

DOI: 10.12737/24428

Северин Н.Н., д-р пед. наук, проф.,  
Радоуцкий В.Ю., канд. техн. наук, проф.,  
Шаптала В.Г., д-р техн. наук, проф.,  
Шаптала В.В., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УЧРЕЖДЕНИЙ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ShaptalaVadim@yandex.ru

*Представлен когнитивный подход к анализу и управлению пожарной безопасностью учреждений высшего профессионального образования, построена когнитивная модель системы пожарной безопасности, исследована ее устойчивость. Методом импульсного моделирования рассмотрены сценарии изменения состояния пожарной безопасности в результате дестабилизирующих и управляющих воздействий.*

**Ключевые слова:** образовательное учреждение, пожарная безопасность, когнитивная карта, импульсное моделирование.

**Введение.** Важнейшей задачей образовательных учреждений (ОУ) всех уровней является обеспечение безопасных условий их функционирования. В последний период в учебных заведениях наиболее опасной ситуацией с тяжкими последствиями является пожар [1]. Обеспечение пожарной безопасности (ПБ) учреждений высшего профессионального образования (ВПО) затрудняют следующие их особенности:

- высокая насыщенность пожароопасными приборами, установками, материалами, а также широкое использование в учебной, научной и производственной деятельности пожароопасных процессов;

- сосредоточение больших количеств людей в ограниченных пространствах зданий повышенной этажности;

- недостаточно сформированное чувство ответственности и низкая культура безопасности у значительной части обучающихся.

В настоящее время работа по обеспечению пожарной безопасности ОУ ВПО ведется по следующим направлениям:

- строгое соблюдение требований пожарной безопасности, изложенных в нормативно-правовых документах [2–5];

- разработка методического обеспечения пожарной безопасности [6–10].

- финансовое и материально-техническое обеспечение мероприятий пожарной безопасности;

- мониторинг и контроль состояния пожарной безопасности администрацией образовательных учреждений и органами государственного пожарного надзора (ГПН);

- обучение персонала ОУ и обучающихся мерам пожарной безопасности.

Однако, несмотря на строгую регламентацию всей деятельности по обеспечению ПБ, предусмотренную федеральными, отраслевыми и локальными нормативно-правовыми документами, ежегодно в учебных заведениях страны происходят сотни пожаров, приводящих к человеческим жертвам и наносящих большой социальный и материальный ущерб [1].

Основными причинами пожаров в ОУ по-прежнему остаются: нарушение правил обращения с огнем и шалости с ним, нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования, нарушение требований ПБ при проведении пожароопасных (огневых) работ, а также внешние опасные воздействия (поджоги, грозовые разряды, стихийные бедствия). При этом результаты расследования пожаров показывают, что только в 20 % случаев возгорания и пожары происходят по техническим, не зависящим от людей причинам, а в остальном вызваны халатностью и преступной бездеятельностью должностных лиц, ответственных за пожарную безопасность [10].

Система пожарной безопасности ОУ направлена на решение следующих задач:

- предотвращение возникновения и развития пожара;

- защиту людей и материальных ценностей от губительного воздействия опасных факторов пожара в случае его возникновения.

**Основная часть.** Система ПБ учебного заведения характеризуется несколькими десятками показателей, которые охватывают ее структурные элементы и факторы, влияющие на ее состояние [11]. Многочисленность этих показателей, нечеткий, качественный, а иногда и противоречивый характер их взаимосвязей, недостаток точной количественной информации

сильно усложняет оценку противопожарной защищенности ОУ и затрудняют выбор наиболее эффективных мероприятий по ее улучшению в условиях жестких временных и финансовых ограничений. В связи с этим решение указанных задач целесообразно искать на основе когнитивной модели системы ПБ [12].

Первым этапом построения такой модели является выявление и количественная оценка основных факторов (концептов), определяющих состояние системы ПБ. По результатам анализа экспертной информации был согласован следующий список концептов:

$C_1$  – уровень работы руководителя и назначенных им ответственных лиц по обеспечению пожарной безопасности;

$C_2$  – состояние электротехнического и другого потенциально пожароопасного оборудования;

$C_3$  – условия содержания, хранения и использования взрывопожароопасных и горючих материалов;

$C_4$  – режим выполнения пожароопасных работ;

$C_5$  – уровень обученности и ответственности персонала ОУ и обучающихся;

$C_6$  – состояние материально-технической базы пожарной безопасности (системы пожарной сигнализации, оповещения, первичные средства пожаротушения, эвакуационные пути и выходы)

$C_7$  – полнота выполнения мероприятий по обеспечению ПБ согласно замечаний и предписаний ГПН;

$C_8$  – внешние пожароопасные воздействия (поджоги, грозовые разряды и другие стихийные бедствия);

$C_9$  – степень соответствия ОУ требованиям пожарной безопасности.

Федеральный закон № 123 – ФЗ (гл. 33) [2] предусматривают различные формы проведения оценок соответствия объектов требованиям ПБ, в том числе производственный, т.е. постоянный внутриобъектовый контроль. В образовательных учреждениях ВПО контроль соблюдения требований ПБ могут выполнять пожарно-технические комиссии (ПТК), которые согласно п. 5 Правил противопожарного режима в РФ [5] могут создаваться руководителями ОУ [13]. В качестве числовой характеристики степени соответствия ОУ требованиям ПБ, т.е. переменной состояния  $X_9 \in (0;1)$  целевого концепта  $C_9$  может быть принята найденная по результатам работы ПТК доля структурных подразделений ОУ, соответствующих требованиям ПБ.

К управляющим концептам относятся факторы  $C_1$  и  $C_7$ . В качестве количественного критерия  $X_1$  – уровня работы руководителя и администрации ОУ по профилактике пожаров, можно взять долю имеющихся документов и выполненных мероприятий от общего количества документов и мероприятий, подлежащих исполнению. Количественным показателем  $X_7$  полноты исправления нарушений требований ПБ, выявленных ГПН, является доля выполненных замечаний и предписаний. Состояние дестабилизирующих факторов  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  описывается переменными  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ , представляющими собой доли оборудования, помещений и огневых работ, не соответствующих обязательным требованиям ПБ. Числовой характеристикой  $X_8$  внешнего пожароопасного воздействия  $C_8$  является его статистическая вероятность. Значения переменных состояния концептов  $X_i$ ,  $i=1,2,\dots,9$  могут быть установлены путем обработки документов ГПН, результатов обследований, проводимых пожарно-технической комиссией, экспертных опросов, статистических данных и других материалов.

Вторым этапом построения когнитивной модели системы пожарной безопасности ОУ является определение направления (знака) и силы причинно-следственных отношений между каждой парой факторов. Лингвистические оценки этих отношений, найденные по результатам анализа экспертной информации, отображались на интервал  $[-1;1]$  в виде числовых значений (весов) связей между факторами (рис. 2).

Когнитивная модель системы ПБ может быть наглядно представлена в виде ориентированного взвешенного графа – нечеткой когнитивной карты [12]. Вершины графа – факторы, определяющие ПБ, а дуги – причинно-следственные отношения между ним (рис. 2).

Карта отражает негативное (отрицательное) влияние на состояние ПБ дестабилизирующих факторов  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  и  $C_8$ , положительное влияние управляющих  $C_1$ ,  $C_7$  и стабилизирующих факторов  $C_5$  и  $C_6$ , а также отрицательную обратную связь между степенью соответствия ОУ требованиям ПБ и уровнем работы лиц, ответственных за противопожарную профилактику – улучшение состояния ПБ нередко приводит к самоуспокоенности и ослаблению контроля за соблюдением противопожарных требований.

Веса дуг когнитивной карты образуют матрицу смежности ее вершин  $W = \|w_{ij}\|$ , где элемент матрицы  $w_{ij}$  определяет влияние концепта  $C_i$  на концепт  $C_j$  (табл. 1).

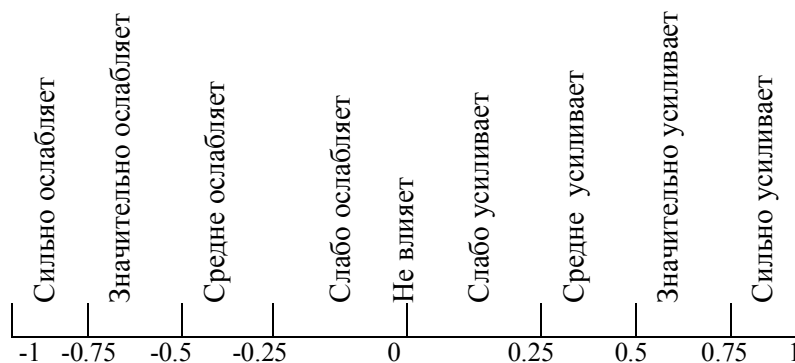


Рис. 1. Шкала перевода лингвистических оценок взаимовлияний концептов в числовые значения

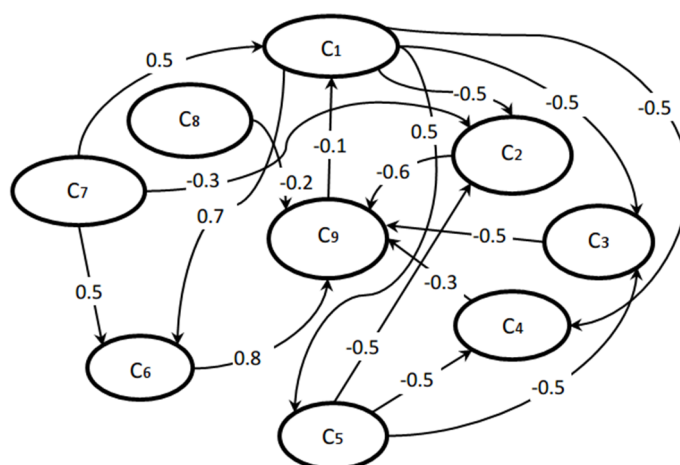


Рис. 2. Нечеткая когнитивная карта системы пожарной безопасности

Таблица 1

**Матрица смежности вершин когнитивной карты**

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$
$C_1$	0	-0,5	-0,5	-0,5	0,5	0,7	0	0	0
$C_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,6
$C_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,8
$C_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,3
$C_5$	0	-0,5	-0,5	-0,5	0	0	0	0	0
$C_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8
$C_7$	0,5	-0,3	0	0	0	0,5	0	0	0
$C_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,2
$C_9$	-0,1	0	0	0	0	0	0	0	0

Когнитивная модель системы ПБ является инструментом изучения механизма взаимодействия факторов, влияющих на ее состояние, средством исследования возможных сценариев

развития этого состояния и основой для разработки управленческих решений, направленных на улучшение противопожарной защищенности ОУ. Для решения этих задач когнитивная мо-

дель должна быть устойчивой по отношению к локальным воздействиям, приводящим к изменениям переменных состояния факторов.

Анализ устойчивости когнитивных моделей основан на исследовании корней характеристического уравнения матрицы смежности:

$$\det(W - \lambda E) = 0, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – комплексная переменная,  $E$  – единичная матрица. Когнитивная модель устойчива, если модули всех корней характеристического уравнения меньше единицы [12]:

$$|\lambda_i| < 1, \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (2)$$

где  $k$  – порядок матрицы смежности, равный числу концептов модели.

Для реализации когнитивного моделирования разработана компьютерная программа, с помощью которой показано, что условие устойчивости (2) для когнитивной модели системы ПБ выполняется (модули собственных значений матрицы связей: 0.89; 0.89; 0.63; 0.63; 0; 0; 0; 0).

Рассмотрим импульсное моделирование возможных сценариев изменения состояния системы ПБ в результате дестабилизирующих и управляющих воздействий. Начальное состояние системы ПБ описывает вектор

$$X(0) = (x_1(0), x_2(0), \dots, x_9(0)), \quad (3)$$

где  $x_i(0)$  – начальные значения переменных состояния концептов. Меняя переменные состояния концептов, формируем начальный вектор импульсов

$$p(0) = (p_1(0), p_2(0), \dots, p_9(0)), \quad (4)$$

$$X(0) = (0,7; 0,1; 0,05; 0,08; 0,7; 0,8; 0,7; 0,03; 0,8)(8)$$

Предположим, что в результате ослабления внимания к профилактике пожаров количество нарушений ПБ возросло ( $p_2(0) = 0,03$ ;  $p_3(0) = 0,05$ ;  $p_4(0) = 0,05$ ), уровень обученности и ответственности персонала снизился ( $p_5 = -0,05$ ), а

$$P(10) = (0,001; 0,05; -0,07; 0,07; -0,05; 0,07; 0; 0; -0,10), \quad (9)$$

который определяет новое состояние системы ПБ. Это состояние оказалось гораздо хуже исходного: дестабилизирующие факторы усилились, а показатель соответствия ОУ требованиям ПБ понизился на 10 %. Для исправления возникшей ситуации были предприняты следующие управляющие воздействия: уровень работы руководителя и лиц, ответственных за ПБ был повышен на 20 % ( $p_1 = 0,2$ ), а исполнение замечаний и предписаний ГПН улучшено на 15 % ( $p_7 = 0,15$ ), показатели всех остальных факторов оставлены без изменений. После 15 шагов моде-

где  $p_i(0) = \Delta x_i / x_i(0)$  – относительные приращения переменных состояния, задаваемые в долях единицы или процентах. Поскольку все факторы системы ПБ взаимосвязаны, то изменение хотя бы одного из них вызывает каскад изменений всех остальных факторов. Так инициализируется импульсный процесс, который описывается следующим итерационным соотношением:

$$p_i(n+1) = \sum_{j=1}^{k-1} w_{ij} p_j(n) \quad (5)$$

где  $n = 0, 1, 2 \dots$  – порядковый номер итерации, которому соответствует  $n$ -ый такт (шаг) моделирования. В результате выполнения некоторого числа  $N$  тактов моделирования импульсный процесс сходится к стационарному вектору приращений:

$$P(N) = (p_1(N), p_2(N), \dots, p_k(N)), \quad (6)$$

определяющему новое состояние системы ПБ, которое описывает вектор

$$X(N) = (x_1(N), x_2(N), \dots, x_k(N)) \quad (7)$$

где  $x_i(N) = x_i(0) \cdot (1 + p_i(N))$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$ .

С помощью импульсного моделирования можно сравнить влияние отдельных факторов и их сочетаний на состояние ПБ образовательного учреждения. Соответствие шага моделирования определенному временному промежутку устанавливается опытным путем.

Рассмотрим, к примеру, начальное состояние системы ПБ, соответствующее вектору

остальные факторы остались на прежнем уровне. В результате этих изменений после 10 тактов моделирования получим установившийся вектор приращения переменных концептов (рис. 3):

лирования система ПБ была возвращена в начальное состояние (рис. 4) в основном за счет существенного улучшения материально-технической базы ПБ (рост на 13 %) и снижения количества нарушений при использовании электрооборудования (-6 %). При этом выполнение правил противопожарного режима при использовании пожароопасных материалов и при проведении огневых работ восстанавливается лишь частично, а оценка уровня обученности персонала снижается, что объясняется более строгим подходом к его оценке.

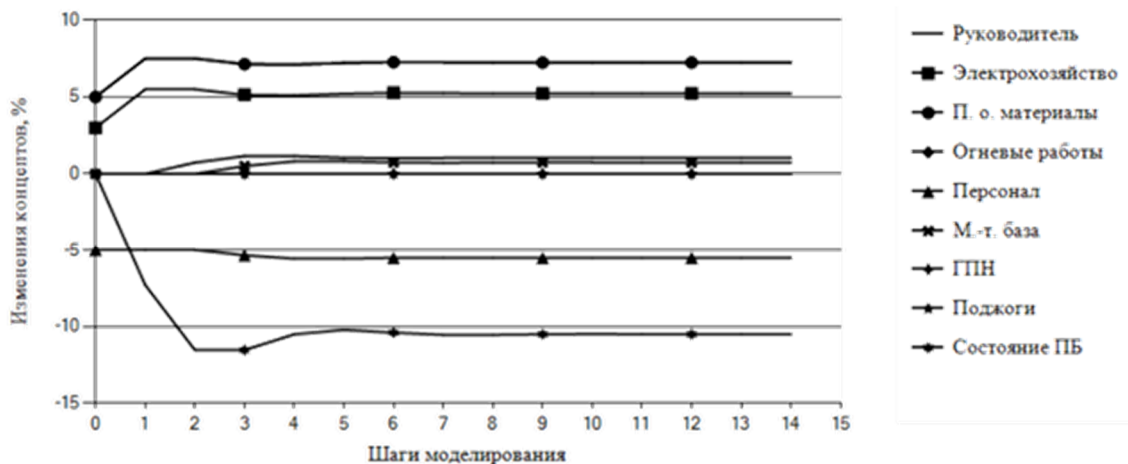


Рис. 3. Моделирование изменения состояния пожарной безопасности образовательного учреждения в результате дестабилизирующих воздействий

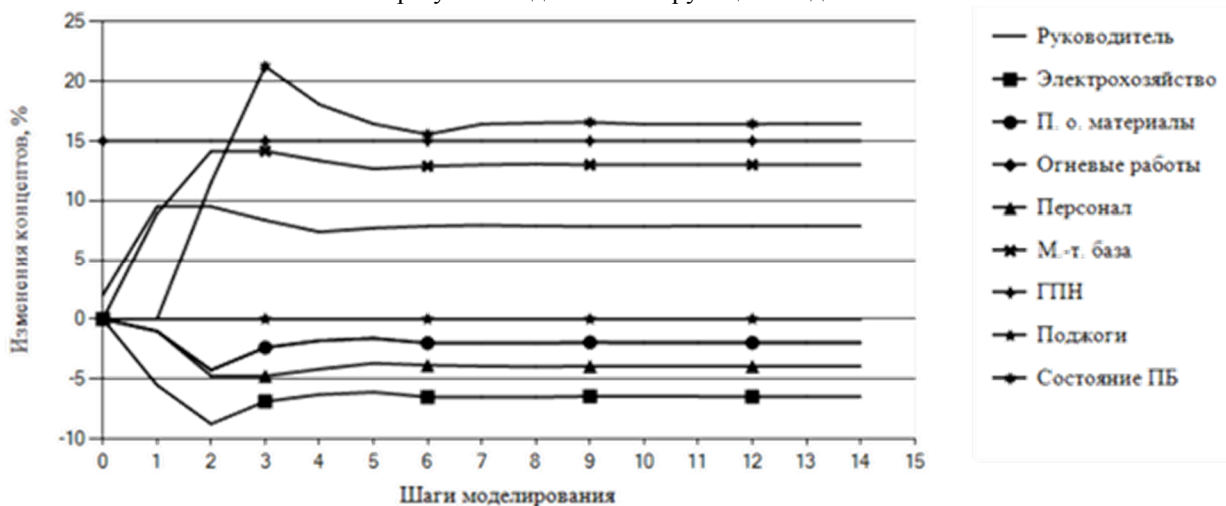


Рис. 4. Моделирование изменения состояния пожарной безопасности образовательного учреждения в результате управляющих воздействий

**Выводы.**

1. Когнитивный анализ позволяет выяснить механизм формирования состояния системы безопасности образовательного учреждения, а также исследовать сценарии развития этого состояния в результате дестабилизирующих и управляющих воздействий.

2. Когнитивная модель системы пожарной безопасности является эффективным средством поддержки принятия управленческих решений, направленных на повышение соответствия образовательных учреждений требованиям пожарной безопасности.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году: Статистический сборник. Под редакцией А.В. Матюшина. М.: Изд. ВНИИПО, 2016, 124с.

2. Федеральный закон от 22.07.08 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [Электронный документ] Доступ из СПС «КосультантПлюс».

3. Федеральный закон от 21.12.94 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [Электронный документ] Доступ из СПС «КосультантПлюс».

4. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-03). [Электронный документ] Доступ из СПС «КосультантПлюс».

5. Правила противопожарного режима в РФ (утвержден постановлением РФ от 25.04.2012. №390 с изменениями на 6.04.2016 г). [Электронный документ] Доступ из СПС «КосультантПлюс».

6. Шаптала В.Г., Шаптала В.В., Северин Н.Н. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: методические указания. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. 134 с.

7. Шаптала В.В., Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю. Моделирование опасных факторов пожара, чрезвычайных и кризисных ситуаций. Белгород: ООО «ЕвроПолиграф». 2011. 171с.

8. Радоуцкий В.Ю., Северин Н.Н., Шульженко В.Н., Шаптала В.Г., Ветрова Ю.В. Пожарная безопасность. Состояние, перспективы. Белгород: ООО «Планета-Полиграф». 2010. 150с.

9. Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.Г., Ветрова Ю.В. Управление комплексной безопасности высших учебных заведений. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 128с.

10. Учебное пособие по обеспечению пожарной безопасности в образовательных учреждениях. [Электронный ресурс] режим доступа: <https://refdb.ru/look/1222848-pall.html> (дата обращения 15.11.2016).

11. Костерин И.В. Экспертный метод оценки пожарной опасности многофункциональных

общественных зданий. Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» [Электронный ресурс] режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb> (дата обращения 15.11.2016).

12. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экономическим задачам. М. Наука, 1986. 496с.

13. Положение о пожарно-технической комиссии. [Электронный ресурс] режим доступа: <http://atis-ars.ru> (дата обращения 15.11.2016).

14. Силов В.В. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО-РЕС, 1995. 228с.

15. Кулинич А.А. Верификация качественных математических моделей. Материалы Второй международной конф. «Системный анализ и информационные технологии», Обнинск, 2007. М., 2007. Т.1. С.35–38.

---

**Severin N.N., Radoutsky V.Y., Shaptala V.G., Shaptala V.V.**

**COGNITIVE MODELING STATE FIRE SAFETY INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION**

*Presented cognitive approach to the analysis and management of fire safety of higher education institutions based cognitive model of fire safety systems, studied its stability. pulse modeling method discussed scenarios for fire safety status as a result of the destabilizing and control actions.*

**Key words:** *educational institution, fire safety, cognitive map, impulse modeling.*

---

**Северин Николай Николаевич**, доктор педагогических наук, профессор кафедры Защиты в чрезвычайных ситуациях

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46

E-mail: [vladislav.thebotareff@yandex.ru](mailto:vladislav.thebotareff@yandex.ru)

**Радоуцкий Владимир Юрьевич**, кандидат технических наук, профессор кафедры Защиты в чрезвычайных ситуациях

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46

E-mail: [vladislav.thebotareff@yandex.ru](mailto:vladislav.thebotareff@yandex.ru)

**Шаптала Владимир Григорьевич**, доктор технических наук, профессор Защиты в чрезвычайных ситуациях

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46

E-mail: [vladislav.thebotareff@yandex.ru](mailto:vladislav.thebotareff@yandex.ru)

**Шаптала Вадим Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры Защиты в чрезвычайных ситуациях

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46

E-mail: [vladislav.thebotareff@yandex.ru](mailto:vladislav.thebotareff@yandex.ru)