

УДК 519.711.3:614.84

DOI: 10.37468/2307-1400-2022-2-66-72

## МОДЕЛЬ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРЕДЭВАКУАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ

*Коткова Елизавета Александровна*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России имени Героя Российской Федерации генерала Армии Е.Н. Зиничева, Санкт-Петербург, Россия

### АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматривается всестороннее исследование предэвакуационного поведения людей при возникновении чрезвычайной ситуации. В связи с этим целесообразно применение подходов машинного обучения, в частности нейронных сетей, для интеллектуального анализа данных в области безопасности. Статистические данные, которые получены в условиях чрезвычайных ситуаций могут быть ограниченными и являться в целом неопределенными, по этой причине рекомендуется выбрать архитектуру нейронной сети - адаптивную сетевую систему нечеткого вывода (ANFIS), основанную на системе нечеткого вывода Такаги-Сугено. Рассматриваемая в статье архитектура нейронной сети в виде архитектуры адаптивной сетевой системы нечеткого вывода состоит из пяти слоев, где каждый слой выполняет вполне определенную функцию. Данные о поведенческой реакции людей до начала эвакуации для обучения искусственной нейронной сети получены с помощью таких подходов, как интервьюирование, анкетирование, опрос. В результате в статье предложен подход к прогнозированию предэвакуационного поведения людей при пожаре, основанный на адаптивной сетевой системе нечеткого вывода, который может применяться для манипулирования ограниченными данными человеческой реакции при пожаре.

**Ключевые слова:** модель, искусственная нейронная сеть, предэвакуационное поведение, адаптивную сетевую систему нечеткого вывода, машинное обучение, чрезвычайной ситуации, факторы, влияющие на поведение.

## NEURAL NETWORK MODEL FOR PREDICTING PRE-EVACUATION BEHAVIOR OF PEOPLE IN CASE OF FIRE

*Kotkova E. A.*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> St. Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia named after the Hero of the Russian Federation, General of the Army E.N. Zinichev, St. Petersburg, Russia

### ABSTRACT

This article discusses a comprehensive study of pre-evacuation behavior of people in the event of an emergency. In this regard, it is advisable to use machine learning approaches, in particular neural networks, for data mining in the field of security. Statistical data obtained in emergency situations may be limited and generally uncertain, for this reason it is recommended to choose a neural network architecture - adaptive fuzzy inference Network System (ANFIS) based on the Takagi-Sugeno fuzzy inference system. The neural network architecture considered in the article in the form of an adaptive fuzzy inference network system architecture consists of five layers, where each layer performs a well-defined function. Data on the behavioral reaction of people before the evacuation to train an artificial neural network were obtained using such approaches as interviewing, questionnaire, survey.

**Keywords:** model, artificial neural network, pre-evacuation behavior, adaptive fuzzy inference network system, machine learning, emergency situations, factors influencing behavior.

## Введение

За последнее время объемы коммерческого и жилищного строительства продолжают увеличиваться. Традиционно объемно-планировочные решения при проектировании зданий регулируются строительными и пожарными нормами. Однако данные нормы не могут гарантировать эффективную противопожарную защиту, так как современные высотные здания очень часто имеют сложную планировку. В связи с этим зачастую используется подход, который основан на определении характеристик пожарной безопасности здания, включающий использование моделей распространения пожара и эвакуации для прогнозирования движения людей и оценки пожарных рисков. Таким образом, движение людей и их поведенческие реакции в нестандартных ситуациях являются важными факторами для оценки безопасности людей в зданиях [1, 2].

Проведенные ранее исследования показали, что поведенческая реакция людей может оказывать существенное влияние на процесс эвакуации при пожаре [3–5]. Реакция людей перед непосредственной эвакуацией может в некоторых случаях составлять значительное время [6]. В этой связи требуется всестороннее исследование предэвакуационного поведения людей при возникновении чрезвычайной ситуации.

За последние годы проводились некоторые исследования в области поведения людей перед эвакуацией [7–9], однако вопрос создания и реализации прогностических моделей, учитывающих данные аспекты, остается до сих пор открытым.

## Методы исследования

Для прогнозирования предэвакуационного поведения людей весьма перспективным видится применение методов искусственного интеллекта. За последние два десятилетия использование подходов машинного обучения, в частности нейронных сетей, для интеллектуального анализа данных в области безопасности нашло свое применение [10–12]. Искусственная нейронная сеть (ИНС) состоит из взаимосвязанной группы искусственных нейронов и обрабатывает информацию, используя коннекционистский подход,

т.е. моделирует мыслительные или поведенческие явления процессами становления в сетях из связанных между собой простых элементов [13]. В большинстве случаев ИНС – это адаптивная система, которая меняет свою структуру на основе внешней или внутренней информации, поступающей в сеть на этапе ее обучения. Обучение модели нейронной сети в основном выполняется путем выбора одной модели с минимальными затратами из набора разрешенных моделей. Входные и выходные данные обучения являются основополагающими в технологии нейронных сетей, поскольку они формируют ту самую необходимую информацию, на основе которых сеть в дальнейшем будет формировать соответствующие решения. Разница между желаемым откликом и выходным сигналом нейронной сети будет определять ошибку. Информация об ошибках затем передается обратно в сеть, что приводит к перенастройке параметров сети. После завершения обучения параметры сети фиксируются, и она может использоваться для решения практических задач.

Поведенческие реакции людей при пожарах могут описываться в зависимости от состояния окружающей среды [4]. Правила принятия решений могут быть представлены вероятностными значениями. По причине того, что в целом статистические данные по принимаемым решениям в условиях чрезвычайных ситуаций могут быть ограниченными и являться в целом неопределенными, то полученные вероятностные значения могут оказаться весьма неточными (с низким уровнем достоверности). Использование в данном случае системы нечеткого логического вывода в форме «Если..., то...», является перспективным альтернативным подходом для прогнозирования данных о поведении человека. При использовании системы нечеткого вывода основные задачи заключаются в формулировании подходящего подхода для:

- 1) преобразования поведенческих реакций человека в базу правил системы нечеткого вывода;
- 2) калибровки функций принадлежности с целью минимизации ошибки логического вывода.

В связи с этим целесообразно выбрать адаптивную сетевую систему нечеткого вывода (ANFIS), основанной на системе нечеткого вывода Такаги–Сугено, в качестве архитектуры используемой нейронной сети, которая использует гибридный алгоритм обучения. Данная сеть функционально эквивалентна системе нечеткого вывода, использует нечеткую базу правил «Если..., то...» с соответствующими функциями принадлежности и может быть использована для создания модели прогнозирования предэвакуационного поведения людей при пожаре.

ANFIS нашла широкое применение в области моделирования, принятия решений, обработки сигналов и управления. Нейроны в ANFIS имеют разное назначение (функции принадлежности; правила; нормализация; линейные функции; выходные значения). На основе алгоритма обучения, включающего в себя этап прямого хода и обратного распространения ошибки ANFIS может завершить процесс обучения адаптивной сети. В процессе обучения могут скорректироваться заранее определенные функции принадлежности и быть уточнены правила нечеткого вывода «Если..., то...». Обученный алгоритм может далее быть использован для определения поведенческих действий человека перед эвакуацией (выходной параметр) на основе различных поведенческих

характеристик человека и различных ситуациях окружающей среды (входной параметр).

#### Результаты исследования

Предлагаемая архитектура нейронной сети в виде архитектуры ANFIS состоит из пяти слоев (рис.1), где каждый слой выполняет вполне определенную функцию:

- 1) на первом слое производится вычисление функции принадлежности для каждой входной переменной;
- 2) на втором слое производится обработка информации на основе использования базы правил логического вывода, где каждый нейрон соответствует какому-то одному правилу логического вывода;
- 3) на третьем слое производится нормализация степени активации (нормализация весовых коэффициентов);
- 4) на четвертом слое производится вычисление итоговых выходных значений каждого из правил;
- 5) на пятом слое производится вычисление общего вывода системы (взвешенное среднее выходных значений каждого правила).

Любая архитектура нейронной сети имеет свои преимущества и недостатки, в том числе это свойственно и адаптивной сетевой системе нечеткого вывода (табл. 1).

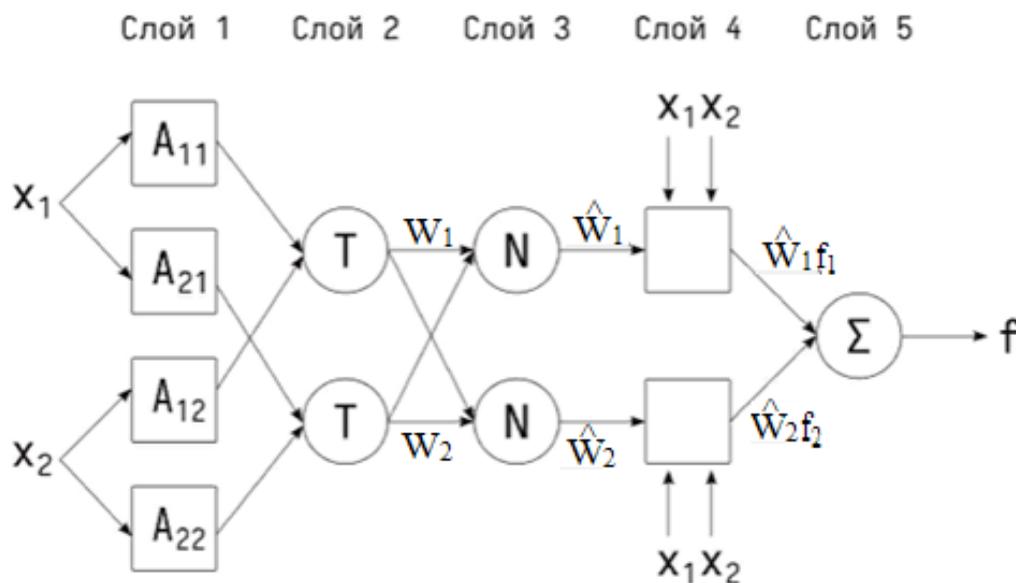


Рисунок 1 – Адаптивная сетевая система нечеткого вывода с двумя входными параметрами и двумя правилами

Таблица 1 – Преимущества и недостатки адаптивной сетевой системы нечеткого вывода

Преимущества ANFIS	Недостатки ANFIS
<ul style="list-style-type: none"> <li>– более быстрая сходимость</li> <li>– объём обучающей выборки меньше</li> <li>– автоматическая настройка параметров</li> <li>– «гладкость» выходной функции</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– осцилляция при большом числе правил</li> <li>– несоответствие знаков коэффициентов знакам выходов</li> <li>– сильное влияние выбросов</li> <li>– симметричная функция ошибки</li> </ul>

Ряд исследований, подтверждают [14-16], что процесс эвакуации людей не начинается сразу после первых звуков пожарной сигнализации. Это объясняется склонностью человека к необходимости убедиться в реальности происходящего, и обнаружить еще какие-то признаки возникновения опасности. На рисунке 2 представлена упрощенная схема процесса принятия решений, включающая в себя этапы осознания, проверки и уточнения информации, оценки степени опасности и принятие каких-либо действий.

Одним из возможных подходов к сбору данных о поведенческой реакции людей до начала эвакуации при возникновении пожара является интервьюирование, анкетирование, опрос т.к. обоснованность и эффективность этих подходов становятся ключевыми факторами. Чтобы собрать точную информацию и помочь респондентам вспомнить обстановку на пожаре в процессе эвакуации, предпочтительнее проводить

опрос вскоре после произошедших инцидентов. Интервьюируемые должны отвечать на структурированные вопросы, которые должны быть заранее сформированы в соответствии с процессом принятия решений и учитывать различные сценарии.

Причины использования этих методов для получения информации о поведении людей в реальных условиях пожара заключаются в следующем:

1) это единственный возможный метод получения информации о поведении людей при возникновении реального пожара в здании. Трудно наблюдать за тем, что люди делали во время настоящего пожара, потому что маловероятно, чтобы в каком-либо здании была установлена полноценная система видеонаблюдения, чтобы «фиксировать» реакцию людей в каждой части здания, и что система видеонаблюдения устойчиво функционировала в течение всего пожара;



Рисунок 2 – Упрощенная схема процесса принятия решений при реагировании людей в случае пожара

2) проводимые учения по эвакуации из зданий с массовым пребыванием людей в случае пожара не отражают реальной ситуации поведения людей, т.к. часто люди заранее проинформированы о проводимых учениях, а значит, не учитывается фактор внезапности.

Собранные в результате анкетирования или опроса данные могут быть использованы для обучения искусственной нейронной сети. Предварительно все данные необходимо разделить на две группы: одна – для обучения нейронной сети, другая – для ее проверки.

Люди начнут реагировать на инцидент и принимать какие-либо действия в случае обнаружения определенного сигнала: срабатывания пожарной сигнализации, появившегося запаха дыма, получения информации от других людей

и др. Т.е. своевременная информирование людей о происшествии будет основным фактором, влияющим на их последующие реакции и действия.

Все факторы, влияющие на поведение людей при возникновении чрезвычайной ситуации и используемые в обучении и проверке сети, сгруппированы в четыре группы нечетких входных параметров, которые представлены в таблице 2.

### Выводы

Таким образом, в статье был предложен подход к прогнозированию предэвакуационного поведения людей при пожаре, основанный на адаптивной сетевой системе нечеткого вывода. Неопределенность человеческого поведения определяется нечеткостью исходных данных. Принятие решения человека о действии в экстремальной

Таблица 2 – Параметры, влияющие на поведение людей при возникновении пожара

Параметры	Описание параметров
Возраст / физиологические характеристики	Возраст может иметь некоторое влияние на характер реакции людей, что определяется уровнем восприятия, памяти и мышления каждого индивидуума. Разница в реакции при чрезвычайной ситуации в зависимости от возраста будет отражать разный жизненный опыт и возможную ответственность не только за себя, но и за окружающих. Например, исследования показывают, что большая доля людей, участвующих в тушении пожара, будет увеличиваться с возрастом (исключая детей и стариков). Также очевидно, что дети и пожилые люди, скорее будут следовать за другими при возникновении опасности.
Предыдущий опыт / знание правил поведения при возникновении пожара	Это параметр, используемый для представления опыта / уровня подготовки людей при возникновении пожара. С большой долей вероятности люди будут использовать имевшийся ранее опыт и склонны реагировать на ситуации в соответствии с результатами их прошлого опыта. Некоторые могут начать руководить в условиях чрезвычайной ситуации своими близкими или другими людьми во время эвакуации. С другой стороны, если человек ранее часто сталкивался с «ложными» сигналами, то может игнорировать проявившийся сигнал опасности.
Деятельность перед пожаром	В работе [17] отмечено, что восприятие сигнала тревоги людьми может быть функцией их активности. Когда человек занимается определенной деятельностью (например, выполняет важную работу или играет в компьютерные игры, смотрит телевизор и т.д.), он может стремиться завершить начатое дело, прежде чем отреагировать на что-то еще, особенно если интенсивность поступающего сигнала не настолько велика, чтобы может привлечь его внимание.
Интенсивность информационного сигнала об опасности	При получении сигнала об опасности каждый по-разному воспринимает и признает степень опасной ситуации. Очевидно, что реакция может быть отсрочена, если люди не воспримут сигнал как указание к действиям. Неоднозначный характер сигналов опасности указывает на то, что лица, которые не имеют специального образования в области пожарной безопасности, могут признавать в качестве признака опасной ситуации только большое количество дыма или наличие пламени. Соответственно, если получен какой-то неоднозначный сигнал (например, пожарная сигнализация, шум, несильный запах дыма и т.д.), поиск дополнительной информации может быть первой реакцией человека. Более того, игнорирование проявившегося сигнала окружающими может заставить некоторых людей предположить, что угрозы нет, и они могут продолжать свою работу или просто игнорировать сигнал.

ситуации при данном подходе рассматривается как случайное событие. Однако информация или ситуация, влияющие на решение человека, в большинстве случаев являются неточными. Поэтому описание данных не может быть точным и носит нечеткий характер. Поэтому используется модель прогнозирования на основе ANFIS, основанная на алгоритме нечеткого вывода.

Данный подход может применяться для манипулирования ограниченными данными человеческой реакции при пожаре и может служить частью модели эвакуации для прогнозирования первоначальной реакции эвакуированных, что будет являться предметом дальнейших исследований.

### Список литературы

1. Самарцев А.А., Иващенко В.А., Резчиков А.Ф. [и др.] Мультиагентная модель процесса эвакуации людей из помещений при возникновении чрезвычайных ситуаций // Управление большими системами: сборник трудов. – 2018. – № 72. – С. 217-244.
2. Колодкин В.М., Чирков Б.В., Вахитиев В.К. Модель движения людских потоков для управления эвакуацией при пожаре в здании // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. – 2015. – Т. 25. – № 3. – С. 430-438.
3. Matveev A.V. The model of the process of emergency evacuation from the building while using the self-rescue equipment in case of the fire. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018; 13(15): 4535-4542.
4. Коткова Е.А. Системно-динамическая модель распространения паники при эвакуации из общественных зданий // Научно-аналитический журнал Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2022. – № 1. – С. 182-194. – EDN TITMЕС.
5. Коткова Е.А. Анализ подходов к исследованию поведения людей при эвакуации в экстремальных ситуациях // Здоровье - основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. – 2021. – Т. 16. – № 4. – С. 1476-1479. – EDN SKRFSM.
6. Самошин Д.А., Холицевников В.В. Проблемы нормирования времени начала эвакуации // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25. – № 5. – С. 37-51. – DOI 10.18322/PVB.2016.25.05.37-51. – EDN WAAOXZ.
7. Беляева К.С., Матвеев А.В. Структурная схема мультиагентного моделирования поведения людей при эвакуации в чрезвычайных ситуациях // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2018. – Т. 1. – С. 70-73. – EDN YXLMXZ.
8. Авдеева М.О., Данилова К.А. Оценка влияния особенностей поведения людей на время эвакуации с помощью имитационного моделирования // Проблемы управления безопасностью сложных систем: Материалы XXVIII международной конференции, Москва, 16 декабря 2020 года / Под общей редакцией А.О. Калашникова, В.В. Кульбы. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2020. – С. 415-419. – DOI 10.25728/iccss.2020.24.42.075. – EDN PXLTUY.
9. Щербакова Т.В. Организация эвакуации и поведение людей при пожарах // Экономика и социум. – 2021. – № 1-2(80). – С. 772-778. – EDN GUVVRV.
10. Коткова Е.А., Матвеев А.В. Методика интеллектуального прогнозирования эффективности управления эвакуацией людей из общественных зданий // Научно-аналитический журнал Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2021. – № 4. – С. 107-120. – EDN PLARHX.
11. Антюхов В.И., Остудин Н.В. Применение систем искусственного интеллекта в деятельности должностных лиц органов управления МЧС России при чрезвычайных ситуациях на транспорте // Транспорт России: проблемы и перспективы - 2016 : материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 29-30 ноября 2016 года. – СПб: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2016. – С. 246-249. – EDN VEWNJB.

12. *Станкевич Т.С.* Разработка интеллектуальной системы прогнозирования динамики развития лесного пожара // Балтийский морской форум: Материалы VII Международного Балтийского морского форума. В 6-ти томах, Калининград, 07–12 октября 2019 года. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2019. – С. 179-184. – EDN LZXFUC.
13. *Арутюнян В.Г.* Проблема извлечения текста из памяти: ассоциативные и семантические сети (коннекционистский подход) // Альманах современной науки и образования. – 2013. – № 7(74). – С. 12-14. – EDN QISNJE.
14. *Wei-Guo S. et al.* Evacuation behaviors at exit in CA model with force essentials: A comparison with social force model // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. –2006. – V. 371. – №. 2. – P. 658-666.
15. *Калачин С.В.* Прогнозирование распространения паники среди людей при эвакуации из здания во время пожара // *Безопасность труда в промышленности*. – 2020. – № 10. – С. 77-82. – DOI 10.24000/0409-2961-2020-10-77-82.
16. *Касьяник П.М.* Современные зарубежные исследования поведения толпы в экстремальных ситуациях // *Прикладная юридическая психология*. – 2014. – № 3. – С. 157-164.
17. *Canter D.* Studies of human behaviour in fire: empirical results and their implications for education and design. – Building Research Establishment Report. – UK, 1985.

*Статья поступила в редакцию 14 апреля 2022 г.*

*Принята к публикации 27 июня 2022 г.*

**Ссылка для цитирования:** Коткова Е. А. Модель нейронной сети для прогнозирования предэвакуационного поведения людей при пожаре // *Национальная безопасность и стратегическое планирование*. 2022. № 2(38). С. 66-72. DOI: <https://doi.org/10.37468/2307-1400-2022-2-66-72>

#### **Сведения об авторах:**

**КОТКОВА ЕЛИЗАВЕТА АЛЕКСАНДРОВНА** – адъюнкт Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России имени Героя Российской Федерации генерала Армии Е.Н. Зиничева, г. Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: [kotkovaelizaveta23@gmail.com](mailto:kotkovaelizaveta23@gmail.com)