

УДК 004.4'24

**ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА ANYDYNAMICS ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ****Клебанов Б.И., Вакушин А.А., Тен Ю.М.***ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: b.i.klebanov@urfu.ru*

Задача создания эффективной информационной системы поддержки принятия решений в области управления развитием социальных сообществ имеет высокую сложность, обусловленную большим размером сообщества, разнообразием учитываемых объектов, столкновением интересов большого количества лиц, участвующих в принятии решения, отсутствием адекватных математических моделей, практическим отсутствием в существующих моделях учета индивидуальных характеристик людей, их отношений друг с другом. В настоящее время все большее признание завоевывает точка зрения, что единственно возможным средством для решения рассматриваемых проблем является имитационное поведенческое моделирование общественных процессов. Работа посвящена определению требований к средствам создания имитационных моделей развития социума, выбору и разработке с помощью пакета AnyDynamics информационных компонент базового уровня, являющегося основой для создания моделей развития общества. Все компоненты модели представлены в виде графических нотаций гибридных (непрерывно-дискретных автоматов), что существенно влияет на способность восприятия модели различными участниками процесса ее создания и эксплуатации. Базовая модель социума включает множество территориально распределенных взаимодействующих между собой интеллектуальных агентов и объектов потребления. В качестве объектов потребления представлены однократно используемые или воспроизводимые энергоносители, распределенные в жизненном пространстве агентов. Множество агентов модели может меняться во времени за счет их воспроизводства и гибели, принудительного включения и исключения их из модели. Базовая модель социума включает множество территориально распределенных взаимодействующих между собой интеллектуальных агентов и объектов потребления. Архитектура агентов представлена компонентами: Система управления («мозг агента») и Генератор энергии (внутренний источник), Видеорецептор, Эффектор движения, Манипулятор, Приемник и Передатчик информации. Определены эталонные процесс потребления и взаимодействия агентов в процессе реализации потребностей. Представлены результаты модельного эксперимента.

**Ключевые слова:** агент, имитационное моделирование, AnyDynamics, гибридный автомат, социум

**APPLICATION OF THE ANYDYNAMICS PACKAGE FOR THE DEVELOPMENT OF SIMULATION MODELS OF SOCIAL SYSTEMS****Klebanov B.I., Vakushin A.A., Ten Y.M.***Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, e-mail: b.i.klebanov@urfu.ru*

The goal of creating an effective decision support information system in the field of managing the development of social communities is highly complex, due to the large size of the community, the variety of objects considered, the clash of interests of many persons involved in decision making, the lack of adequate mathematical models, the practical absence of individual characteristics of people, their relationship with each other. Currently, the point of view is gaining more and more recognition that the only possible means for solving the problems under consideration is imitative behavioral modeling of social processes. This article is devoted to the definition of requirements for the means of creating simulation models of the development of society, the choice and development using the AnyDynamics package of information components of the base level, which is the basis for creating models of the development of society. All components of the model are presented in the form of graphical notations of hybrid (continuous-discrete automata), which significantly affects the ability of the perception of the model by various participants in the process of its creation and operation. The basic model of society includes many territorially distributed intelligent agents and objects of consumption interacting with each other. As objects of consumption, single-use or reproducible energy carriers distributed in the living space of agents are presented. A set of agents can change in time due to their reproduction and death, their forced inclusion and exclusion from the model. The basic model of society includes many territorially distributed intelligent agents and objects of consumption interacting with each other. The architecture of agents is represented by the following components: Control System ("agent's brain") and Energy Generator (internal source), Video Receptor, Motion Effector, Manipulator, Receiver, and Information Transmitter. Reference processes of consumption and interaction of agents in the process of realization of needs are defined. The results of a model experiment are presented.

**Keywords:** agent, simulation modeling, AnyDynamics, hybrid automaton, society

К числу основных проблем эффективного решения задач стратегического управления развитием больших социальных сообществ, например «умных» городов, с помощью систем поддержки принятия решений нужно отнести следующие. Данная задача имеет высокую сложность, об-

условленную не только большим размером сообщества и разнообразием учитываемых объектов, но и столкновением интересов большого количества лиц, участвующих в принятии решения. Повышению уровня сложности способствует также междисциплинарность и фрагментация научных ис-

следований в области прогнозирования развития социума. Встает вопрос, какие модели использовать для анализа вариантов трансформации, предлагаемых разными участниками процесса принятия решения. Известно, например, что математические модели экономики подходят к своему пределу сложности, несмотря на необходимость все более точно отражать действительность [1]. Еще одной важной проблемой является сложность создания самой СППР (ее программирования, эксплуатации и сопровождения) и, соответственно, уровень доверия к ее результатам со стороны лиц, принимающих решения. Третья проблема заключается в следующем. Разработанные и реализованные проекты трансформации умных городов (Лондон, Барселона, Нью Йорк и др.) в основном охватывают: энергетику, транспорт, водоснабжение и водоотведение, строительство и инженерные инфраструктуры. К сожалению, при разработке данных проектов пока слабо учитываются индивидуальные свойства, отношения друг с другом, склонности, способности населения конкретных городов. Как показывают результаты исследований ведущих ученых современности, лауреатов Нобелевской премии И. Пригожина [2] и Р. Талера [3], данное обстоятельство не позволяет строить адекватный прогноз поведения отдельных субъектов городских процессов, что может привести к нежелательным последствиям при реализации стратегии.

В настоящее время все большее признание завоевывает точка зрения, что единственно возможным средством для решения рассматриваемых проблем является имитационное поведенческое моделирование [4] общественных процессов. Именно оно позволяет учесть в моделях свойства различных объектов модели, индивидуальные характеристики и особенности поведения отдельных личностей и других типов активных агентов.

Данная работа посвящена определению требований к средствам создания имитационных моделей развития социума, выбору и разработке с помощью пакета AnyDynamics информационных компонент базового уровня, являющегося основой для создания моделей развития общества.

#### **Материалы и методы исследования**

Система имитационного моделирования социума должна обеспечить представление множества территориально распределенных взаимодействующих между собой многокомпонентных активных агентов и пассивных объектов. В качестве основного активного элемента СИМ общества предлагается использовать модель активного многоком-

понентного агента, включающего: систему управления (мозг), источник энергии, рецепторы (органы чувств), эффекторы (для физического преобразования, перемещения объектов и взаимодействия с другими объектами), средства передачи и приема информации. Указанная структура характерна для любых типов активных объектов.

Основные требования к моделям динамических процессов в СИМ определяются следующим образом:

1. Каждый агент живет в цикле реализации своих потребностей, причинами которых могут быть новые внешние или внутренние обстоятельства (сигналы) [5].

2. Процессы реализации потребностей могут существовать параллельно, что требует разрешения конфликтов на компонентах агента. Способы разрешения конфликтов: инстинктивный, из памяти, минимальные усилия, планирование, заданные системы приоритетов. Необходим учет характера и эмоций агента на принятие решений.

3. Процессы генерации и реализации потребностей имеют непрерывно-дискретный характер. Структура процессов реализации потребностей определена в базе знаний агента (БЗ) и представляет собой множество рецептов реализации потребностей, известных агенту на определенной фазе развития.

4. Агенты могут выбирать эффективные, с их точки зрения, средства и рецепты реализации потребностей. Агенты могут взаимодействовать между собой и с пассивными объектами физически и путем передачи информации.

5. Структура модели может меняться в процессе развития социума, могут удаляться, вводиться и воспроизводиться как агенты, так и любые другие объекты модели

6. Вследствие высокой сложности и междисциплинарности объекта моделирования языковые средства создания модели должны быть основаны на простых, желательна графических, метафорах (или паттернах) представления структуры и динамики социальных процессов [6].

В [7, 8] показано, что в качестве эффективной метафоры для представления динамических дискретно-непрерывных процессов развития агента и его взаимодействия с внешней средой может быть использована графическая модель гибридного (непрерывно-дискретного) автомата. На основе результатов сравнительного анализа инструментов моделирования [9, 10], поддерживающих метафору гибридного автомата, в качестве средства для разработки компонент базового уровня модели развития социума была выбрана система AnyDynamics [7, 11].

Процесс создания модели предполагает ее постепенное развитие, в значительной степени соответствующее философии развития реального социума.

Базовая модель социума включает множество территориально распределенных взаимодействующих между собой интеллектуальных агентов и объектов потребления. В качестве объектов потребления представлены однократно используемые или воспроизводимые энергоносители, распределенные в жизненном пространстве агентов. Множество агентов может меняться во времени за счет их воспроизводства и гибели, принудительного включения и исключения их из модели. Базовая модель интеллектуального агента представлена на рис. 1.

Модель включает следующие компоненты:

1. Внутренние органы: Система управления и Генератор (источник) энергии.
2. Рецепторы: Видеорецептор и Приемник информации.
3. Эффекторы: Эффектор движения, Манипулятор и Передатчик информации.

Все компоненты модели агента представлены гибридными автоматами и заданы своими внутренними и внешними переменными, диаграммами переходов между состояниями, а также уравнениями, действующими в компоненте в рамках конкретного состояния.

Генератор энергии (рис. 2) может находиться в трех состояниях: Генерация энергии для компонент агента, Ожидание зарядки и Зарядка. Значение уровня зарядки определяет переходы между состояниями. Каждое состояние определено своим набором процессов, заданных дифференциальными и/или алгебраическими уравнениями. Входы генератора: Энергосырье и Сигнал запуска зарядки (Потреблять). Выходы: Уровень зарядки и Сигнал «Низкий уровень заряда». Сигнал «Низкий уровень заряда» рассматривается как потребность агента в дополнительной энергии. Он поступает в систему управления, которая организует процесс удовлетворения потребности. Отсутствие энергии в течение определенного времени может привести к гибели агента.

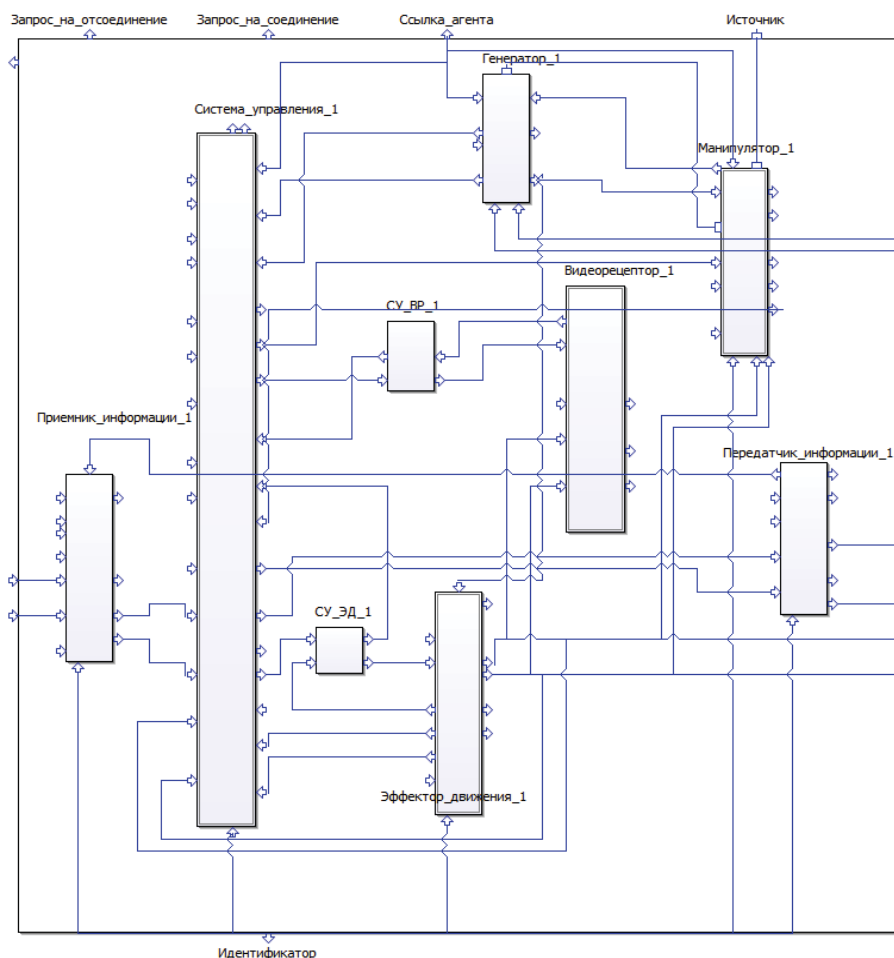


Рис. 1. Модель агента

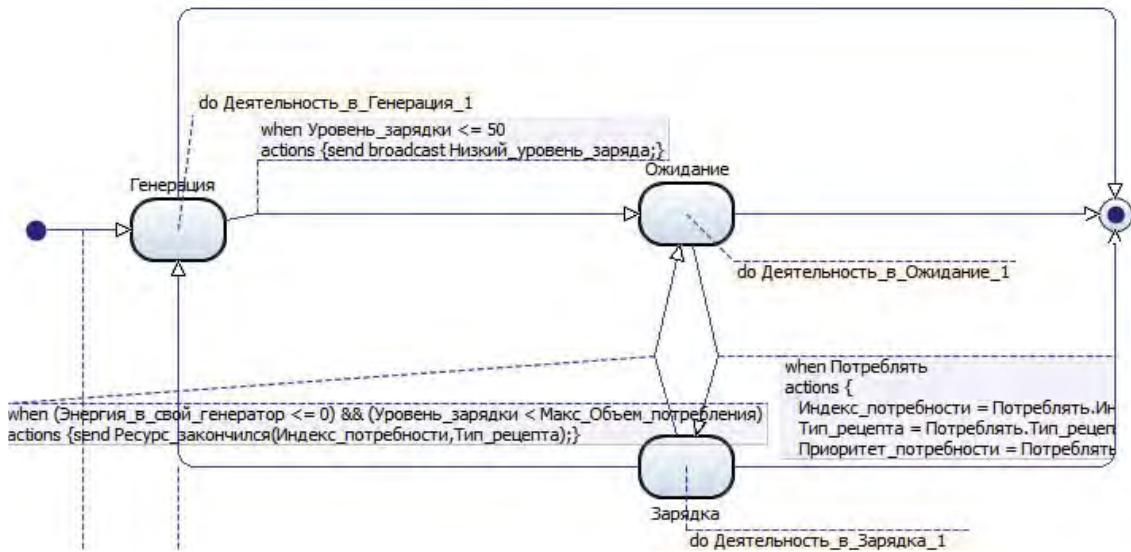


Рис. 2. Модель генератора



Рис. 3. Системы управления: а) главная, б) эффектора движения, в) видеорецептора

Видеорецептор представляет средство обнаружения объектов в пространстве вокруг агента. Входом для видеорецептора является Запрос обнаружения объекта определенного типа, выходом – Координаты обнаруженного объекта. Эффектор движения моделирует средство перемещения агента в пространстве. Входами для него являются запросы перемещения агента в определенную или исходную точку пространства (дом) и случайное блуждание с целью поиска нужного объекта, выходом – координаты агента. Манипулятор представляет средство, выполняющее функции перемещения в свой генератор необходимого объема энергоносителя из рядом расположенного источника, а также выгрузку энергоносителя из манипулятора в соседнюю точку среды обитания при доставке его другому агенту.

Система управления (СУ) агента представлена Головной СУ и системами управления конкретными рецепторами и эффекторами (рис. 4). Головная СУ играет роль операционной системы агента. Она анализирует возникшие потребности, ведет их

реестр, выбирает и запускает рецепты удовлетворения потребностей, контролирует ход их исполнения. База знаний агента представлена совокупностью рецептов удовлетворения потребностей, известных данному агенту, а также опытом их реализации. Системы управления рецепторами и эффекторами принимают запросы на использование конкретных компонент от Головной СУ, ведут их реестры, выбирают приоритетные запросы и управляют их реализацией. Выбор тех или других рецептов определяется Головной СУ, определяется уровнем знаний агента (множеством известных рецептов), историей их использования и некоторыми чертами характера (эгоист/альтруист, холерик/флегматик). На рис. 3 представлены примеры моделей управления верхнего уровня. Показано, что Головная СУ агента реагирует на два типа запросов: внутренние запросы, например, на сигнал разрядки внутреннего источника энергии, а также внешние сигналы, например, на сигнал запроса помощи в получении информации о месте нахождения энергоносителя или его доставке.

Управление реализацией потребностей осуществляется на базе эталонных моделей. Эталонные модели создаются для каждого типа потребностей. К числу эталонных моделей отнесены [12]:

1. Рецепты удовлетворения основных потребностей потребления (естественные, духовные).

2. Рецепты взаимодействия и установления отношений.

3. Рецепты развития и усиления возможностей для реализации потребностей (например, приобретения навыков).

4. Рецепты анализа и выбора: средств реализации потребностей, объектов потребления, путей (рецептов) реализации поставленных целей.

В базовой модели агент располагает эталонными моделями рецептов потребления и взаимодействия с другими агентами при оказании информационной и материальной (физической) помощи. Эталонный рецепт потребления запускается сигналом возникновения потребности. Он включает фазы: обнаружения объекта потребления, получения доступа к объекту, подготовки потребления и собственно потребления объекта. Для каждой из фаз возможен выбор конкретного рецепта из множества известных агенту.

В базовой модели в качестве основной потребности потребления рассматривается недостаток энергии, а фазы эталонного рецепта реализуются самим агентом с помощью видеорецептора, эффектора движения, манипулятора и генератора в режиме зарядки.

При невозможности самостоятельного обнаружения, доступа к объекту и подготовки к потреблению агент может запросить помощь других агентов. Эталонный рецепт помощи запускается соответствующим запросом, принятым агентом от агента, нуждающегося в помощи. Эталонный рецепт материальной помощи включает фазы: поиска объекта помощи, доступа к объекту, загрузку объекта помощи в манипулятор, доставку объекта помощи субъекту и возврат в исходную точку (рис. 4).

Базовая модель социального общества позволяет проводить эксперименты, связанные с анализом влияния на развитие общества ряда физических и умственных способностей агентов, их характеров и отношений друг с другом. К числу физических способностей агентов, в частности, отнесены: радиус обзора пространства, скорость обнаружения объектов, перемещение в пространстве, рост силы потребности, уменьшение запаса энергии.

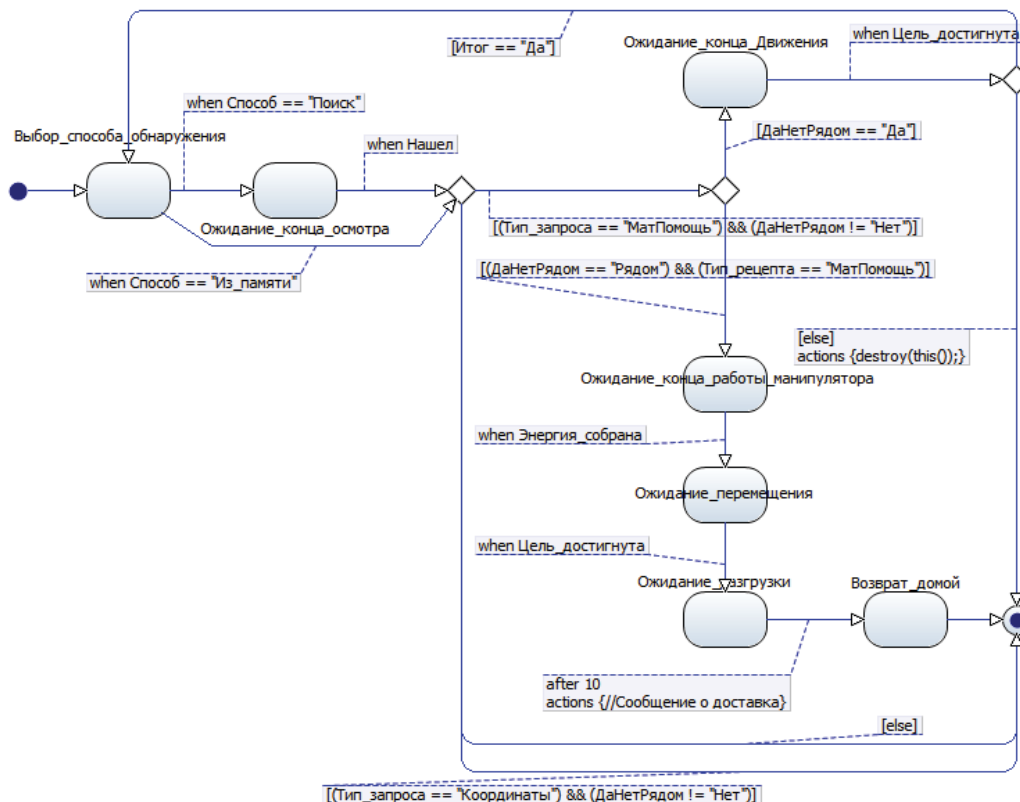


Рис. 4. Эталонный рецепт помощи

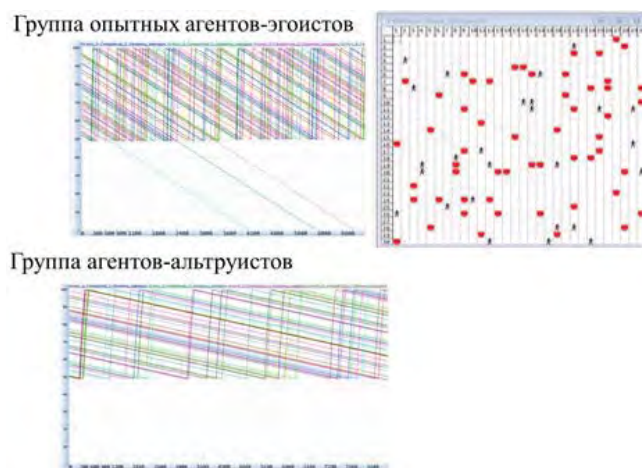


Рис. 5. Результаты эксперимента с группами агентов – эгоистов и альтруистов

### Результаты исследования и их обсуждение

Умственные способности определяют наличие памяти прошедших событий и объемом ментальной базы знаний рецептов исполнения потребностей. Характеры агентов задаются уровнями их реактивности, индивидуализма, системами приоритетов при выборе одной из параллельно действующих потребностей и рецептов их исполнения. На рис. 5 представлены результаты эксперимента с моделями двух групп агентов: альтруистами и эгоистами. На графиках показано изменение запасов энергии в каждой из групп. Видно, что группа эгоистов постепенно начинает терять своих членов, в то время как группа альтруистов за счет оказания информационной и материальной взаимопомощи продолжает существовать.

### Заключение

В работе показана эффективность разработки моделей социальных сообществ в среде AnyDynamics. Использование моделей гибридных автоматов позволило практически исключить программистов из процесса разработки социума. Подтверждена возможность простого описания и включения в модель социума, основанную на механизме интеллектуальных гибридных автоматов, новых типов активных и пассивных объектов. Определены эталонные модели процессов реализации рецептов потребления и взаимодействия агентов при оказании информационной и материальной помощи. Предполагается что дальнейшее развитие модели будет осуществляться в соответствии с философией развития реального социума.

### Список литературы

1. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: Экономика, 2013. 295 с.
2. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. М.: Прогресс, 1986. 432 с.
3. Талер Р. Новая поведенческая экономика. Почему люди нарушают правила традиционной экономики и как на этом заработать. М.: ЭКСМО, 2017. 368 с.
4. Priority Challenges for Social and Behavioral Research and Its Modeling. Paul K. Davis, Angela O'Mahony, Timothy R. Gulden, Osonde A. Osoba, Katharine Sieck [Электронный ресурс]. URL: [https://www.rand.org/pubs/research\\_reports/RR2208.html](https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR2208.html) (дата обращения: 17.03.2022).
5. Маслоу А. Мотивация и личность / Пер. с англ. В. Васильева. 3-е изд. СПб.: Питер, 2003. 392 с.
6. Артур У.Б. Теория сложности в экономической науке: иные основы экономического мышления // Terra Economicus. 2015. № 2. С. 15–37.
7. Klebanov B., Antropov T., Zvereva O. Hybrid automation implementation for intelligent agents behavior modelling. International Conference on Information Science and Communications Technologies: Applications, Trends and Opportunities, ICISCT 2019. Applications, Trends and Opportunities. 2019. С. 1–4.
8. Сениченков Ю.Б. Инновационные возможности проекта RAND MODELER DESIGNER. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.ipo.spb.ru/journal/content/1249/Инновационные\\_возможности\\_проекта\\_Rand\\_Model\\_Designer.pdf](http://www.ipo.spb.ru/journal/content/1249/Инновационные_возможности_проекта_Rand_Model_Designer.pdf) (дата обращения: 17.03.2022).
9. Вакушин А.А., Клебанов Б.И. Сравнительный анализ пакетов MATLAB.Stateflow/Simulink и AnyDynamics для построения имитационных моделей социальных систем // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 7. С. 18–23.
10. AnyDynamics – высокопроизводительная среда для создания и отладки интерактивных многокомпонентных имитационных моделей сложных динамических систем [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mvstudium.com> (дата обращения: 17.03.2022).
11. Kolesov Yu.B., Senichenkov Yu.B., Urquia A., Martin-Villaiba C. Hybrid Systems. Preliminary Comparative Analysis of Modelica and Model Vision Language // Университетский научный журнал. 2014. № 8. С. 87–96.
12. Клебанов Б.И., Парфенов Ю.П., Антропов Т.В. Рецепт поиска и выбора в мультиагентной модели развития общества // Фундаментальные исследования. 2017. № 9–2. С. 317–321.