

АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К ИССЛЕДОВАНИЮ ПОВЕДЕНИЯ ЛЮДЕЙ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

AGENT-BASED MODEL AS ONE OF APPROACHES TO RESEARCH THE BEHAVIOR OF PEOPLE WHEN ARISING AN EXTREMELY SITUATION IN AN EDUCATIONAL ORGANIZATION

*T. Novgorodtseva
E. Ivanova
I. Lesnikov
Y. Dyadkin
M. Chervinskij*

Summary. This article describes the process of creating a model that simulates the behavior of people during evacuation in the event of an emergency. The object of the model selected doctor of Pedagogical Institute of Irkutsk state University, because in recent years, cases of occurrence of emergency situations in educational organizations (EO). In practice, most EO have not sufficiently developed the system of evacuation. Consequently, there is a need for more detailed elaboration. In the construction of this model, agent-based modeling is selected, because it takes into account not only the dynamics of the environment, but also the movement of each individual. Further, the article describes the stages of modeling. Also, the variables, parameters and functional dependencies used in the modeling process are described in detail. A comparative analysis of the software (AnyLogic and Arena) and based on the modeling objectives, justified the choice of simulation system AnyLogic. As a result of this article, a simulation model of the evacuation system in case of emergency for the first floor of the main building of the pedagogical Institute developed. Using this model, an experiment was conducted, the results of which are presented in the article.

Keywords: simulation modeling; agent modeling; agent; system; educational establishment; emergency; model; higher education institution.

Новгородцева Татьяна Юрьевна

*К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Иркутский
государственный университет»
nfyz-31@mail.ru*

Иванова Елена Николаевна

*К.п.н., доцент, ФГБОУ ВО «Иркутский
государственный университет»*

Лесников Иван Николаевич

*К.э.н., доцент, ФГБОУ ВО «Иркутский
государственный университет»*

Дядькин Юрий Алексеевич

*Старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Иркутский
государственный университет»*

Червинский Максим Константинович

*ФГБОУ ВО «Иркутский государственный
университет»*

Аннотация. В данной статье рассмотрен процесс создания модели, имитирующей поведение людей во время эвакуации при возникновении чрезвычайной ситуации (ЧС). В качестве объекта моделирования выбран ФГБОУ ВО Педагогический институт «ИГУ», т.к. в последнее время участились случаи возникновения экстренных ситуаций в образовательных организациях (ОО). На практике большинство ОО имеют недостаточно проработанную систему эвакуации. Следовательно, существует необходимость в более детальной её доработке. При построении данной модели выбрано агентное моделирование, т.к. учитывается не только динамика внешней среды, но и особенности движения каждого индивида. Далее, в статье рассмотрены этапы моделирования. Также, подробно описаны переменные, параметры и функциональные зависимости, используемые в процессе моделирования. Проведён сравнительный анализ программного обеспечения (AnyLogic и Arena) и исходя из целей моделирования, обоснован выбор системы имитационного моделирования AnyLogic. В качестве результата данной статьи разработана имитационная модель системы эвакуации при возникновении ЧС для первого этажа главного корпуса ФГБОУ ВО Педагогического института «ИГУ». С использованием этой модели проведен эксперимент, результаты которого представлены в статье.

Ключевые слова: имитационное моделирование; агентное моделирование; агент; система; образовательная организация; чрезвычайная ситуация; модель; высшее учебное заведение.

Введение

На данный момент в различных организациях участились случаи возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС). Так, в результате пожара в ночном клубе «Хромая лошадь» погибли 156 человек и 64 человека получили тяжкий вред здоровью. В торгово-развлекательном центре «Зимняя вишня» 25–26 марта произошёл крупный пожар площадью 1600 квадратных метров, которому был присвоен 3 номер сложности. Особую опасность возникновения и развитие ЧС представляет в образовательных учреждениях, в которых может находиться большое количество людей.

Человеческие жертвы появляются как в момент возникновения ЧС, так и вследствие дальнейших событий (давка, задымление, отравление угарным газом, паника и т.п.), характеристик зданий, в которых размещаются ОО (геометрия помещения, наличие пожарных выходов, систем пожаротушения и предупреждения, и т.п.) — все они оказывают существенное влияние на эффективность эвакуации. В результате давки многие посетители не смогли выбраться из горящего здания. Ежегодно в мире в результате давки гибнут до 1000 человек.

Таким образом, важным моментом в исследовании процессов и построении эффективных систем эвакуации является моделирование поведения *толпы*. Под толпой будем понимать стохастическое скопление людей, объединённых общим эмоциональным состоянием, но разнообразными целями.

Модель поведения толпы — возможные действия людей, приближенные к реальной действительности. Возможность такой приближенности моделей к действительности обеспечивается наблюдением за поведением людей в реальных ЧС. В данной статье исследуется возможность применения агентного подхода для построения модели поведения толпы, предлагаются методы и средства ее построения с целью оптимизацию путей эвакуации при возникновении чрезвычайной ситуации на примере образовательной организации. Данный подход позволяет учитывать неопределенность поведения людей, зависящую от множества различных факторов. Например, путь эвакуации человека при возникновении пожара не всегда совпадает с наиболее коротким и безопасным маршрутом [6].

Методы

В исследовании использованы следующие методы: интервьюирования, анализ, имитационное моделирование, сравнительный анализ.

Метод интервьюирования — метод сбора первичной информации с помощью интервью об анализируемом

объекте. Используется при сборе данных для исследования.

Анализ — метод научного исследования (познания) явлений и процессов, в основе которого лежит изучение составных частей, элементов изучаемой системы. Метод анализа используется на протяжении всего исследования.

Сравнительный анализ — научный метод познания действительности, исследовательская стратегия, в соответствии с которой изучение закономерностей психической деятельности проводится за счет сравнения качественно особенных ступеней ее развития. Метод использован при сравнении программного обеспечения, а также в результатах представления модели.

Имитационное моделирование — частный случай математического моделирования, основанный на построении моделей с использованием специальных компьютерных программ и различных методов моделирования, направленных на создание имитационных моделей, функционал которых максимально приближен к функционалу реального объекта. Данный метод использован в разработке модели.

Типы моделей движения людей в здании при эвакуации

В основном выделяют три типа модели движения людей:

1. агентные;
2. потоковые;
3. смешанные.

В агентных моделях главную роль выполняет агент (в нашем случае помещение). При построении такой модели учитывается как индивидуальные особенности движения, каждого отдельно взятого человека, так и влияние внешних факторов на его движение. Основная задача сводится к наиболее приближенному к реальности описанию взаимодействия людей между собой и с препятствиями, встречающимися на их пути. При этом необходимо помнить, что человек социальный объект и его поведение очень сложно спрогнозировать, поэтому в модели добавляют некоторые случайные величины, которые компенсируют социальную составляющую [6].

Так как движение отдельных людей не учитывается, то необходимо добавить новую составляющую, характеризующую саму группу, в нашем случае необходимо использовать плотность потока. При таком подходе мы теряем возможность учесть социальность человека, следовательно, движение такой группы всегда направ-

лено к ближайшему выходу. Данный подход является наиболее эффективным для решения общих инженерных задач, он не требует разработки псевдослучайных величин, влияющих на отдельных агентов. Тем не менее, существенным недостатком модели является невозможность учитывать поведение отдельных людей, их физические и психологические характеристики [1,4].

Исходя из выше сказанного, можно утверждать, что наиболее подходящим методом для моделирования является агентное моделирование, позволяющее учесть индивидуальные особенности поведения людей в ЧС. Что в свою очередь, дает возможность проведения множества отличающихся друг от друга экспериментов с моделированием ЧС в различных обстоятельствах и с уникальными характеристиками. В качестве объекта исследования выступает процесс эвакуации основных целевых групп (обучающиеся, педагогический состав и персонал) относительно помещений, а предметом является Педагогический институт ФГБОУ ВО «ИГУ».

Основные принципы агентного моделирования

В модели необходимо описать поведение, структуру и характеристики агентов. Следует обратить внимание, что исходя из логической обособленности агентов, способом их коммуникации является обмен сообщениями (в данном случае под сообщениями понимается любой передаваемый и получаемый сигнал от одного агента к другому). Следовательно, в модели нужно учесть способы передачи этих сообщений и их структуру.

Также при создании модели необходимо учитывать внешние факторы, влияющие на поведение толпы, такие как:

1. Задымленность.
2. Наличие/отсутствие аварийного освещения.
3. Пропускная способность аварийных выходов.
4. Пропускная способность помещений, через которые проходят пути эвакуации.

Все указанные факторы (кроме третьего) оказывают непосредственное влияние на скорость потока, для учёта которых используется среднее значение скорости, полученной в результате реальных происшествий. Третий фактор влияет на время эвакуации людей из помещения. Его влияние измеряется в *пропускной способности* — предельная возможность прохождения людей в единицу времени через эвакуационный выход.

Понятие агента

Основным понятием агентного моделирования является агент. При этом до настоящего времени специали-

сты в области имитационного моделирования не смогли прийти к общему определению данного понятия. С учетом конкретных задач моделирования под *агентом* будем понимать неделимую единицу моделируемого объекта, оказывающая существенное влияние на поставленную цель моделирования [4].

В качестве агентов выделяются объекты — помещение учебного заведения (кабинеты, учебные аудитории, лаборатории, служебные помещения и т.п.). Общая математическая модель процесса эвакуации людей из учебного заведения выглядит так:

$$W = \{s, \{l\}, F\},$$

где W — модель процесса, состоящая из трех элементов:

s — состав элементов, входящих в W . В общем $s = \{s_r, \{s_h\}\}$, где s_r — элементы технических средств, s_h — элементы действий человека; l — набор связей между s модели W ; F — основная цель функционирования W .

Данную модель можно представить следующим образом:

$$W = \{s_r, \{s_h\}, \{l\}, F\}.$$

Свойства и характеристики модели:

N — количество агентов (количество помещений) (шт.);

L — количество эвакуационных выходов (шт.);

a — длина помещения (м);

b — ширина помещения (м);

d_{ij} — расстояние от i -го помещения до j -го эвакуационного выхода (м), где $i = \overline{1, N}, j = \overline{1, L}$;

j^* — оптимальный номер выхода при эвакуации, $j^* = \min_j \{d_{ij}\}$;

M_i — количество человек в i -ом помещении (шт.);

k — номер человека из i -го помещения;

d_{ikj} — расстояние k -го человека от i -го помещения до j -го эвакуационного выхода (м), где $k = \overline{1, M}, j = \overline{1, L}$;

S — скорость передвижения потока при эвакуации (м/с), вычисленная в ГОСТ 12.1.004–91 [3];

h_j — ширина j -го эвакуационного выхода (м);

t_i — время, требуемое для эвакуации с i -го помещения (с), где

$$t_i = \frac{d_{ij}}{S};$$

B_j — пропускная способность j -го эвакуационного выхода в единицу времени (чел. в сек.)

$$B_j = \frac{M_i \cdot f}{d_{ij^*} \cdot h_{j^*}},$$

Площади горизонтальной проекции взрослых людей

Тип одежды	Ширина а, м	Толщина с, м	Площадь горизонтальной проекции, м ² /чел.
летняя	0,46	0,28	0,100
весенне-осенняя	0,48	0,30	0,113
зимняя	0,50	0,32	0,125

Площади горизонтальной проекции детей и подростков

Тип одежды	Возрастные группы		
	младшая до 9 лет	средняя 10 - 13 лет	старшая 14 - 16 лет
домашняя одежда	0,04	0,06	0,08
домашняя одежда со школьной сумкой	0,07	0,10	0,14
уличная одежда	0,09	0,13	0,16

Рис. 1. Таблицы площадей горизонтальной проекции людей

где d_{ij^*} — расстояние от i -го помещения до j^* -го оптимального эвакуационного выхода (м), f — нормативная величина, характеризующая среднюю площадь горизонтальной проекции человека.

Величина взята с нормативного документа «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» [5]. На рисунке 1 представлены значения площадей горизонтальной проекции по возрастным группам.

A_{j^*} — количество людей, скопившихся у j^* -го оптимального эвакуационного выхода (чел.):

$$A_{j^*} = \sum_{i=1}^N M_{ij^*};$$

t_{j^*} — время, за которое выйдут люди с j^* -го оптимального эвакуационного выхода (с):

$$t_{j^*} = \frac{A_{j^*}}{B_{j^*}};$$

Введем переменную F , отвечающую за успешность или не успешность эвакуации людей:

$$F = \begin{cases} 1, & t_{j^*} \leq T \\ 0, & t_{j^*} > T \end{cases}$$

где T — время, отведенное на эвакуацию по стандарту.

Δt — превышающая разность времени между реальным и стандартным временем:

$$\Delta t = t_{j^*} - T$$

C_{j^*} — сколько людей выйдет через j^* -ый оптимальный эвакуационный выход (чел):

$$C_{j^*} = B_{j^*} \cdot T;$$

Q_{j^*} — сколько людей не успеет выйти через j^* -ый оптимальный эвакуационный выход (чел):

$$Q_{j^*} = A_{j^*} - C_{j^*}$$

При значении $Q_{j^*} \leq 0$, люди эвакуируются через j^* -ый выход. Если значение $Q_{j^*} > 0$, то нужно перераспределить людей, не успевших выйти с j^* -го оптимального эвакуационного выхода.

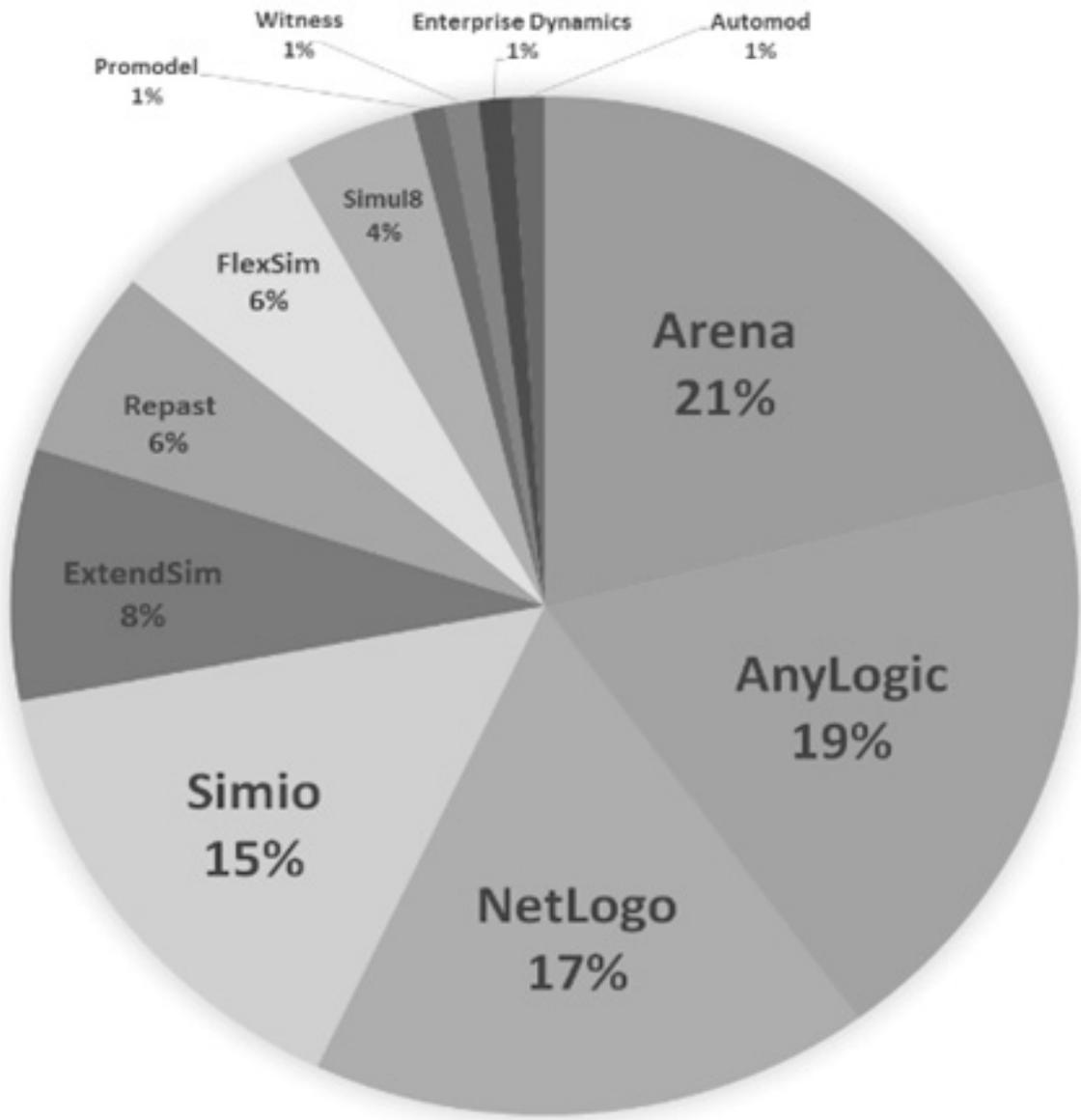


Рис. 2. Популярность использования различных систем имитационного моделирования

В этом случае находим расстояние d_{j^*j} и время t_{j^*j} между оптимальным j^* -ым и ближайшим выходами:

$$t_{j^*j} = \min_j \left\{ \frac{d_{j^*j}}{s} \right\}.$$

Вводим промежуточную переменную Z показывающую достаточность времени для эвакуации людей через другой ближайший выход.

$$Z = \begin{cases} 1, & t_{j^*j} \leq \Delta t \\ 0, & t_{j^*j} > \Delta t \end{cases}$$

Нехватка времени может стать причиной гибели людей, тогда проанализировав причины задержек необходимо оптимизировать процесс эвакуации.

Программное обеспечение агентного моделирования

Возможности описания индивидуальных особенностей движения агентов в процессе эвакуации сделали программные комплексы, построенные на основе агентных моделей весьма распространёнными в мире [8]. Крупнейшая международная конференция разработчиков моделей Winter Simulation Conference (WSC) хорошо показывает сравнительную популярность этих инструментов в академической среде. На графике, приведенном на рисунке 2, можно увидеть, сколько статей с описанием реальных проектов, выполненных на разных инструментах, опубликовано в материалах WSC-2015 [7].

Таблица 1. Обзор характеристик систем имитационного моделирования

Характеристика	Пакет программ	
	Arena	AnyLogic
Область применения	Бизнес, производство, управление персоналом, прогнозирование, социальная сфера и др.	Бизнес, производство, логистика, склады и др.
Язык интерфейса	английский	Русский
Наличие учебных материалов:		
1.Руководство пользователя	+	+
2. Обучающие курсы	+	+
3. Консультация	+	+
4. Форум	+	+
Виды моделирования:		
1. Системная динамика	-	+
2. Дискретно-событийное	+	+
3. Агентное	+	+
4.Смешанное	-	+
Язык программирования	MATLAB	Java, AnyLogic
Создания графической	+	+
Создание анимации	-	+

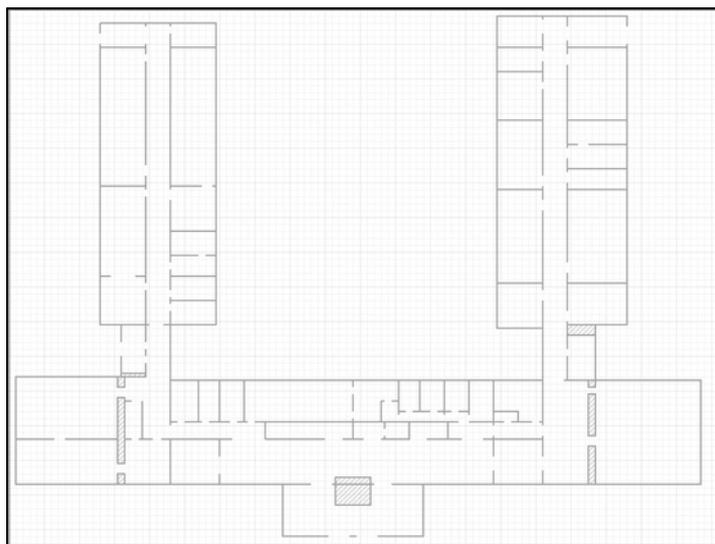


Рис. 3. План-схема этажа

Из диаграммы видно, что наиболее популярными программами для разработки аналитических и имитационных моделей сложных систем являются Arena и AnyLogic. В таблице 1 представлено сравнение данных систем имитационного моделирования.

Каждая из этих систем обладает достаточным для моделирования функционалом, однако, система AnyLogic более универсальная, т.к. она является кроссплатформенной, а также работает со всеми видами имитационного моделирования. К тому же AnyLogic имеет

специальную бесплатную версию для образовательных учреждений.

Результаты исследования

Модель системы эвакуации при возникновении ЧС разработана согласно плану помещения (рисунок 3), которая позволяет смоделировать динамическое управление процессом эвакуации в режиме реального времени. В качестве плана помещения взята схема первого этажа главного корпуса ФГБОУ ВО Педагогического института «ИГУ».

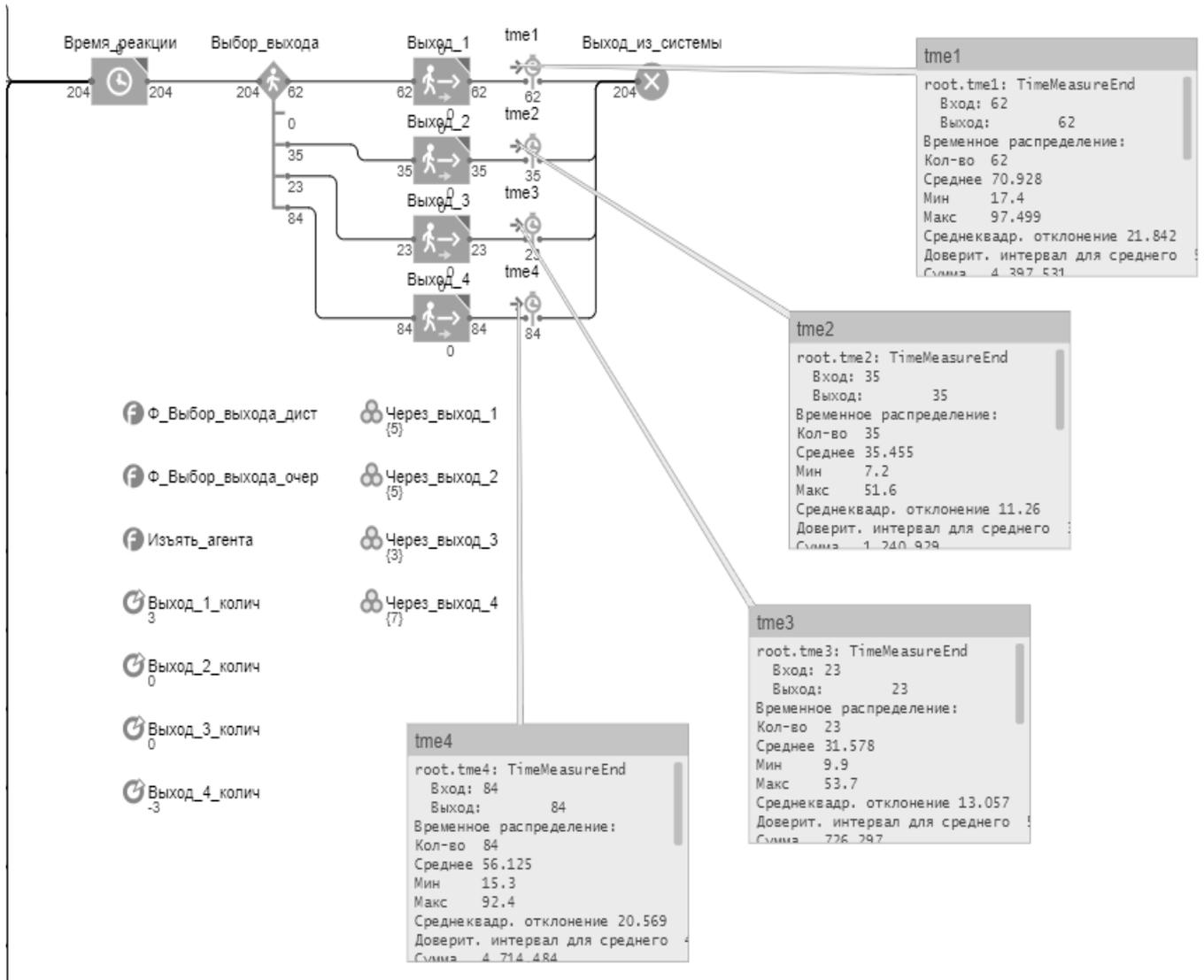


Рис. 4. Результаты эксперимента

При апробации данной модели взяты:

- ◆ количество человек, находящихся на этаже — 204;
- ◆ среднее количество человек, находящихся в помещениях в интервале [8;32], в зависимости от площади помещения;
- ◆ площадь движущегося человека задана с использованием стандартной функции AnyLogic для имитации случайного распределения (Uniform) в интервале от 0,096м² до 0,126м²; (Данные согласно ГОСТ 12.1.004–91)
- ◆ скорость передвижения потока при эвакуации также задана с использованием функции Uniform в интервале от 3,7 до 5 км/ч.

Результаты эксперимента представлены на рисунке 4.

Время эвакуации для:

- ◆ первого выхода составило 110 сек, за которое прошли 3 группы, в количестве 62 чел;
- ◆ второго выхода составило 52 сек, за которое прошли 3 группы, общей численностью 35чел;
- ◆ третьего выхода составило 55,7 сек, за которое прошли 2 группы в количестве 23 чел;
- ◆ четвертого выхода составило 92,4 сек, за которое прошли 6 групп, общей численностью 84 чел.

Исходя из полученных данных видно, что полное время эвакуации составило 110 сек (максимальное из всех выходов).

Обсуждение полученных результатов

В результате эксперимента составлена поэтапная инструкция по данной модели и проведён экспери-

мент с описанием результатов. Разработанная модель позволит собрать большое количество статистических данных, которые будут максимально приближены к реальности. На основе этих данных процесс оптимизации путей эвакуации станет более надежным и доступным.

Также в рамках эксперимента выявлены следующие особенности реализации модели в программе:

1. При эвакуации некоторые агенты отклоняются от оптимального маршрута вследствие некорректного вычисления пути в программе. Поэтому необходимо исключить возможность подхода к одному и тому же выходу с обеих сторон. Для этого вокруг целевой линии, которая является в модели эвакуационным выходом, требуется указать элемент «стена» так, чтобы агенты модели могли достичь выхода, с одной стороны.
2. Согласно математической модели, помимо дистанции до самого ближайшего эвакуационного выхода, необходимо также учитывать его загруженность. Однако, стандартные средства AnyLogic не позволяют вычислить эти показатели, поэтому нами написаны несколько функций

на языке Java, позволяющие рассчитать время, которое потребуется агентам для достижения выхода за наименьшее время.

Заключение

Практическое применение и результаты

В данной статье представлена имитационная модель поведения толпы в условии ЧС — пожар, разработанная с использованием методов агентного моделирования. Пространственная динамика агентов описывается математической моделью с заданными начальными условиями. Система позволяет сформировать корректировочные поправки — планы выхода, зависящие от количества людей в помещении при корректировках времени по стандартному плану. За счет масштабируемости и повторяемости, данная модель может быть использована для построения схемы эвакуации других организаций.

Таким образом, агентный подход может быть успешно применен для моделирования поведения людей, в частности в экстремальных ситуациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акопов, А. С. Имитационное моделирование: учебник и практикум для академического бакалавриата / А. С. Акопов. — Москва: Издательство Юрайт, 2018. — 389 с. — (Серия: Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-02528-6. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://bibli-online.ru/bcode/413331> (дата обращения: 26.04.2019).
2. Быстрова, И. Н. Имитационное моделирование как технология подготовки специалистов технического профиля в вузе [Текст] / И. Н. Быстрова. — Шахты: Анри. — 2015. — 171 с.
3. ГОСТ 12.1.004-91 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования» — URL: https://bolid.ru/files/551/729/h_b2f144de9a211568a8dd46ec774da6dc (Дата обращения: 26.04.2019)
4. Колодкин, В. М. Модель движения людских потоков для управления эвакуацией при пожаре в здании / В. М. Колодкин, Б. В. Чирков, В. К. Ваштиев // Компьютерные науки. — 2015. — № 3. — С. 9.
5. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: приложения к Приказу МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382: зарегистр. в Минюсте РФ 6 августа 2009г; рег. № 14486 // МЧС России. — URL: <https://base.garant.ru/12169057> (Дата обращения: 26.04.2019)
6. Митраков, А. А. Подходы к построению систем агентного моделирования / А. А. Митраков // Пермский государственный национальный университет. — 2015. — С. 15.
7. Яковлев, Е. А. Сравнение инструментов имитационного моделирования / Е. А. Яковлев // AnyLogic. — 2016. — URL: <https://www.anylogic.ru> (Дата обращения: 26.04.2019).
8. Ivanov D. Operations and supply chain simulation with AnyLogic: Decision-oriented introductory notes for master students. / D. Ivanov — Berlin School of Economics and Law, 2017. — 97с.

© Новгородцева Татьяна Юрьевна (nfyz-31@mail.ru), Иванова Елена Николаевна, Лесников Иван Николаевич,

Дядькин Юрий Алексеевич, Червинский Максим Константинович.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»