

# Имитационное моделирование эвакуации при пожаре на химическом производстве

Р.М. Баймухаметов  
Кафедра АТИС  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Стерлитамак, Россия  
e-mail: urg2612@mail.ru

Р.Р. Кадыров  
Кафедра АТИС  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Стерлитамак, Россия  
e-mail: r\_kadyrov@mail.ru

## Аннотация<sup>1</sup>

В данной статье представлено использование средств имитационного моделирования для имитации процесса эвакуации при пожаре на химическом производстве. Подобные исследования помогут специалистам пожарной безопасности оценить текущую подготовленность персонала к чрезвычайным ситуациям, а также составить эффективный план эвакуации. Разработанная агентная модель эвакуации людей при пожаре, движущихся по заранее принятой схеме эвакуации на химическом производстве, создавалась в среде имитационного моделирования AnyLogic. Благодаря проведению экспериментов с моделью, было установлено среднее время эвакуации людей из здания, и была выявлена эффективность схемы эвакуации.

## 1. Введение

Имитационное моделирование эвакуации людей при пожаре может использоваться для нормирования плана эвакуации. Зачастую при чрезвычайных ситуациях люди ведут себя неадекватно, стараясь скорее покинуть опасную зону. Именно поэтому важна организация людских потоков. Ответственный за обеспечение пожарной безопасности и эвакуации должен составить планы эвакуации, проводить проверки, учебные тревоги, установить в помещении специальные знаки, указывающие на аварийные выходы, расставить огнетушители и т.д. Применение имитационного моделирования в подобных ситуациях позволит заранее выявить проблемы, что в будущем может спасти жизни людей. Модели движения пешеходных потоков могут помочь при определении загруженности различных путей, они

Труды Шестой всероссийской научной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 28-31 мая, Уфа-Ставрополь, Россия, 2018

демонстрируют динамику изменения различных параметров потока движения людей при эвакуации [1-4], [6,7].

## 2. Основные решения

Были изучены технические регламенты, методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, расчет людских потоков в проходах, их перемешивание, научные работы различных ученых [1-4], [6,7], [16, 17].

На основе изучения требований к реализации эвакуационного потока в сооружениях с большим количеством людей, а также существующего опыта были предложены решения по имитационному моделированию к конкретной конфигурации здания и помещений.

Сущность имитационного моделирования заключается в подмене реальной системы-оригинала высокоточной моделью, над которой возможно проведение различных экспериментов (имитаций) для получения информации о системе-оригинале [13, 14].

### 2.1. Выбор среды моделирования

Наиболее известными средами имитационного моделирования являются Plant Simulation, iThink, AnyLogic и др. Нами была выбрана среда AnyLogic по причине значительного продуктивного опыта работы с ней. AnyLogic поддерживает такие подходы к созданию имитационных моделей, как системная динамика, агентное моделирование, дискретно-событийное моделирование и др. Встроенные средства AnyLogic способны быстро создавать модели для решения задач по моделированию производств, бизнес-процессов, стратегических моделей развития предприятий [5, 8-15].

### 2.2. Описание модели

При создании имитационной модели эвакуации людей из здания при пожаре на химическом производстве, нами был использован произвольный план здания на химическом производстве. Схема

эвакуации при пожаре так же была выбрана произвольно, как и размещение людей в здании, и число этих людей. Создаваемая агентная модель, предполагающая движение людей строго по плану эвакуации, должна наглядно демонстрировать людские потоки, а также оценить возможность выведения людей из горящего здания в кратчайший промежуток времени.

Элементы имитационной модели должны учитывать такие параметры, как планы помещений, поведение людей и их движение при пожаре, количество огнетушителей, дополнительных пожарных выходов. Обработав все эти параметры, становится возможным создание различных вариантов чрезвычайных ситуаций, добавление новых переменных, влияющих на поведение людей и многое другое, что поспособствует модернизации модели. Однако стоит понимать, что невозможно учесть всех параметров из-за сложности реального мира, а ввод большого числа переменных может снизить точность модели. Для повышения адекватности и стабильности моделирования необходимо использовать наиболее важные и точные входные данные. В нашем случае, мы обращали внимание на протяженность, ширину путей эвакуации, количество и ширину эвакуационных выходов, лестниц, установленную продолжительность эвакуации, скорость движения людей, пропускную способность проходов, дверей или лестниц.

При необходимости, созданную имитационную модель эвакуации можно адаптировать под другие планы, оптимизировать, внося необходимые изменения. Например, на оптимизацию существенное влияние окажет изменение следующих параметров: оптимальное расположение пожарных гидрантов, огнетушителей по правилам и нормам пожарной безопасности, организация дополнительных пожарных выходов. Вопросы пожарной безопасности следует рассматривать комплексно, то есть следует учитывать еще поведение людей, и их реакцию в чрезвычайных ситуациях. Создаваемая модель должна предугадать поведение людей и заложить ту реакцию, которую необходимо спрогнозировать и просчитать. Однако в реальности поведение людей непредсказуемо, поэтому создаваемая модель не сможет в полной мере предсказать поведение людей, она лишь может дать примерную оценку их действиям.

Разработанная модель представляет собой план двухэтажного здания, на первом этаже которого располагается административно-бытовой корпус, а на втором – лаборатория. В здании 49 служащих, произвольно передвигающихся по помещениям. Модель представлена на рис. 1, а ее составная часть, регулирующая процесс имитации эвакуации – на рис. 2.

Далее, с началом работы пожарной сигнализации (по нажатию на кнопку “Пожарная тревога”), начинался эксперимент с моделью, показывающий, как будут двигаться люди во время эвакуации и сколько времени им понадобится для выхода из здания (рис. 3).

Проведенный эксперимент показал, что разработанный план эвакуации позволяет за время, предусмотренное нормативами эвакуации людей во время пожара, организовать вывод сотрудников с объекта. Время эвакуации составило 8,31 с. В окне статистика отражены два графа, первый из которых показывает динамику изменения количества людей внутри здания, а второй посекундно отображает долю эвакуировавшихся людей.

Также можно посмотреть, на сколько изменится время эвакуации при задействовании экстренного выхода (рисунок 4).

Из рисунка 3 видно, что при задействовании экстренного выхода время эвакуации снижается до 5,37 с. Доля покинувших здание людей в первые секунды тревоги значительно больше, нежели в предыдущем эксперименте.

#### 4. Заключение

Результаты моделирования процесса эвакуации людей при пожаре на химическом производстве показывают, что данных входных параметрах, время эвакуации занимает небольшое время, которое вполне может соответствовать действительности. Поэтому можно говорить об адекватности полученной модели, а также об уместности использования имитационного моделирования в подобных исследованиях, особенно при использовании более точных входных данных, соответствующих действительности.

В результате экспериментов можно было наблюдать, как задействование экстренного выхода повлияет на продолжительность эвакуации. В нашем случае время эвакуации снизилось в 1,5 раза. С установкой большего числа экстренных выходов в более удачные места позволит ещё в большей степени сократить продолжительность эвакуации, что вполне может спасти жизни людей.

Это позволит сократить критическое время воздействия на людей одного из опасных факторов: задымленность, токсичность, отсутствие кислорода, высокая температура, а значит, и снизить вероятность летального исхода. Критическое время является очень важным показателем, так как определяет длительность воздействия на персонал одного из опасных для здоровья факторов, поэтому в расчетах стремятся сделать его как можно меньшим.

# Эвакуационная модель

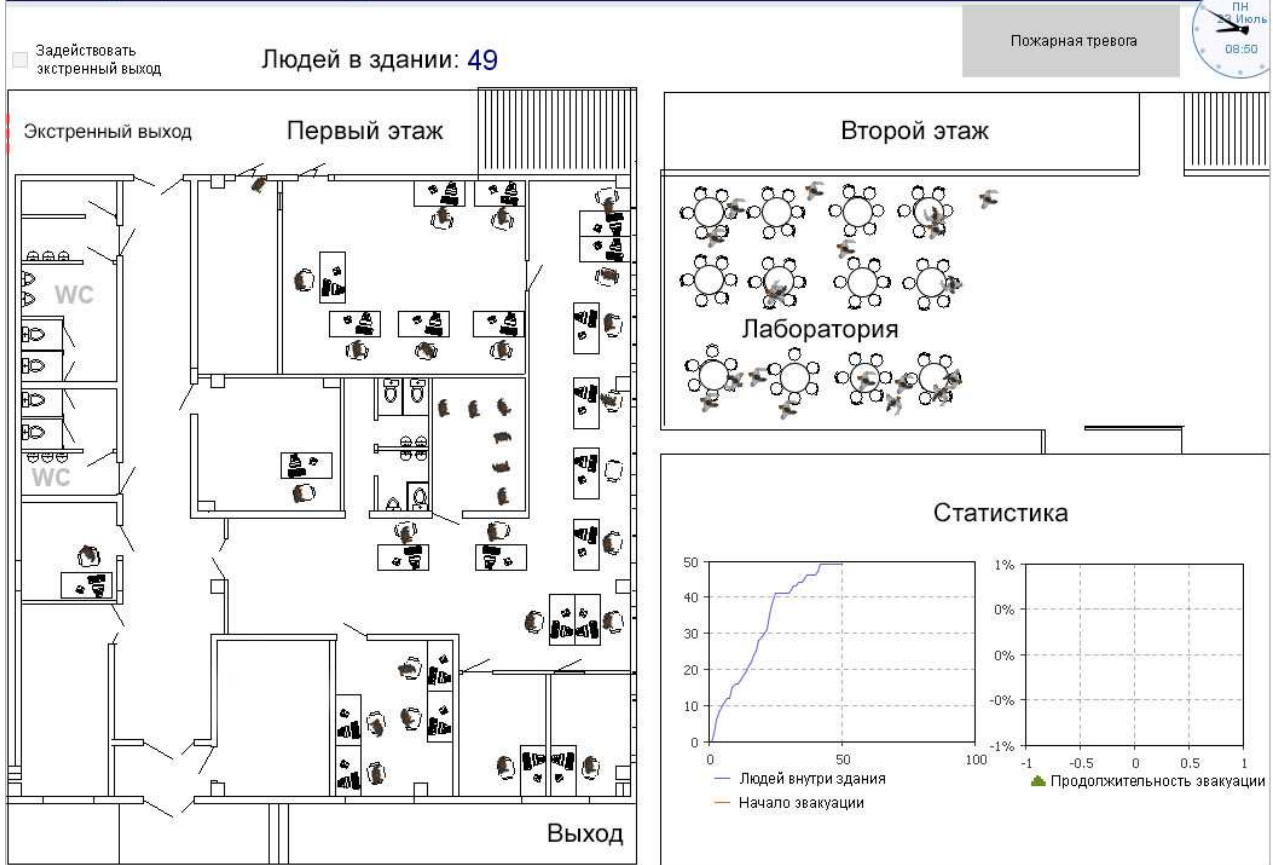


Рис. 1. Эвакуационная модель

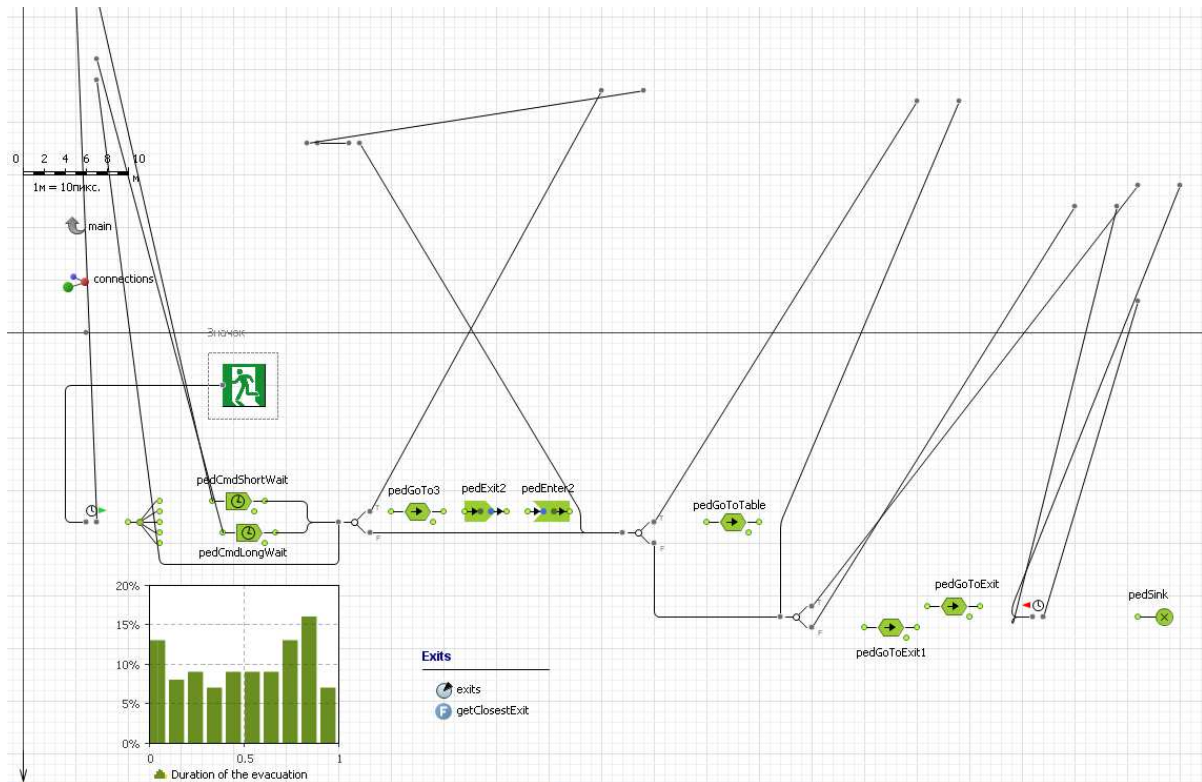


Рис. 2. Структура модели

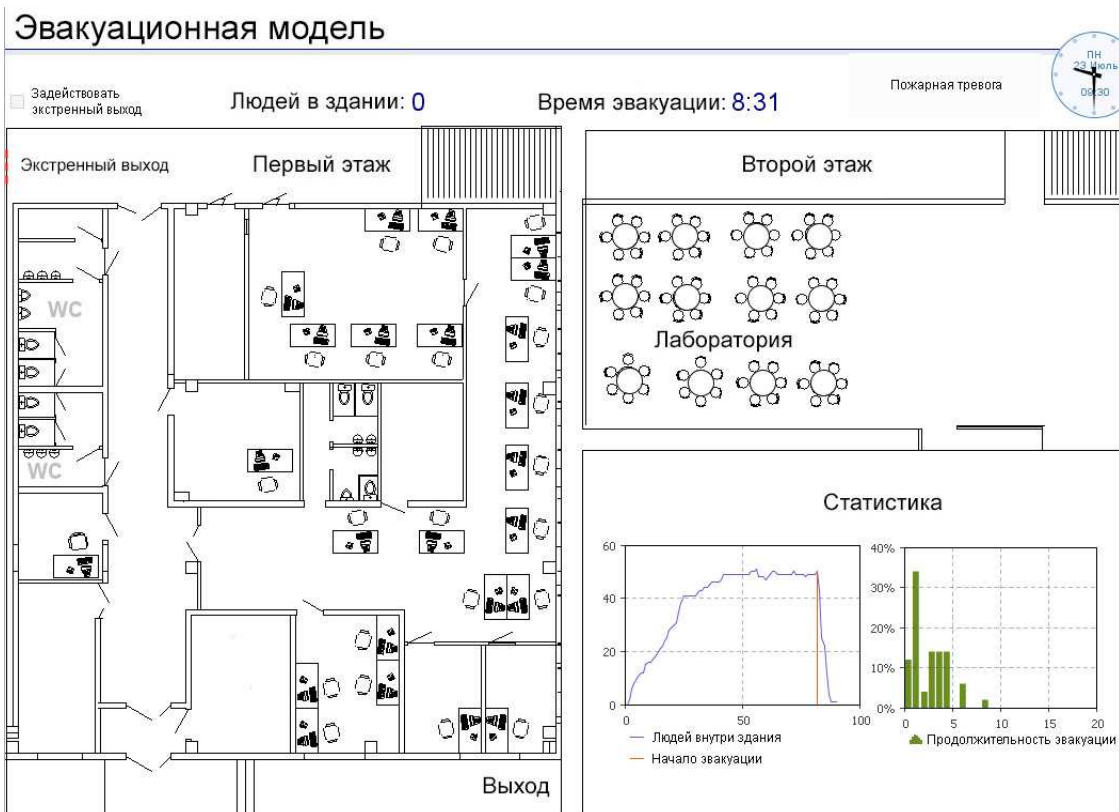


Рис. 3. Состояние модели после пожарной тревоги

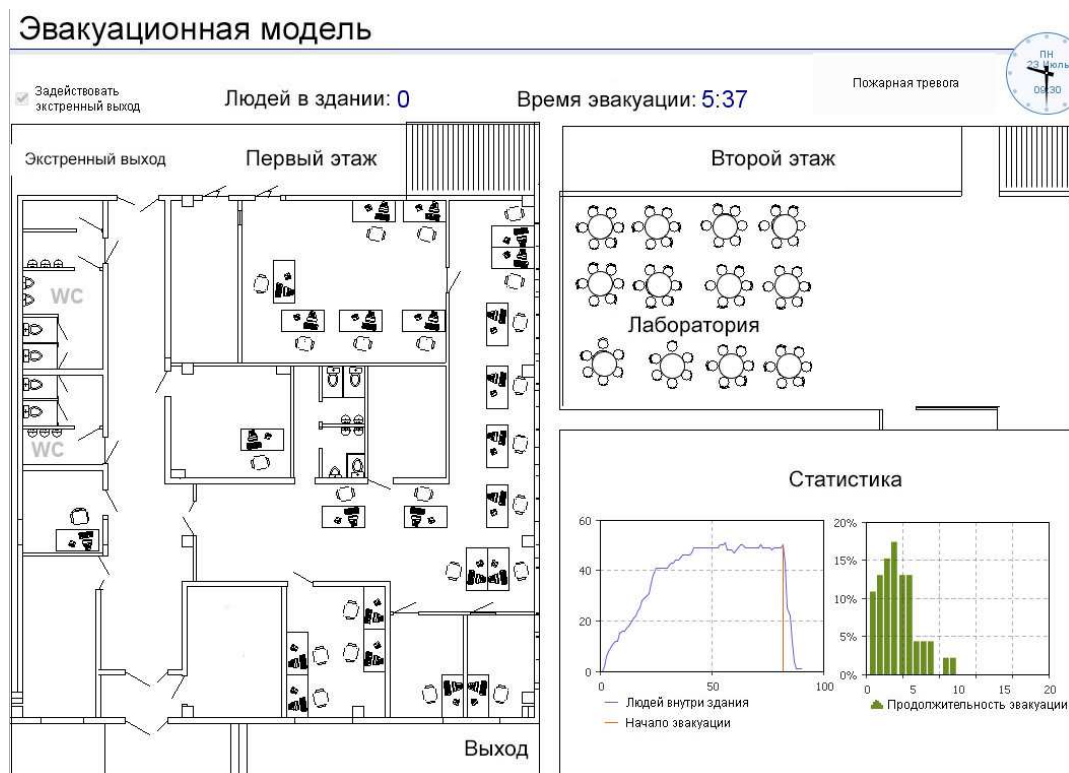


Рис. 4. Состояние модели после пожарной тревоги с задействованием экстренного выхода

Итак, даже без задействования экстренного выхода, эвакуация прошла за короткий промежуток времени, внесение корректировок в план эвакуации не требуется. Если же время эвакуации превышает допустимые нормы, ответственный за обеспечение пожарной безопасности и эвакуации должен принять к сведению результаты моделирования, и сделать все необходимое для составления эффективного плана эвакуации во время пожара.

Возможно, стоит добавить дополнительные пожарные выходы, либо чаще проводить инструктажи среди персонала с целью добиться более организованного движения, так как при неорганизованном движении, зачастую возникающим при эвакуации, уплотнение потока сопровождается уменьшением длины шага и числа шагов в минуту, что приводит к снижению скорости потока людей.

Принятые меры должны быть такими, чтобы обеспечить безопасность людей даже в самых неблагоприятных условиях. В любом случае, даже наличие современной и продуманной системы противопожарной безопасности не всегда может обеспечить полную безопасность людей, поэтому на любом предприятии организационные мероприятия, учения всегда имеют огромное значение

#### Список используемых источников

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 4 июля 2008 г. : одобр. Советом Федерации 11 июля 2008 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2008. — № 30 (часть I). — Ст. 3579.
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приложение к Приказу МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 : зарегистр. в Минюсте РФ 6 августа 2009 г., рег. № 14486 [электронный ресурс]. URL : <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 29.11.2010).
3. Кадыров Р.Р., Бахонина Е.И., Бухаров В.Р. Безопасные химические производства с малоинерционным объемным теплоподводом и адаптивным регулированием, размещенные в специальном здании // Наука и технологии. Серия «Итоги диссертационных исследований»: Сб. тр. XXIII Российской школы по проблемам науки и технологий. — Москва: РАН, 2003. — С.319-325.
4. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приложение к Приказу МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 : за- регистр. в Минюсте РФ 17 августа 2009 г., рег. № 14541 [электронный ресурс]. URL : <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 29.11.2010).
5. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Галушка Н. Н. Обзор компьютерных программ моделирования эвакуации из зданий и сооружений // Пожаровзрывобезопасность. — 2002. — Т. 11, № 5. — С. 40–49.
6. Kuligowski E., Peacock R. Review of Building Evacuation Models : Technical Note 1471A. — NIST, 2005.
7. Холщевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : МИСИ, 1983.
8. Thompson P., Marchant E. A computer model for the evacuation of large building populations // Fire Safety Journal. — 1994. — Vol. 24. — P. 131–148.
9. Pathfinder: Technical reference. Thunderhead engineering, 2009 [электронный ресурс]. URL : <http://www.thunderheadeng.com/pathfinder>.
10. Интернет-ресурс : <http://www.mottmac.com> (дата обращения: 29.11.2010).
11. Owen M., Galea E. R., Lawrence P. J. The Exodus evacuation model applied to building evacuation scenarios // J. of Fire Protection Engr. — 1996. — 8(2). — P. 65–86.
12. Galea, E. R., Deere S., Sharp G., Filippidis L., Hulse L. Investigating the impact of culture on evacuation behavior // Proceedings of the 12th International Fire Science & Engineering Conference «Interflam 2010», 5–7 July 2010, University of Nottingham, UK. — Vol. 1. — P. 879–892.
13. Пранов Б. М., Самошин Д. А. К математическому моделированию людских потоков // 9-я Научно-практическая конф. «Системы безопасности». М. : АГПС МВД РФ, 2000.
14. Карькин И. Н., Скочилов А. Л., Зверев В. В., Контарь Н. А. Валидация и верификация эвакуационной модели СИТИС: Эватек. No. 4152-TT2.5. — Екатеринбург : СИТИС, 2008. — 29 с.
15. Материалы официального сайта AnyLogic. [Электронный ресурс] URL: <http://www.anylogic.ru> (дата обращения: 17.03.2017).
16. Бикбулатов И.Х., Кадыров Р.Р., Бахонина Е.И., Бухаров В.Р. О специальном производственном здании и его роли в перспективном развитии химической отрасли // Башкирский химический журнал. — 2002.-Т.9.-№1. -С.63-70.
17. Кадыров Р.Р., Бикбулатов И.Х., Каяшев А.И., Шулаев Н.С., Бахонин А.В. Элементы повышения экологической безопасности производства извести (метод, устройство и специальное производственное здание) // Инженерная экология: Науч.-аналит. журнал. — М.: Издательство «Инженерная экология». -2002.- №2. - С.24-30.