды его существования:

$$Md_{gu}^C = \{Pr_1^{Mdcgu}(A^C, A^U), \dots, \dots, Pr_{PrMdcguN}^{Mdcgu}(A^C, A^U)\} \quad (13)$$

С помощью использования правил модуля сценариев получения услуги агент Пользователь определяется с возможностью и способом получения сервиса, а также со своими действиями:

$$Md_{pu}^C = \{Pr_1^{Mdcpu}(A^S, A^C, A^U, A^R), \dots, \dots, Pr_{PrMdcpuN}^{Mdcpu}(A^S, A^C, A^U, A^R)\} \quad (14)$$

В модели должен быть определен критерий оптимальности. Он связан с оценкой динамики изменений свойств агентов Сервисов и Пользователей:

$$K = f(d(A^S), d(A^C)), \quad (15)$$

где  $f(\ )$  – функция определения критерия оптимальности,

$d(X)$  – функция, характеризующая динамику изменения параметра X.

Решение задачи связано с многократным моделированием ситуаций с различными комбинациями расположения агентов Сервисов в узлах. По результатам каждой итерации рассчитывается значение критерия оптимальности. Полученные значения критериев сравниваются. По результатам сравнения выбирается

модель с наилучшим, в определенном смысле, значением критерия.

### Модели активности агентов потребителей медицинских услуг

Одна из задач, которую необходимо решать применительно к предлагаемой модели – реализация правил модуля сценариев генерации потребности в услуге у агента Пользователя.

В основе большинства современных концепций описания поведения потребителей медицинских услуг лежит поведенческая модель Р.М. Андерсена (Andersen, 1968). Использование услуг здравоохранения рассматривается как результат действия трех групп факторов:

- факторы, характеризующие непосредственно потребителей медицинских услуг: демографические характеристики (пол, возраст) рассматриваются как биологические основания для использования определенных видов и объемов медицинской помощи; социально-структурные параметры (образование, профессия) определяют способность людей справляться с возникающими проблемами, связанными со здоровьем, и их умение распоряжаться имеющимися для этого ресурсами; система представлений людей о здоровье, т. е. их ценности, аттитюды, а также знания о возможностях медицины и современного здравоохранения могут повлиять на осознание потребности в медицинской помощи и на сам процесс использования медицинских услуг;

- факторы доступности, определяющие условия, при которых становится возможным использование услуг; к ним могут относиться наличие страховки, способность оплатить услуги из собственных средств, а также временные затраты на получение медицинских услуг;

- факторы потребности, определяющие выраженность потребности в медицинской помощи, измеряемой, как правило, с помощью профессиональной, врачебной оценки состояния здоровья и переменных, характеризующих восприятие, осознание индивидом потребности в медицинской помощи. В число показателей, отражающих ощущения человека, обычно включаются осознаваемый статус здоровья, оцениваемая индивидом способность к функционированию по ключевым видам деятельности, уровень беспокойства по поводу различных



болезненных симптомов. Их роль в использовании медицинских услуг в значительной мере зависит от социально-статусных характеристик потребителя и общей системы его взглядов на здоровье.

Анализ взаимосвязи характеристик, отражающих отношение к здоровью и болезни, с использованием медицинской помощи дает возможность лучше понять, в каких ситуациях человек считает необходимым прибегнуть к медицинской помощи и непосредственно обращается в систему здравоохранения (Русинова, Панова, 2002).

Помимо указанных выше параметров, в поведенческую модель также включают характеристики (Pottick et al., 1994; Mirowsky, Ross, 1983; Nichol et al., 1995; Katz, 1996; Wennberg et al., 1982; Lurie et al., 1993):

- среды, в которой происходило получение медицинских услуг;
- системы здравоохранения (политика здравоохранения, ресурсы системы, организация медицинской помощи);
- использования медицинских услуг (тип и место получаемой услуги, причины и частота обращений);
- внешней по отношению к системе здравоохранения среды (экономические, политические и социальные детерминанты, определяющие функционирование системы здравоохранения и влияющих на поведение потребителей медицинских услуг); важнейшими параметрами внешней среды, которые, как считается, могут воздействовать на поведение и потребителей медицинских услуг, и профессионалов-медиков, признаются экономический климат, уровень благосостояния населения и его отдельных групп, приоритетные цели развития, выраженность стресса и насилия, доминирующие в обществе нормы;
- характеристики профессионалов-медиков и параметры их взаимодействия с пациентами.

Не каждый человек проявляет активность в вопросах сохранения здоровья, что связано с различными факторами, которые оказывают влияние на активность населения. Зачастую получается так, что человек понимает, какие меры необходимы для поддержания здоровья на высоком уровне, но не следует им в силу

определенных факторов, выступающих как препятствие перед человеком в сфере охраны здоровья.

Здоровье человека в значительной мере зависит от стиля жизни, который в большой степени имеет персонифицированный характер и определяется историческими и национальными традициями и личностными наклонностями.

Традиционно при изучении медицинской активности оцениваются полнота и своевременность обращения за медицинской помощью и выполнения медицинских рекомендаций, склонность к самолечению и получению помощи вне сферы официальной медицины. Уверенность в значимости собственных усилий по поддержанию здоровья коррелирует с уровнем образования, профессиональным статусом и самооценкой доходов людей. Однако результаты социологических опросов свидетельствуют о том, что, несмотря на осознание важности профилактики и ранней диагностики заболеваний, основная часть респондентов обращается за медицинской помощью лишь в случае появления выраженных симптомов болезни (Покровская, 2012).

В целом можно выделить три основных типа поведения граждан при заболевании<sup>4</sup>:

- 1) благоприятный (раннее обращение к врачу и выполнение всех его рекомендаций);
- 2) неблагоприятный (позднее обращение к врачу или обращение в экстренных случаях, небрежное выполнение врачебных назначений);
- 3) промежуточный (сочетание перечисленных признаков).

В *таблице 1* представлен один из возможных вариантов классификации пациентов медицинских учреждений, где используются два типа активности: высокая и низкая; обозначены возможные варианты прогнозов в зависимости от текущего состояния здоровья и медицинской активности.

<sup>4</sup> Особенности медицинской активности граждан в период болезни // Евразийский Союз Ученых. Медицинские науки. URL: <https://euroasia-science.ru/medicinskie-nauki/%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8-%D0%BC%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9-%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8/>

Таблица 1. Классификация пациентов медицинских учреждений сферы здравоохранения РФ

Состояние здоровья пациента	Отношение к здоровому образу жизни и медицинская активность пациента	
	Высокая	Низкая
А. Здоровые	Пациенты с высоким уровнем показателей здоровья, придерживающиеся образа жизни, способствующего поддержанию здоровья, ответственно относящиеся к своему здоровью и здоровью окружающих. Регулярно посещают медицинские учреждения, проходят диспансеризацию.	Пациенты с высоким уровнем показателей здоровья, но не придерживающиеся образа жизни, способствующего поддержанию здоровья, пренебрегающие диспансеризацией. Это в значительной степени повышает риски возникновения различных заболеваний, снижает внутренний потенциал организма.
В. С риском возникновения заболевания	Пациенты, ведущие здоровый образ жизни, имеющие высокие показатели медицинской активности, но и риск возникновения заболеваний. У них меньше вероятность возникновения заболевания или перехода его в хроническую форму.	Пациенты, имеющие риск возникновения заболевания, но не придерживающиеся здорового образа жизни, редко посещающие медицинские учреждения, что увеличивает вероятность ухудшения их здоровья.
С. С острой формой заболевания	Пациенты, обладающие высокой медицинской активностью и ведущие здоровый образ жизни. У них менее вероятен переход острой формы заболевания в хроническую.	Пациенты, пренебрегающие своим здоровьем. У них увеличивается вероятность осложнений и перехода острой формы заболевания в хроническую.
Д. С хронической формой заболевания	Пациенты, имеющие длительный период ремиссии хронического заболевания и более высокие показатели уровня жизни.	Пациенты, входящие в группу неблагоприятного прогноза по заболеванию. У них постепенно снижается качество жизни.
Е. Инвалиды		

Составлено по: Куликова О.М., Боуш Г.Д. (2016). Онтологическая модель процессного управления оказанием медицинских услуг в здравоохранении РФ // Наука о человеке: гуманитарные исследования. № 1 (23). С. 215–220. DOI: 10.17238/issn1998-5320.2016.23.215

Основанием для обращения за медицинской помощью является самочувствие. Частота обращений к врачам в определенной мере коррелирует с данными самооценки состояния здоровья. Одним из показателей медицинской активности выступает поведение пациента при возникновении заболевания. Проявления медицинской активности зависят от множества факторов. Среди личностных факторов в качестве значимых в основном выделяются пол, возраст, место проживания, образование, социальный статус.

#### Результаты и обсуждение

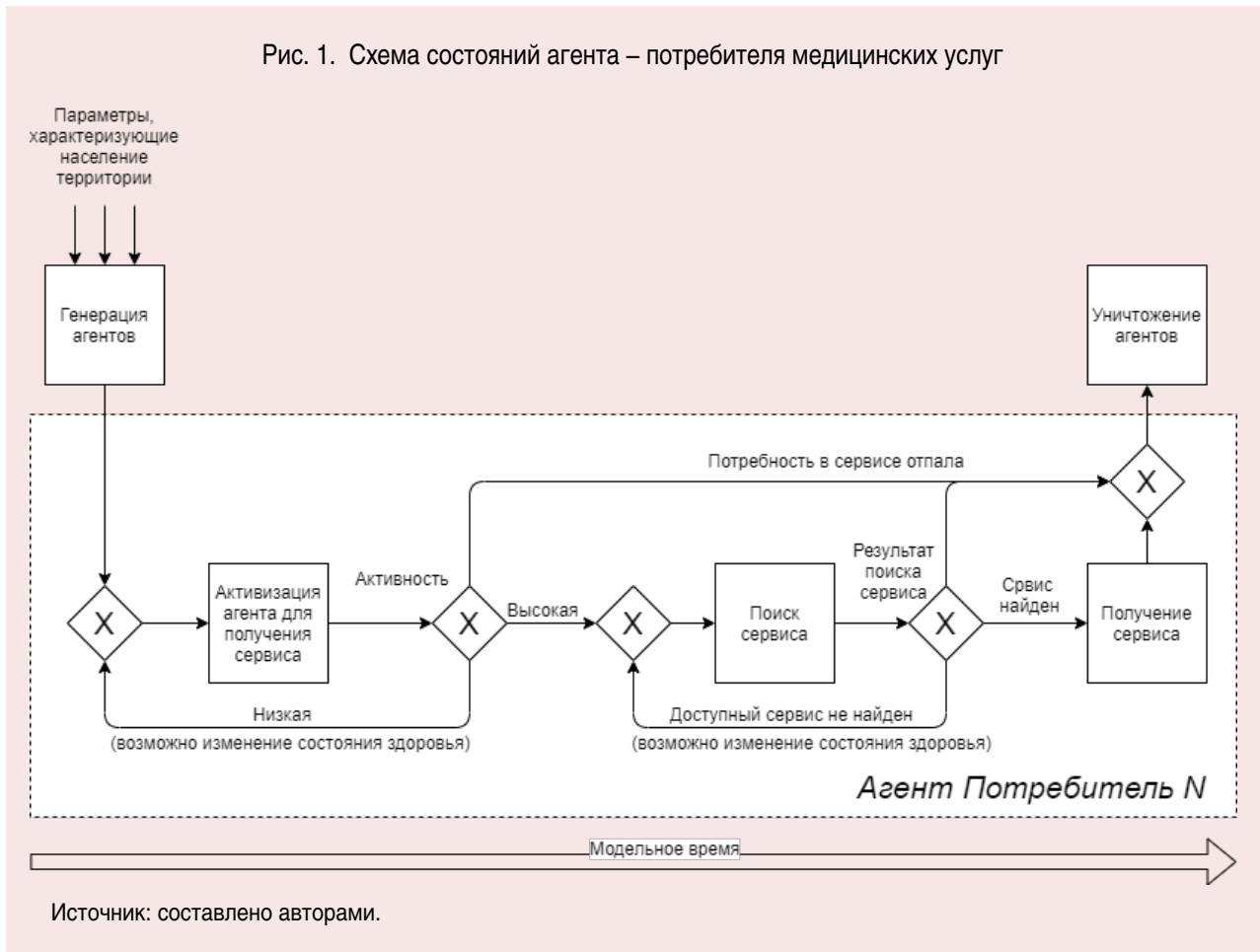
Авторами статьи разработана общая схема состояний агента потребителя медицинских услуг (рис. 1).

В связи с объективными сложностями получения реальных данных о населении региона и необходимостью использования больших вычислительных ресурсов при моделировании в качестве агентов – потребителей медицинских услуг практически нереально рассматривать каждого человека, проживающего на территории региона. Поэтому предложен подход, в соответствии с которым на основе качественного и количественного анализа состава населения

территории и его пространственного размещения на протяжении всего модельного времени с некоторой периодичностью генерируются агенты, характеристики которых отражают динамику появления нуждающихся в медицинском обслуживании граждан. Создаваемый агент характеризует не конкретную личность с совокупностью присущих ей характеристик здоровья, а личность, нуждающуюся в данный момент времени в конкретной медицинской услуге, находящуюся в определенном месте. При этом агент наделяется конкретным набором характеристик (диагноз, состояние здоровья, возраст, пол, социальный статус и др.), на основании которых моделируется его дальнейшее поведение. Изменение состояния агента происходит на протяжении всего времени его существования в модели.

Для объективности картины происходящего в действительности в модели необходимо учитывать динамику степени потребности в медицинских услугах. Состояние здоровья человека может изменяться как в лучшую, так и в худшую сторону. В результате потребность в медицинском вмешательстве и в том и в другом случае может отпасть. Агенты, параметры со-

Рис. 1. Схема состояний агента – потребителя медицинских услуг



стояния которых изменились до критического уровня, а также агенты, которым был предоставлен сервис, удаляются из модели. Общая последовательность изменения состояний агента определена следующим образом. После генерации агента он переходит в состояние «Активизация агента для получения сервиса», где определяется уровень его медицинской активности. При высокой активности агент переходит в состояние «Поиск сервиса». При низкой активности через определенный интервал модельного времени, в течение которого может измениться состояние здоровья, повторяется определение уровня активности, а также состояния здоровья. В зависимости от результатов агент либо остается в текущем состоянии, либо переходит в состояние «Поиск сервиса», либо удаляется из модели. В состоянии «Поиск сервиса» в течение одного такта моделирования агент определяется с текущей доступностью для него требуемого сервиса. Если сервис найден,

то агент переходит в состояние «Получение сервиса». В противном случае через определенный интервал модельного времени, в течение которого может измениться состояние здоровья, повторяется определение доступности сервиса и состояния здоровья. В зависимости от результатов агент либо остается в текущем состоянии, либо переходит в состояние «Получение сервиса», либо удаляется из модели. Агент находится в состоянии «Получение сервиса» в течение определенного для соответствующего вида сервиса модельного времени, а затем удаляется из модели.

Далее будет представлен разработанный авторами механизм определения медицинской активности агента – потребителя медицинских услуг, находящегося в состоянии «Активизация агента для получения сервиса». Он связан с прогнозированием проявления активного поведения человеком в повседневной жизни по отношению к своему здоровью безотноси-

тельно текущего состояния здоровья. Агент используется в качестве представителя определенной категории граждан, имеющих схожие поведенческие паттерны. Важнейший критерий проявления медицинской активности, связанный с текущей стадией заболевания, будет интегрирован с рассматриваемым здесь критерием исходя из специфики представленных в моделях медицинских сервисов. Это связано с тем, что ощущение и осознание человеком состояния своего здоровья применительно к различным диагнозам могут отличаться.

Тип активности агента (высокая, низкая) определяется в «Блоке активизации агента для получения сервиса» на основании параметров сгенерированного агента (табл. 2).

Поскольку медицинскую активность агента однозначно определить невозможно, авторы в качестве механизма используют аппарат нечетких нейронных сетей (Gupta, 1994; Швецов, Дианов, 2018; Дианов, Швецов, 2018). Сеть реализует систему нечеткого вывода типа Сугено нулевого порядка, имеет множество входных переменных  $P$ , соответствующих значениям параметров агента. Выход сети — переменная, определяющая активность агента с множеством значений  $[0..1]$ , где значение, близкое к 1, определяет высокую степень активности.

Сеть состоит из пяти слоев. Слой 1 определяет нечеткие термы входных параметров. Выходы узлов этого слоя представляют собой значения функции принадлежности при конкретных значениях входов. Каждый узел слоя является адаптивным с функцией принадлежности  $\mu_{A_i}(P_j)$ , где  $A_i$  — нечеткий терм, применяемый для лингвистической оценки переменной  $P_j$ . Функция принадлежности может быть определена на основании анализа статистических данных, а также результатов опросов. Исходя из этого, можно сформировать различные группы населения с типовыми поведенческими параметрами, связанными с проявлением медицинской активности (табл. 3).

В анализируемом опросе активность можно рассматривать через призму двух взаимно противоположных ответов на вопросы:

— Что Вы обычно делаете, когда чувствуете заметное ухудшение самочувствия? (вариант: «Терплю, не обращаюсь к врачам и не пытаюсь лечиться самостоятельно: пройдет само») — пассивные.

— Что Вы лично предпринимаете для сохранения и укрепления своего здоровья? (вариант: «Обращаюсь к врачу при первых признаках болезни, регулярно прохожу медицинский осмотр») — активные.

Таблица 2. Факторы, связанные с проявлением медицинской активности

Фактор	Зависимость
Пол	Женщины значительно чаще мужчин обращаются за помощью в медучреждения.
Возраст	Частота обращения к врачу увеличивается пропорционально возрасту, «скачок» наступает после 50 лет.
Место проживания	Место жительства влияет на частоту посещений, но зависимость здесь не связана с размерами населенного пункта и насыщенностью его лечебно-профилактическими учреждениями, как можно было бы предположить. На первом месте по частоте и регулярности обращения за медицинской помощью находится население городов районного подчинения и рабочих поселков, на втором — жители областного центра, на третьем — сельское население, на четвертом — население городов областного подчинения.
Образование	Лица с высшим образованием предпочитают обращаться к врачу один-два раза в год, лица со средним и средним специальным образованием посещают медучреждения несколько реже, почти треть из них меньше одного раза в год; граждане с незаконченным средним и начальным образованием — ежемесячно или раз в полгода.
Социальный статус	На первом месте по частоте и регулярности обращений в медучреждения находятся пенсионеры, на втором — работники бюджетной сферы, на третьем — инженерно-технические работники и служащие, на четвертом — рабочие, на пятом — безработные и на шестом — предприниматели и коммерсанты.
Составлено по: Решетников А.В. (2000). Социальный портрет потребителя медицинских услуг // Экономика здравоохранения. № 12. С. 5–19.	

Таблица 3. Группы населения, имеющие типовые поведенческие параметры, связанные с проявлением медицинской активности

Параметр	Группы
Пол	Мужчины Женщины
Возраст	От 18 до 30 лет (включительно) От 31 года до 50 лет (включительно) От 51 года
Место проживания	Город Сельская местность
Образование	Неполное среднее, среднее Среднее специальное (ПТУ), среднее техническое (техникум), незаконченное высшее Высшее, послевузовское
Социальный статус	Учащиеся Работающие Занятые домашним хозяйством Пенсионеры Прочие
Источник: составлено авторами.	

Процентное соотношение положительных ответов на данные вопросы может являться источником определения параметров функций принадлежности (табл. 4). Они дифференцированы по значениям параметров групп населения.

Некоторая часть опрошиваемых не имеет четкого отношения к проявлению медицинской активности. Можно предполагать, что они с

определенной степенью вероятности могут в каждом конкретном случае вести себя либо активно, либо пассивно (нечеткий терм для определения возможности проявления активности состоит из набора {«Активен», «Может быть активен»}). Исходя из этого, должны быть сформированы соответствующие функции принадлежности (табл. 5).

Таблица 4. Результаты расчета параметров функций принадлежности

Параметр	Значение параметра	Всего	Активные		Пассивные		Не определившиеся	
			Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%
Пол	мужской	670	176	26	169	25	325	49
	женский	830	311	37	72	9	447	54
Возраст (лет)	от 18 до 30	267	68	25	58	22	141	53
	от 31 до 50	582	157	27	110	19	315	54
	от 51	651	262	40	73	11	316	49
Место проживания	город	1079	349	32	160	15	570	53
	село	421	138	33	81	19	202	48
Образование	неполное среднее, среднее	132	51	39	37	28	44	33
	среднее специальное, среднее техническое, незаконченное высшее	1000	309	31	170	17	521	52
	высшее, послевузовское	368	127	35	34	9	207	56
Социальный статус	учащиеся	53	12	23	14	26	27	51
	работающие	943	286	30	165	17	492	52
	занятые домашним хозяйством	47	5	11	13	28	29	62
	пенсионеры	406	169	42	37	9	200	49
	прочие	51	15	29	12	24	24	47
Составлено по: результаты опроса населения Вологодской области «Изучение здоровья населения и определяющих его факторов», проводимого в 2020 году Вологодским научным центром РАН.								

Таблица 5. Функции принадлежности для параметров групп населения

Параметр	Значение параметра	Функция принадлежности	
		Активен	Может быть активен
Пол	мужской	$\mu_{A_{p1}}(P_j)$	$\mu_{A_{p2}}(P_j)$
	женский	$\mu_{A_{p3}}(P_j)$	$\mu_{A_{p4}}(P_j)$
Возраст (лет)	от 18 до 30	$\mu_{A_{v1}}(P_j)$	$\mu_{A_{v2}}(P_j)$
	от 31 до 50	$\mu_{A_{v3}}(P_j)$	$\mu_{A_{v4}}(P_j)$
	от 51	$\mu_{A_{v5}}(P_j)$	$\mu_{A_{v6}}(P_j)$
Место проживания	город	$\mu_{A_{m1}}(P_j)$	$\mu_{A_{m2}}(P_j)$
	село	$\mu_{A_{m3}}(P_j)$	$\mu_{A_{m4}}(P_j)$
Образование	неполное среднее, среднее	$\mu_{A_{o1}}(P_j)$	$\mu_{A_{o2}}(P_j)$
	среднее специальное, среднее техническое, незаконченное высшее	$\mu_{A_{o3}}(P_j)$	$\mu_{A_{o4}}(P_j)$
	высшее, послевузовское	$\mu_{A_{o5}}(P_j)$	$\mu_{A_{o6}}(P_j)$
Социальный статус	учащиеся	$\mu_{A_{s1}}(P_j)$	$\mu_{A_{s2}}(P_j)$
	работающие	$\mu_{A_{s3}}(P_j)$	$\mu_{A_{s4}}(P_j)$
	занятые домашним хозяйством	$\mu_{A_{s5}}(P_j)$	$\mu_{A_{s6}}(P_j)$
	пенсионеры	$\mu_{A_{s7}}(P_j)$	$\mu_{A_{s8}}(P_j)$
	прочие	$\mu_{A_{s9}}(P_j)$	$\mu_{A_{s10}}(P_j)$

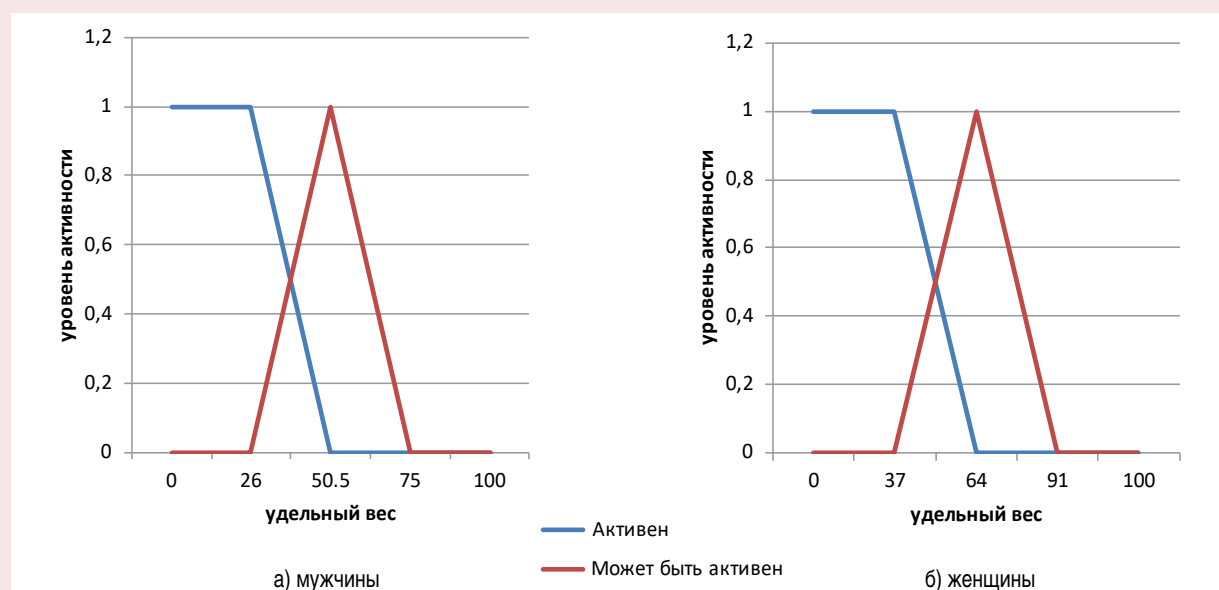
Источник: составлено авторами.

Графики функций принадлежности для значений параметра «Пол» представлены на рисунке 2. Они строятся на основании процентного соотношения (удельный вес определяется в диапазоне от 0 до 100), связанного с активностью граждан территории. Для каждого призна-

ка возможны две функции: «активен» и «может быть активен». Точки для значений графиков определяются на основании следующих соображений:

– выбираются значения, при которых проявляется безусловная активность (значение

Рис. 2. График функции принадлежности параметра «Пол»



Источник: составлено авторами.

функции равно 1); мы определяем его как процент активных граждан по результатам опроса и откладываем от начала оси координат;

– значения, при которых проявляется безусловная пассивность граждан (значение функции равно 0); мы определяем его как процент пассивных граждан по результатам опроса и откладываем от конца оси координат;

– находим серединную точку между соотношением активных и пассивных граждан.

Для остальных параметров графики функций принадлежности строятся аналогичным образом. Стоит отметить, что такой порядок определен для начального этапа построения сети. В дальнейшем в процессе ее обучения функции принадлежности могут изменяться.

Функция принадлежности выбирается в зависимости от значений параметров рассматриваемого лица (пол, возраст, место проживания, образование, социальный статус):

$$\begin{aligned}
 \mu_{A_{pa}}(P_j) &= \begin{cases} \mu_{A_{p1}}(P_j), & \text{если пол} = \text{"мужской"} \\ \mu_{A_{p3}}(P_j), & \text{если пол} = \text{"женский"} \end{cases} \\
 \mu_{A_{pn}}(P_j) &= \begin{cases} \mu_{A_{p2}}(P_j), & \text{если пол} = \text{"мужской"} \\ \mu_{A_{p4}}(P_j), & \text{если пол} = \text{"женский"} \end{cases} \\
 \mu_{A_{va}}(P_j) &= \begin{cases} \mu_{A_{v1}}(P_j), & \text{если возраст} = \text{"от 18 до 30"} \\ \mu_{A_{v3}}(P_j), & \text{если возраст} = \text{"от 31 до 50"} \\ \mu_{A_{v5}}(P_j), & \text{если возраст} = \text{"от 51"} \end{cases} \\
 \mu_{A_{vn}}(P_j) &= \begin{cases} \mu_{A_{v2}}(P_j), & \text{если возраст} = \text{"от 18 до 30"} \\ \mu_{A_{v4}}(P_j), & \text{если возраст} = \text{"от 31 до 50"} \\ \mu_{A_{v6}}(P_j), & \text{если возраст} = \text{"от 51"} \end{cases} \\
 \mu_{A_{ma}}(P_j) &= \begin{cases} \mu_{A_{m1}}(P_j), & \text{если место проживания} = \text{"город"} \\ \mu_{A_{m3}}(P_j), & \text{если место проживания} = \text{"село"} \end{cases} \\
 \mu_{A_{mn}}(P_j) &= \begin{cases} \mu_{A_{m2}}(P_j), & \text{если место проживания} = \text{"город"} \\ \mu_{A_{m4}}(P_j), & \text{если место проживания} = \text{"село"} \end{cases} \\
 \mu_{A_{oa}}(P_j) &= \begin{cases} \mu_{A_{o1}}(P_j), & \text{если образование} = \text{"неполное среднее, среднее"} \\ \mu_{A_{o3}}(P_j), & \text{если образование} = \text{"среднее специальное, среднее техническое,} \\ & \text{незаконченное высшее"} \\ \mu_{A_{o5}}(P_j), & \text{если образование} = \text{"высшее, послевузовское"} \end{cases} \\
 \mu_{A_{on}}(P_j) &= \begin{cases} \mu_{A_{o2}}(P_j), & \text{если образование} = \text{"неполное среднее, среднее"} \\ \mu_{A_{o4}}(P_j), & \text{если образование} = \text{"среднее специальное, среднее техническое,} \\ & \text{незаконченное высшее"} \\ \mu_{A_{o6}}(P_j), & \text{если образование} = \text{"высшее, послевузовское"} \end{cases} \\
 \mu_{A_{sa}}(P_j) &= \begin{cases} \mu_{A_{s1}}(P_j), & \text{если социальный статус} = \text{"учащиеся"} \\ \mu_{A_{s3}}(P_j), & \text{если социальный статус} = \text{"работающие"} \\ \mu_{A_{s5}}(P_j), & \text{если социальный статус} = \text{"занятые домашним хозяйством"} \\ \mu_{A_{s7}}(P_j), & \text{если социальный статус} = \text{"пенсионеры"} \\ \mu_{A_{s9}}(P_j), & \text{если социальный статус} = \text{"прочие"} \end{cases} \\
 \mu_{A_{sn}}(P_j) &= \begin{cases} \mu_{A_{s2}}(P_j), & \text{если социальный статус} = \text{"учащиеся"} \\ \mu_{A_{s4}}(P_j), & \text{если социальный статус} = \text{"работающие"} \\ \mu_{A_{s6}}(P_j), & \text{если социальный статус} = \text{"занятые домашним хозяйством"} \\ \mu_{A_{s8}}(P_j), & \text{если социальный статус} = \text{"пенсионеры"} \\ \mu_{A_{s10}}(P_j), & \text{если социальный статус} = \text{"прочие"} \end{cases}
 \end{aligned} \tag{16}$$

Значение параметра функции принадлежности определяется путем генерации случайного числа в диапазоне от 0 до 100.

Слой 2 определяет посылки нечетких правил. Данный слой – неадаптивный, выполняет произведение входов. Его выходными данными являются степени истинности посылок правил (активности и возможной активности):

$$w_1 = \mu_{A_{pa}}(P_j) * \mu_{A_{va}}(P_j) * \mu_{A_{ma}}(P_j) * \mu_{A_{oa}}(P_j) * \mu_{A_{sa}}(P_j), \quad (17)$$

$$w_2 = \mu_{A_{pn}}(P_j) * \mu_{A_{vn}}(P_j) * \mu_{A_{mn}}(P_j) * \mu_{A_{on}}(P_j) * \mu_{A_{sn}}(P_j).$$

Каждый узел неадаптивного слоя 3 рассчитывает относительную степень выполнения нечеткого правила:

$$w_1^* = \frac{w_1}{w_1 + w_2}, \quad w_2^* = \frac{w_2}{w_1 + w_2}. \quad (18)$$

Адаптивные узлы четвертого слоя рассчитывают вклад каждого нечеткого правила в выход сети по формулам:

$$A_1^C = w_1^* \cdot v_{k1}, \quad A_2^C = w_2^* \cdot v_{k2}. \quad (19)$$

Четкие числа  $v_{k1}, v_{k2}$  задают заключения каждого правила.

Единственный узел слоя 5 суммирует вклады всех правил:

$$A^C = A_1^C + A_2^C. \quad (20)$$

Программная реализация сети осуществлена в среде Microsoft Access. В базу данных была импортирована часть данных статистического опроса. Созданы модули, реализующие алгоритм работы нечеткой нейронной сети. Пример полученных результатов представлен на рисунке 3.

В настоящее время проведен ряд экспериментов по определению медицинской активности населения с использованием нечеткой нейронной сети с различными значениями настраиваемых параметров четвертого слоя  $v_{k1}, v_{k2}$ , а также с различными уровнями определения активности. Отдельные результаты представлены в таблице 6.

Рис. 3. Фрагмент базы данных с результатами по определению медицинской активности населения

v805 Активный	Возраст	Пол	Образование	Профессиональная сфера	Место проживания	SetActive
0	33	2	5	3	1	0
0	35	2	5	4	1	0
1	24	2	5	4	1	0
1	43	2	5	3	1	1
1	18	2	3	4	1	0
1	20	1	3	5	1	0
1	39	2	3	4	1	1
1	25	1	3	1	1	1
1	19	2	3	12	1	0
0	52	2	5	3	1	0

Самый левый столбец – активность по результатам опроса, самый правый – результаты вывода.

Источник: составлено авторами.

Таблица 6. Результаты экспериментов по определению медицинской активности населения с использованием нечеткой нейронной сети

№	Уровень определения активности	$v_{k1}$	$v_{k2}$	Количество активных граждан
1	0,6	1	0,1	679
2	0,8	1	0,1	670
3	0,8	0,9	0,1	647
4	0,6	0,7	0,1	635
5	0,5	0,6	0,3	653

Источник: составлено авторами.



Полученные при проведении экспериментов результаты в целях проверки точности прогнозирования могут сравниваться с результатами самого социологического опроса. Авторами рассматривался вариант использования при этом двух значений критерия активности: 1 – активен, 0 – не активен. Активными определялись респонденты, выбравшие вариант «Обращаюсь к врачу при первых признаках болезни, регулярно прохожу медицинский осмотр» при ответе на вопрос «Что Вы лично предпринимаете для сохранения и укрепления своего здоровья?». Применительно к результатам, представленным в таблице 6, расхождение с данными социологического опроса составило от 30 до 40% (количество активных пользователей медицинских услуг по результатам опроса – 487 из общего количества опрошенных 1500). При анализе полученных данных следует учитывать, что адаптации не подвергался первый слой сети. Авторы планируют дальнейшую доработку сети в части ее обучения, а также обеспечения возможности учитывать при расчете активности характер, специфику и уровень тяжести медицинской проблемы для человека.

#### **Заключение**

Специфика агент-ориентированного моделирования определяет перспективность его использования для решения множества задач

в социально-экономических системах. Основной сложностью при реализации таких моделей является их концептуализация. Результаты, полученные в исследовании, обеспечивают концептуальной основой процесс построения агент-ориентированных моделей пространственной сети объектов инфраструктуры и ресурсообеспеченности системы регионального здравоохранения. Данные модели ориентированы на поиск вариантов оптимального размещения с учетом мотивов, установок и стратегий поведения жителей региона, а также роли комплекса внешних и внутренних факторов, определяющих этот выбор. Это обеспечивается за счет возможности использования результатов социологических опросов. Представленные подходы позволяют интерпретировать данные опросов для формирования моделей поведения пользователей медицинских услуг. За счет применения механизмов нечеткого вывода имитируется элемент неопределенности в поведении агентов, что повышает адекватность создаваемых моделей по отношению к предметной области. Таким образом, работа вносит вклад в развитие теоретических и прикладных аспектов создания агент-ориентированных моделей, связанных с предоставлением сервисов для социальных систем.

### **Литература**

- Бахтизин А.Р. (2008). Агент-ориентированные модели экономики. М.: Экономика. 279 с.
- Дианов С.В. (2020). Задача оптимального пространственного размещения сервисов для систем с мобильными пользователями // Интеллектуально-информационные технологии и интеллектуальный бизнес (ИНФОС-2020): мат-лы одиннадцатой заочной междунар. науч.-техн. конф. (29–30 июня 2020 г.). Вологда: ВоГУ. С. 53–55.
- Дианов С.В., Швецов А.Н. (2018). Использование нечетких нейронных сетей для поиска возможных сценариев поведения в мультиагентных системах организационного управления // Вузовская наука – регионам: мат-лы XVI Всероссийской научной конференции с международным участием. Вологда. С. 77–79.
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. (2016). Агент-ориентированные модели как инструмент апробации управленческих решений // Управленческое консультирование. № 12. С. 16–25.
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Сушко Г.Б. (2019). Агент-ориентированная суперкомпьютерная демографическая модель России: анализ апробации // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. Т. 12. № 6. С. 74–90. DOI: 10.15838/esc.2019.6.66.4
- Михайлова Ю.В., Леонов С.А., Сон И.М. [и др.] (2007). Современное состояние и пути развития отечественной медицинской статистики // Социальные аспекты здоровья населения. № 1 (1). URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/21/30> (дата обращения 10.11.2021).

- Покровская С.Э. (2012). Факторы, формирующие обращаемость за медицинской помощью // Социальные аспекты здоровья населения. Т. 25. № 3.
- Русинова Н.Л., Панова Л.В. (2002). Доступ к услугам здравоохранения: методологические подходы и методы измерения // Журнал социологии и социальной антропологии. Т. 5. № 4. С. 147–163.
- Швецов А.Н., Дианов С.В. (2018). Использование нечетких нейронных сетей для определения реактивного поведения в мультиагентных системах организационного управления // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. № 1 (1). С. 64–69.
- Andersen R.M. (1968). *Behavioral Model of Families: Use of Health Services*. Chicago: Center for Health Administration Studies, University of Chicago.
- Badham J., Chattoe-Brown E., Gilbert N., Chalabi Z., Kee F., Hunter R.F. (2018). Developing agent-based models of complex health behaviour. *Health Place*, 54, 170–177. DOI: 10.1016/j.healthplace.2018.08.022
- Dawid H., Neugart M. (2011). Agent-based models for economic policy design. *Eastern Economic Journal*, 37, 44–50.
- Gaffard J.-L., Napoletano M. (2012). *Agent-Based Models and Economic*. Paris: OFCE.
- Gupta M.M. (1994). *Fuzzy neural networks: theory and applications, Proc. SPIE 2353, Intelligent Robots and Computer Vision XIII: Algorithms and Computer Vision*. Available at: <https://doi.org/10.1117/12.188903>
- Katz B.P., Freund D.A., Heck D.A. et al. (1996). Demographic variation in the rate of knee replacement: A multi-year analysis. *Health Services Research*, 31(2), 125–140.
- Lurie N., Slater J., McGovern P. et al. (1993). Preventive care for women. Does the sex of the physician matter? *N Engl J Med*. 12; 329(7), 478–482. DOI: 10.1056/NEJM199308123290707
- Mendritzki S. (2010). *Artificial Policy: Examining the Use of Agent-Based Modeling in Policy Contexts*. M.S. Thesis. Alberta: University of Calgary.
- Mirowsky J., Ross C.E. (1983). Patient satisfaction and visiting the doctor: A self-regulating system. *Social Science & Medicine*, 17(18), 1353–1361. Available at [https://doi.org/10.1016/0277-9536\(83\)90195-8](https://doi.org/10.1016/0277-9536(83)90195-8).
- Nichol M.B., Stimmel G. L., Lange S.C. (1995). Factors predicting the use of multiple psychotropic medications. *The Journal of Clinical Psychiatry*, 56(2), 1–66.
- Pottick K., Hansell S., Gutterman E., White H.R. (1995). Factors associated with inpatient and outpatient treatment for children and adolescents with serious mental illness. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 34(4), 425–433. Available at <https://doi.org/10.1097/00004583-199504000-00009>.
- Silverman B.G. (2014). systems approach to healthcare: Agent-based modeling, community mental health, and population well-being. *Artificial Intelligence in Medicine*, 63(2). DOI: 10.1016/j.artmed.2014.08.006
- Tracy M., Cerdá M., Keyes K.M. (2018). Agent-based modeling in public health: Current applications and future directions. *Annual Review of Public Health*, 39, 77–94. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-040617-014317>
- Wennberg J.E., Barnes B.A., Zubkoff M. (1982). Professional uncertainty and the problem of supplier-induced demand. *Social Science & Medicine*, 16(7), 811–824.

### Сведения об авторах

Сергей Владимирович Дианов – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Вологодский научный центр Российской академии наук (160014, Российская Федерация, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а; e-mail: Dianov.sv@mail.ru)

Константин Николаевич Калашников – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Вологодский научный центр Российской академии наук (160014, Российская Федерация, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а; e-mail: konstantino-84@mail.ru)

Василий Александрович Ригин – заведующий лабораторией, Вологодский научный центр Российской академии наук (160014, Российская Федерация, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а; e-mail: riginva@mail.ru)

Dianov S.V., Kalashnikov K.N., Rigin V.A.

## Agent-Based Modeling of Regional Healthcare: Addressing the Task of Formalizing Residents' Medical Activity

**Abstract.** The article addresses the task concerning the development of techniques for formalizing the behavior of agents-users of medical services in agent-based models designed to support decision-making on the spatial layout of health infrastructure facilities in the region. We analyze approaches to determining the behavior patterns of consumers of medical services and, on this basis, develop the structure of agents' behavior model. We consider the implementation of the proposed model with the help of fuzzy neural networks. While forming the network, we use the results of a sociological survey conducted by Vologda Research Center in the territory of the Vologda Oblast in 2020. Practical implementation of the network is carried out in the Microsoft Access environment. Using this tool, we conduct a number of experiments to determine residents' medical activity based on the initial data of the sociological survey. We use general scientific methods of formalization, abstraction, generalization, methods of system analysis, mathematical statistics, and fuzzy logic. The results of our work consist in designing the structure of behavior model for agents-consumers of medical services and methods for its implementation. Scientific novelty of our findings consists in the proposed structure of behavior model of agents-consumers of medical services and its practical implementation with the use of fuzzy neural networks in relation to the manifestation of medical activity. Practical significance of the results lies in the fact that the instrumental approaches proposed and partially tested in it will allow us to develop agent-based models of regional healthcare adequate to objective environmental conditions, taking into account citizens' attitudes and behavior motives in interaction with medical services. In the future, this will help us to put forward and adjust measures to improve the efficiency of spatial layout and functioning of networks. Further work will be related to the improvement of the proposed methods in the following areas: determining ways to train the developed fuzzy neural network and finding ways to implement the remaining elements of the developed model for agent behavior.

**Key words:** healthcare infrastructure facilities, medical services, medical activity, agent-based modeling, fuzzy neural networks.

### Information about the Authors

Sergei V. Dianov – Candidate of Sciences (Engineering), Senior Researcher, Vologda Research Center, Russian Academy of Sciences (56A, Gorky Street, Vologda, 160014, Russian Federation; e-mail: Dianov.sv@mail.ru)

Konstantin N. Kalashnikov – Candidate of Sciences (Economics), Senior Researcher, Vologda Research Center, Russian Academy of Sciences (56A, Gorky Street, Vologda, 160014, Russian Federation; e-mail: konstantino-84@mail.ru)

Vasilii A. Rigin – head of laboratory, Vologda Research Center, Russian Academy of Sciences (56A, Gorky Street, Vologda, 160014, Russian Federation; e-mail: riginva@mail.ru)

Статья поступила 16.08.2021.