

УДК 519.876.5

DOI: 10.46548/21vek-2020-0951-0024

РАЗРАБОТКА РАСШИРЕННОЙ МОДЕЛИ ИМИТАЦИИ СБОРА И ЭВАКУАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА БАЗЕ ПО ANYLOGIC

© 2020

Авдеева Марина Олеговна, кандидат экономических наук,
доцент Высшей школы техносферной безопасности
Савельев Дан Игоревич, магистрант Высшей школы техносферной безопасности
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
(195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29,
e-mails: avdeeva_mo@spbstu.ru, savelev.dan@yandex.ru)

Аннотация. Несмотря на достаточный уровень развития науки и техники, человечество ещё не способно противостоять всем природным и техногенным катастрофам. Из-за этого ежегодно умирает значительное число людей. Одной из форм сохранения жизни человека в случае чрезвычайных ситуаций является эвакуация населения. Статья посвящена актуальной на данный момент проблеме: применению методов имитационного моделирования для воспроизведения процесса эвакуации населения, а так же дальнейшей их оценки и прогнозирования. Основной целью данной статьи является получение времени эвакуации населённого пункта в зависимости от нахождения сборного эвакуационного пункта. Задачей являлось построить модель эвакуации и провести ряд экспериментов, чтобы определить закономерности, позволяющие влиять на управление процессом вывоза населения из населённого пункта при угрозе ЧС. Новизна исследования заключается в нахождении зависимости места расположения сборного эвакуационного пункта и соответствующего ему времени эвакуации. Модель реализована на базе применения программного продукта *AnyLogic*. В результате получены: сравнение общего времени эвакуации при расположении сборного эвакуационного транспорта в различных точках, а так же распределение общего времени эвакуации от времени выхода человека из места своего жительства или работы. Полученные данные позволяют сделать первоочередные выводы о безопасности тех населённых пунктов, которые находятся в зоне частых разрушительных ЧС.

Ключевые слова: управление, техносферная безопасность, моделирование, имитационное моделирование, чрезвычайная ситуация, эвакуация, *AnyLogic*, безопасность жизнедеятельности, сохранение жизни и здоровья

DEVELOPMENT OF AN EXTENDED MODEL FOR SIMULATING THE ASSEMBLAGE AND EVACUATION OF THE POPULATION IN AN EMERGENCY SITUATION BASED ON ANYLOGIC SOFTWARE

© 2020

Avdeeva Marina Olegovna, candidate of economic sciences,
Associate Professor of the Higher School of Technosphere Safety
Saveliev Dan Igorevich, master's student of the Higher School of Technosphere Safety
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
(195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29,
e-mails: avdeeva_mo@spbstu.ru, savelev.dan@yandex.ru)

Annotation. Despite the sufficient level of development of science and technology, humanity is not yet able to withstand all natural and man-made disasters. Because of this, a significant number of people die every year. One of the forms of saving human life in case of emergency situations is evacuation of the population. The article is devoted to the current problem: the use of simulation methods to reproduce the process of evacuation of the population, as well as their further assessment and forecasting. The main purpose of this article is to get the time of evacuation of a locality depending on the location of the combined evacuation point. The task was to build a model of evacuation and conduct a series of experiments to determine the patterns that can influence the management of the process of removing the population from the locality in the event of an emergency. The novelty of the study is to find the dependence of the location of the combined evacuation point and the corresponding evacuation time. The model is implemented using the *AnyLogic* software product. The results are: comparison of the total evacuation time when the combined evacuation transport is located at different points, as well as the distribution of the total evacuation time from the time when a person leaves their place of residence or work. The data obtained allow us to draw priority conclusions about the safety of those localities that are in the zone of frequent destructive emergencies.

Keywords: management, technosphere safety, simulation, simulation, emergency, evacuation, *AnyLogic*, safety, life and health.

Введение. Несмотря на достаточный уровень развития науки и техники, человечество ещё не способно противостоять всем природным и техногенным катастрофам. Из-за этого ежегодно умирает значительное

число людей [1, 2].

Одной из форм сохранения жизни человека в случае чрезвычайных ситуаций является эвакуация населения. Под эвакуацией понимается вывоз людей

в безопасные районы [3]. Это достаточно сложный процесс, основанный на взаимодействии нескольких уровней управления и состоящий из ряда мероприятий. Так необходимо организовать оповещение населения, его сбор, обеспечение транспортом, непосредственно транспортировку людей и т.д. [4, 5].

В некоторых населённых пунктах нашей страны замечен взрывной рост количества жилых домов, а следовательно, и числа жителей, при этом обеспечение дорогами запаздывает на несколько лет. Поэтому было принято решение проверить возможность эвакуации некоего города при текущем транспортном обеспечении.

В предыдущих публикациях авторов [6, 7] был рассмотрен процесс эвакуации из конкретной территории, но внимание было уделено преимущественно автодорогам, ведущим из неё. Данное же исследование нацелено на более широкое изучение: передвижение человека от жилого дома или рабочего места до сборного пункта эвакуации, посадка в эвакуационный транспорт, передвижение в безопасный район.

Существует множество работ, описывающих подобную проблематику, но основная их цель показать частные процессы, как поведение людей в толпе [8, 9], их информирование [10] и выбор оптимального пути [11], столкновение эвакуационного транспорта [12] и т.д. Но этих данных недостаточно, чтобы судить об эффективности процесса эвакуации, их лишь можно использовать для уточнения параметров разрабатываемой в данной работе.

Основной целью разработки модели является получение времени эвакуации из населённого пункта в зависимости от нахождения сборного эвакуационного пункта. Поэтому при постановке задачи моделирования в нашей статье необходимо учесть следующие факторы, которые будут влиять на время эвакуации:

- планировка населённого пункта;
- распределение жителей по территории;
- информирование о чрезвычайной ситуации;
- готовность населения и служб к эвакуационным мероприятиям;
- другие.

С учетом вышеизложенного, постановка задачи моделирования представлена в виде черного ящика, показанный на рисунке 1:

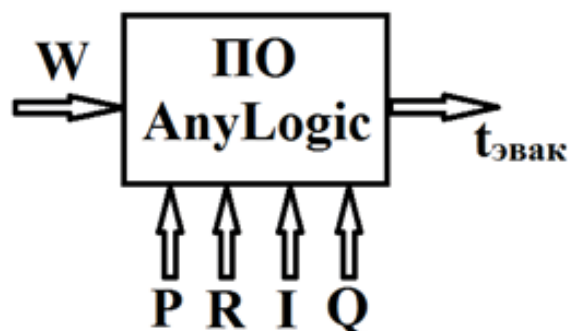


Рисунок 1 - Постановка задачи моделирования

Где W - входной поток событий, управляющие переменные: P - планировка населённого пункта, R - распределение жителей по территории, I - информирование о чрезвычайной ситуации, Q - расположения СЭП. В качестве результата будем рассматривать время эвакуации $t_{эваку}$.

Исходя из поставленной целевой установки, можно выделить следующие задачи:

- построить имитационную модель процесса эвакуации населения,
- провести ряд экспериментов, чтобы определить закономерности, позволяющие влиять на управление процессом вывоза населения из населённого пункта при угрозе ЧС.

Материалы и методы исследования. Осуществив постановку задачи, далее следует перейти к реализации модели или ее построению. Чтобы сделать это, необходимо выбрать метод. В рамках данного исследования будем использовать метод имитационного моделирования.

В целом, метод моделирования - метод изучения сложного объекта, при помощи переноса значимых его свойств на более простой для изучения объект. Таким образом, происходит абстрагирование от множества мелких, но усложняющих систему характеристик, оставляя только важное.

В имитационном же моделировании под методом понимается некая основа, которая используется, чтобы «перевести» систему из реального мира в мир моделей. Метод предполагает определенный язык, «положения и условия» для разработки модели.

Процесс эвакуации - сложный процесс, зависящий от многих факторов. Чтобы решить проблему его описания, необходимо использовать модели, построение которых основано на принципе познаваемости мира, а именно декомпозиции, абстрагировании, агрегировании [13-15]. Таким образом, требуется разделить процесс на несколько более простых, выделить наиболее важные характеристики и соединить их в единую структуру, с которой было бы удобно работать, и которая с определённой точностью описывала бы интересующий процесс.

Эвакуация людей из населённого пункта была разделена на следующие процессы:

- перемещение людей из места жительства/работы к сборному эвакуационному пункту;
- посадка в эвакуационный транспорт;
- транспортировка в безопасный район;
- высадка пассажиров.

Каждый из этих процессов описывается своим собственным элементом модели.

На этапе абстрагирования были выделены следующие характеристики с наибольшим влиянием на окончательный результат процесса эвакуации, которые выступают исходными данными для модели:

- схемы населённого пункта и автодорожной сети;
- вероятность использования того или иного вида транспорта;
- интенсивность отправления людей от мест жи-

тельства/работы;

- интенсивность прибытия эвакуационного транспорта к сборным эвакуационным пунктам.

Вышеуказанные параметры не основаны ни на каком-либо объекте, являются предположением авторов, т.к. основной целью работы является показать возможность создания подобных моделей и особенности работы с ними.

Для решения поставленной задачи использовался программный продукт *AnyLogic*, который разработан на основе современных концепций в области информационных технологий и результатов исследований в теории гибридных систем и объектно-ориентированного моделирования.

Это комплексный инструмент, охватывающий в одной модели основные в настоящее время направления моделирования: дискретно-событийное, системной динамики, агентное [16-18].

AnyLogic позволяет в моделировании использовать блоки из разнообразных библиотек: производственных систем, железнодорожная, потоков [19, 20] и т.д.

В данной работе были задействованы библиотеки моделирования процессов, пешеходная, дорожного движения.

Модель включает в себя следующие этапы:

- создание агентов,
- их передвижение,
- взаимодействие друг с другом,
- «уничтожением» агентов по выполнению ими своих задач.

На рисунке 2 показана структура модели эвакуации из населённого пункта. Блоки зеленого цвета, относятся к пешеходной библиотеке, чёрного цвета – эвакуационного транспорта, синие – обработчики событий, которые применяются как для пешеходов, так и для транспорта.

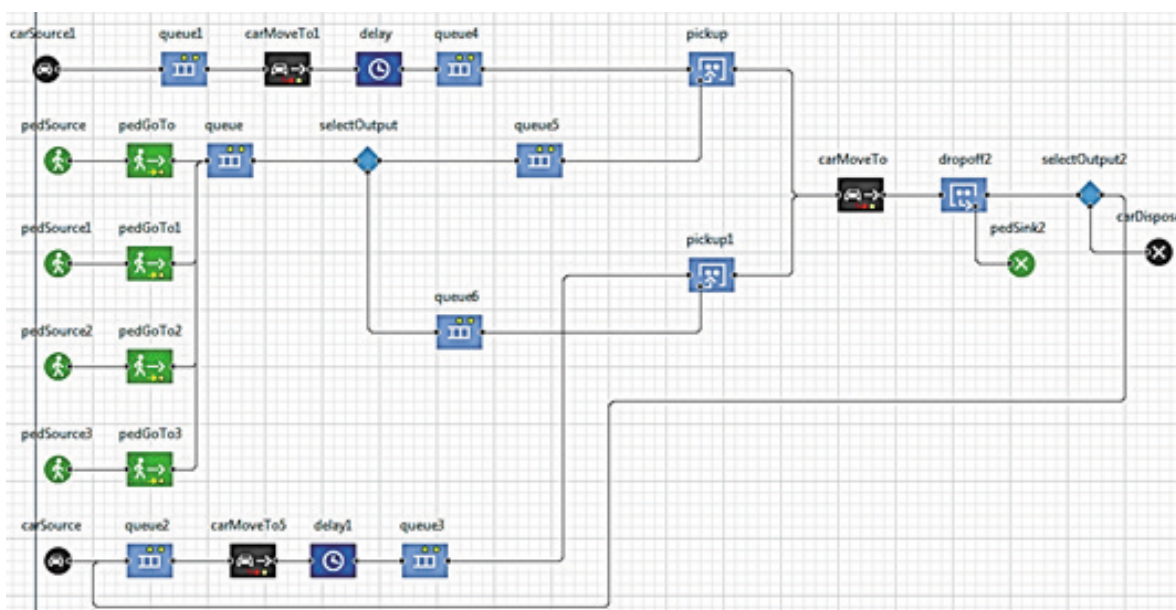


Рисунок 2 – Структура модели эвакуации населения

Блоки с названием «*pedSource(N)*» и «*carSource(N)*», где N – номер блока, непосредственно описывают создание агентов, затем идёт несколько блоков, описывающих движение к сборным эвакуационным пунктам. В зависимости от того, каким видом транспорта (автобус или личный транспорт) пользуется эвакуируемый производится выбор следующего блока, «*pickup*» или «*pickup1*», где происходит посадка людей в соответствующий транспорт. Следующий блок отвечает за перемещение в безопасный район. Затем происходит высадка людей и либо уничтожение агентов-личного автотранспорта, либо возвращение автобусов в населённый пункт для дальнейшего вывоза людей.

На рисунках 3 и 4 показаны карты передвижения людей и автотранспорта. Для каждого вида агентов своя.

На рисунке 3 показана схема населённого пункта. Оранжевые линии ограничивают жилищную застройку. На зелёных линиях, меж оранжевых, равномерно создаётся поток эвакуируемых. Зелёная черта в левой

части рисунка обозначает сборный эвакуационный пункт, к которому движутся люди.

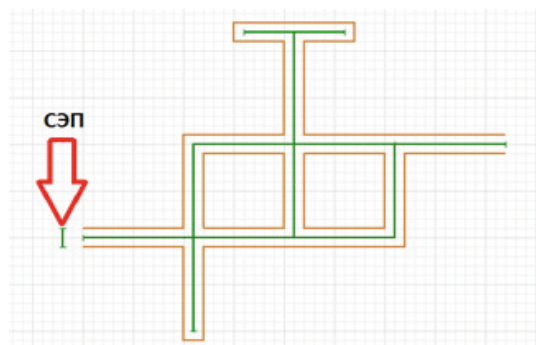


Рисунок 3 - Примерная схема населённого пункта

На рисунке 3 схематично показана автодорожная сеть. На парковке (1) создаются агенты-«транспорт», на сборном эвакуационном пункте (2) происходит непосредственно посадка в транспорт, в (3) происходит высадка. Дальше дорога замыкается.

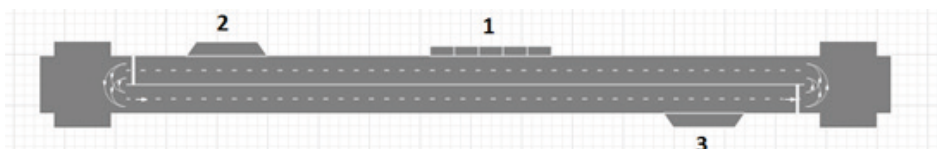


Рисунок 4 - Примерная схема автодорожной сети

На последнем этапе в описании блоков модели даются ссылки на элементы карт передвижения людей и автотранспорта, чтобы запрограммировать движение агентов по картам.

Результаты исследования. В ходе работы была построена новая подробная модель, позволяющая изучать процессы эвакуации населённых пунктов. Для каждого случая только необходимо изменить схемы городской застройки и автодорожной сети (можно также использовать несколько видов эвакуационного транспорта).

В качестве результата работы можно привести сравнение (табл. 1) общего времени эвакуации при расположении сборного эвакуационного транспорта в различных точках, показанных на рисунке 5.

Таблица 1 – Сравнение времени эвакуации в зависимости от расположения СЭП.

	Номер СЭП				
	1	2	3	4	5
Время эвакуации, ед. модельного времени	75	65	80	75	65

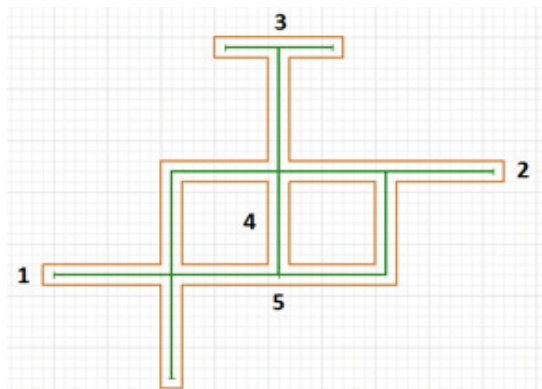


Рисунок 5 - Схема расположения СЭП на плане населённого пункта

Следовательно, стоит заключить, что правильное расположение места сбора эвакуируемых может кардинально повлиять на безопасность населения.

Также в ходе эксперимента было получено распределение общего времени эвакуации от времени выхода человека из места своего жительства или работы (рис. 6).

Заметно, что преобладает наименьшее время эвакуации, в то время как дальше гистограмма показывает практически равные значения. Это можно объяснить тем, что со временем у СЭП образуется скопление из людей (рис. 7). А отсутствие порядка эвакуируемых не позволяет людям, раньше прибывшим к месту сбора, эвакуироваться первыми.



Рисунок 6 - Гистограмма общего времени эвакуации

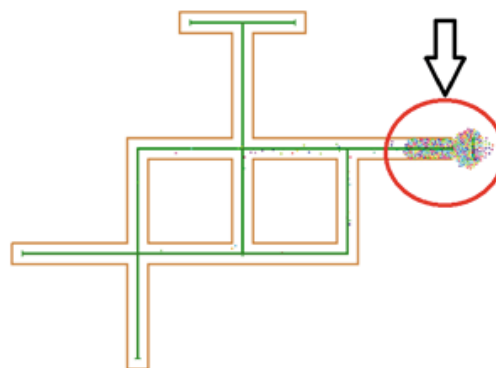


Рисунок 7 - Скопление людей у СЭП

Заключение. Работа позволяет выявлять ошибки, допущенные градостроителями и чиновниками, тем самым повысив безопасность населения при чрезвычайных ситуациях. Появляется возможность оценивать эвакуацию не качественной субъективной оценкой, а количественной (общее время эвакуации). Тем самым появляется возможность подбирать те условия, которые наиболее позволяют избежать негативных последствий.

Так основываясь на данных, полученных в данном исследовании, можно заключить, что правильно выбранное место расположения СЭП может сэкономить порядка 25% времени, а наличие нескольких пунктов – избежать скопления людей.

На данном этапе разработки программа имеет ряд допущений, которые не позволяют назвать модель полностью достоверной. Объективность модели ещё должна подвергнуться верификации. Но авторы считают, что для поверхностной оценки она уже применима, позволив тем самым сделать первоочередные выводы о безопасности тех населённых пунктов, которые находятся в зоне частых разрушительных ЧС.

Для полноты модели необходимо встроить модули, отвечающие за поведение людей в толпе и ав-

тотранспорта в случае аварии в процессе эвакуации, эффективности использования тех или иных СЭП из-за воздействия негативных факторов ЧС (например, подтопление) и т.д.

Таким образом, тема данной работы остаётся актуальной для дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Порфирьев Б. Н. Экономика природных катастроф // Мир новой экономики. – 2015. – № 4.
2. Порфирьев Б. Н., Макарова Е. А. Экономическая оценка ущерба от природных бедствий и катастроф // Вестник Российской академии наук. – 2014. – Т. 84. – № 12. – С. 1059-1059.
3. Kongsomsaksakul S., Yang C., Chen A. Shelter location-allocation model for flood evacuation planning // Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. – 2005. – Т. 6. – С. 4237-4252.
4. ESM S. O., OAM P. C., Davies B. Timeline modelling of flood evacuation operations // Procedia Engineering. – 2010. – Т. 3. – С. 175-187.
5. Kolen B., Helsloot I. Decision-making and evacuation planning for flood risk management in the Netherlands // Disasters. – 2014. – Т. 38. – № 3. – С. 610-635.
6. Савельев Д. И., Авдеева М. О. Постановка задачи моделирования чрезвычайной ситуации природного характера // Неделя науки СПбПУ. – 2020. – С. 13-15.
7. Avdeeva M. O. et al. Model of settlement evacuation based on the imitation modelling application // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – Т. 918. – № 1. – С. 012076.
8. Golshani N. et al. Modeling evacuation demand during no-notice emergency events: tour formation behavior // Transportation research part C: emerging technologies. – 2020. – Т. 118. – С. 102713.
9. Yi J., Pan S., Chen Q. Simulation of pedestrian evacuation in stampedes based on a cellular automaton model // Simulation Modelling Practice and Theory. – 2020. – Т. 104. – С. 102147.
10. Hou J. et al. Prediction model of traffic loading rate for large-scale evacuations in unconventional emergencies: A real case survey // Process Safety and Environmental Protection. – 2020. – Т. 144. – С. 166-176.
11. Тарасенко О. А., Беляев В. Ю., Стаховский О. В. Алгоритм нахождения оптимального маршрута экстренной эвакуации населения. – 2016.
12. Alam M. D. J., Habib M. A. Modeling Traffic Disruptions during Mass Evacuation // Procedia Computer Science. – 2020. – Т. 170. – С. 506-513.
13. Бурлов В. Г., Андреев А. В., Гомазов Ф. А. Управление безопасностью объекта техносферы на основе закона сохранения целостности объекта // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2018. – № 1 (43).
14. Бурлов В. Г., Матвеев А. В. Основы теории синтеза облика системы обеспечения безопасности и способов ее функционирования на потенциально опасных объектах // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2012. – № 3. – С. 1-13.
15. Бурлов В. Г., Зенина Е. А., Матвеев А. В. Синтез модели и способов функционирования системы в условиях конфликта // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2012. – № 3 (150).
16. Borshchev A. et al. Multi-method modelling: AnyLogic // Discrete-event simulation and system dynamics for management decision making. – 2014. – С. 248-279.
17. Emrich S., Suslov S., Judex F. Fully agent based. Modelings of epidemic spread using anylogic // Proc. eurosim. – 2007. – С. 9-13.
18. Garifullin M., Borshchev A., Popkov T. Using AnyLogic and agent-based approach to model consumer market // Proceedings of the 6th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation. – 2007. – С. 1-5.
19. Григорьев И. AnyLogic за три дня. Практическое пособие по имитационному моделированию. – 2017. – 273 с.
20. Merkurjeva G., Bolshakovs V. Vehicle schedule simulation with AnyLogic // 2010 12th International Conference on Computer Modelling and Simulation. – IEEE, 2010. – С. 169-174.

Статья поступила в редакцию 18.10.2020

Статья принята к публикации 11.12.2020