

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ СРОЧНОСТИ ТУШЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ПОЖАРОВ В ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

Ефремова О.В.<sup>1</sup>, Ефремов И.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», (305040, Курск, Россия, ул. 50 лет Октября, 94), e-mail: Twin22\_olya@mail.ru

---

При достаточно точном знании множества параметров, от которых зависит развитие и распространение пожара, практически любая из классических моделей может удовлетворительно описывать и прогнозировать пожар. В реальных условиях многие из параметров известны не точно или вовсе не известны. Для разрешения подобных проблем наиболее хорошо подходит аппарат теории нечетких множеств, на основе которого разработана математическая модель срочности тушения техногенных пожаров в лечебно-профилактических учреждениях, при этом учитывались лингвистические переменные, влияющие на принятие решения. Построена функция принадлежности нечеткой переменной в системе нечеткого моделирования fuzzyTECH 5.54. Приведены графики функций принадлежности нечетких переменных, общая схема нечеткого логического вывода с описанием модели. Для проверки адекватности полученной системы проведена расчетно-экспериментальная оценка. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения математического аппарата теории нечетких множеств к моделированию динамики техногенных пожаров.

---

Ключевые слова: техногенный пожар, лингвистическая переменная, функция принадлежности.

## MATHEMATICAL MODEL OF THE ASSESSMENT OF URGENCY OF SUPPRESSION OF TECHNOGENIC FIRES IN TREATMENT-AND-PROPHYLACTIC ESTABLISHMENTS

Efremova O.V.<sup>1</sup>, Efremov I.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Southwest State University, Kursk, Russia (305040, Kursk, street 50 let Oktyabrya, 94) e-mail: Twin22\_olya@mail.ru

---

At rather exact knowledge of a set of parameters on which development and fire distribution depends, practically any of classical models can well describe and predict a fire. In actual practice many of parameters are known not precisely, or aren't so known. The device of the theory of indistinct sets on the basis of which the mathematical model of urgency of suppression of technogenic fires in treatment-and-prophylactic establishments is developed most well is suitable for permission of similar problems, the linguistic variables influencing decision-making were thus considered. Function of accessory of an indistinct variable in system of indistinct modeling of fuzzyTECH 5.54 is constructed. Function graphs of accessory of indistinct variables, the general scheme of an indistinct logical conclusion with the model description are given. For check of adequacy of the received system the settlement and experimental assessment is carried out. The received results testify to prospects of use of mathematical apparatus of the theory of indistinct sets to modeling of dynamics of technogenic fires.

---

Keywords: technogenic fire, linguistic variable, accessory function.

В настоящее время благодаря многочисленным исследованиям получены подробные сведения о поведении техногенного пожара. При достаточно точном знании множества параметров, от которых зависит развитие и распространение пожара, практически любая из классических моделей может удовлетворительно описывать и прогнозировать пожар. В то же время в реальных условиях многие из параметров известны не точно или вовсе не известны. Для разрешения подобных проблем наиболее хорошо подходит аппарат теории нечетких множеств.

Одним из наиболее тяжелых последствий техногенных пожаров в ЛПУ является достижение возгорания до места скопления людей, в особенности не имеющих возможность

самостоятельно передвигаться и тем самым спастись от пожара. Для того чтобы этого избежать, необходимо заблаговременно оценить степень опасности конкретного пожара и принять меры по его локализации и тушению.

Величина пожарного риска представляет собой нечеткую переменную, т.к. невозможно получить ее точную количественную оценку. В свою очередь пожарный риск зависит от других нечетких переменных.

### **Постановка задачи**

Одним из основных факторов принятия верных оперативных решений в условиях ограниченности ресурсов является предотвращение полного возгорания объекта защиты. Необходимо комплексно оценивать как время полного возгорания объекта, так и потенциальную возможность техногенного пожара достичь мест максимального скопления людей. Допустим, исходя из скорости и направления распространения пожара, он должен дойти до, предположим, палаты (медицинского кабинета) *A* за *x* минут, а до палаты (медицинского кабинета) *B* за *y* минут, причем ( $x \ll y$ ). Однако в палате *A* нет людей, а в палате *B* есть, следовательно, в первую очередь следует направить ресурсы на защиту палаты (медицинского кабинета) *B*.

Таким образом, целевой параметр, рассчитываемый СППР, можно определить как срочность тушения пожара и измерить его в минутах. При этом срочность будет характеризовать не только динамическую составляющую распространения пожара, но и общую степень его опасности для объекта защиты.

Срочность тушения будем искать в виде:

$$U = t_d - t_l, \quad (1)$$

где  $t_d$ - время достижения пожаром места скопления людей,  $t_l$ - время, необходимое на локализацию пожара.

В величину  $t_l$  входит время прибытия пожарных расчетов к месту локализации, время необходимое им на развертывание и время на мероприятия по локализации пожара.

Время, необходимое на локализацию данного пожара  $t_{li}$  зависит от продолжительности пожара, в нашем случае:  $\Delta t = t_i - t_0$ . В общем случае - чем дольше продолжается пожар, тем большую площадь он занимает, следовательно, тем большее время необходимо на его локализацию.

Из этого следует, что величины  $t_d$  и  $t_l$  связаны между собой, хотя вид зависимости между ними может быть различным.

Рассмотрим более подробно слагаемые в (1). Величина  $t_l$  может считаться (с некоторыми ограничениями) управляемой. Действительно, существуют нормативы на время локализации пожара, нормативы на развертывание и т.д. [1]. Нормативы могут быть

выполнены или превышены, время пути до места пожара можно, так или иначе, варьировать. Также, данный параметр всегда более обеспечен информационно – лицо, принимающее решение, знает о ресурсах, которыми управляет (число противопожарных команд, их оснащенность, квалификация и т.п.), хотя информация может быть неполной.

Напротив, величина  $t_d$  характеризуется существенной неопределенностью. Наиболее просто время достижения можно выразить следующим образом:

$$t_d = \frac{D}{v_n}, \quad (2)$$

где  $D$  – расстояние от пожара до места скопления людей,  $v_n$  – скорость пожара в направлении места скопления людей. Величина  $D$  является оценочным показателем. Еще более сложным показателем является скорость распространения пожара. Для того чтобы ее оценить, необходимо знать следующее:

- направление распространения пожара;
- наличие противопожарных систем;
- площадь пожара;
- наличие легковоспламеняющихся материалов в ЛПУ;
- наличие препятствий распространению пожара.

Приведенный перечень не является исчерпывающим, однако из него видно, что оценка скорости пожара и, в общем, времени достижимости не является тривиальной задачей. Существует теория, описывающая области достижимости динамических систем. Она достаточно широко применяется в решении задач оптимального управления и в теории динамических игр [2, 3]. В том числе положения упомянутой теории применены и для решения задач, связанных с техногенными пожарами. Далее более подробно рассмотрим отдельные инструменты данной теории, применительно к поставленной задаче.

### **Принятие решений**

Рассмотрим в общих чертах действия лица, принимающего решения, при следующих исходных данных.

1. Имеются несколько техногенных пожаров, о которых известно:

- 1.1 координаты места обнаружения;
- 1.2 расстояние до места скопления людей;
- 1.3 площадь возгорания;
- 1.4 время обнаружения.

2. Дополнительно известны:

- 2.1 точное расположение противопожарных систем;
- 2.2 план ЛПУ.

3. В наличии только одна противопожарная команда, способная мгновенно локализовать

любой пожар.

4. Отсутствует какая бы то ни было СППР, математическая модель, расчетная методика.

Необходимо ранжировать имеющиеся пожары по срочности их локализации. В данных условиях будем руководствоваться следующими предпосылками. Необходимо оценить пространственное положение пожаров относительно места скопления людей. При этом при прочих равных условиях:

- близкий пожар опаснее, чем далекий;
- пожар движется быстрее по легковоспламеняющимся материалам;
- крупный пожар опаснее мелкого.

Далее необходимо определить, хотя бы в общих чертах, динамику пожаров. Чем большую площадь прошел пожар с момента обнаружения, тем он «динамичнее», т.е. опаснее. Таким образом, желательно оценить среднюю скорость прироста площади пожара. Скорость распространения пожара имеет сложную зависимость от воспламенения материалов здания, в большинстве случаев, чем легче воспламеняются материалы, тем пожар опаснее.

Необходимо также оценить наличие и количество противопожарных систем.

Исходя из этого, обозначим основные факторы, влияющие на принятие решения в рассмотренной ситуации. Назовем эти факторы лингвистическими переменными, таким образом, получим следующие входные лингвистические переменные модели:

- площадь пожара;
- площадь пожара в момент обнаружения;
- время после обнаружения;
- направление распространения пожара;
- наличие легковоспламеняющихся материалов;
- близость пожара к месту скопления людей;
- наличие противопожарных систем;
- срочность тушения пожара.

### **Фазификация**

Рассмотрим некоторые из переменных более подробно с точки зрения содержащейся в них неопределенности. Если мы имеем возможность точно фиксировать значения переменных в каждый момент времени, очевидно, неопределенность отсутствует. Поскольку параметры по тем или иным причинам известны не точно, таким образом можно говорить о принятии решений в условиях неопределенности. По изложенным выше соображениям применим к решению поставленной задачи эвристический подход, основанный на теории нечетких множеств. Подробно разберем одну лингвистическую переменную, например,

площадь пожара. Согласно [5] лингвистическая переменная представляет собой кортеж вида:  $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$ , где  $\beta$  – наименование переменной,  $T$  – множество значений лингвистической переменной, которое состоит из наименований нечетких переменных,  $X$  – область определения лингвистической переменной,  $G$  – синтаксическая процедура, позволяющая генерировать из множества  $T$  новые осмысленные значения,  $M$  – семантическая процедура, позволяющая поставить в соответствие полученным с помощью процедуры  $G$  новым значениям, некоторое нечеткое множество.

В описываемой модели  $\beta$  – площадь, пройденная огнем,  $m^2$ ,  $T = \{\text{«маленький»}, \text{«небольшой»}, \text{«средний»}, \text{«большой»}\}$ ,  $X = [0 \div 1 * 10^8]$ , логические связки и модификаторы не используются.

Рассмотрим для примера нечеткую переменную «большой» техногенный пожар. Нечеткая переменная  $\beta$  представляет собой следующий кортеж:  $\langle \text{«большой»}, a(x, \mu_a(x)) \rangle$  где  $a(x, \mu_a(x)) = \{x | 0 < x < 1 * 10^8\}$  нечеткое множество с функцией принадлежности  $\mu_a(x)$ , заданной графически на рис. 1.

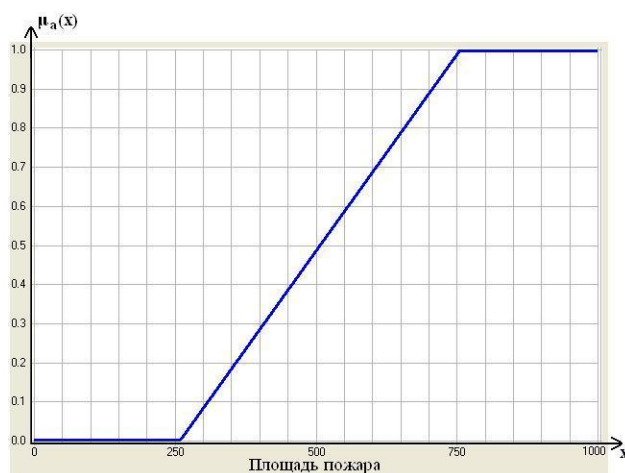


Рис. 1. Функция принадлежности нечеткой переменной «большой техногенный пожар»

Выбор вида функции принадлежности обусловлен требованиями [6], определяющими большой пожар.

Полный список лингвистических переменных модели с их кратким описанием приведен в таблице 1. Следует упомянуть, что модель построена в системе нечеткого моделирования fuzzyTECH 5.54, имена переменных в таблице даны так, как они записаны в программе.

Строка 8 в таблице 1 содержит выходную переменную – «срочность тушения», мин.

На рисунке 2 приведены графики функций принадлежности нечетких переменных, принадлежащих лингвистической переменной «Время после обнаружения».

### Лингвистические переменные

№ п/п	Имя переменной	Минимальное значение	Максимальное значение	Нечеткие переменные
1	Площадь пожара (Size)	1	1000	«маленький», «небольшой», «средний», «большой»
2	Площадь пожара в момент обнаружения (size_of_detect)	1	1000	«маленький», «небольшой», «средний», «большой»
3	Время после обнаружения (time_after_detect)	0	20	«мало», «средне», «много»
4	Направление распространения пожара (direction_fire)	0	4	«безопасное» «средне опасное» «опасное» «очень опасное»
5	Наличие легковоспламеняющихся материалов (dangerousmaterials)	0	10	«безопасно» «средне опасно» «опасно»
6	Близость пожара к месту скопления людей (proximity)	0	100	«очень далеко» «далеко» «средне удалено» «близко» «очень близко»
7	Наличие противопожарных систем (safetysystem)	0	10	«мало» «средне» «много»
8	Срочность тушения пожара (urgency)	0	60	«несрочно» «средне срочно» «срочно»

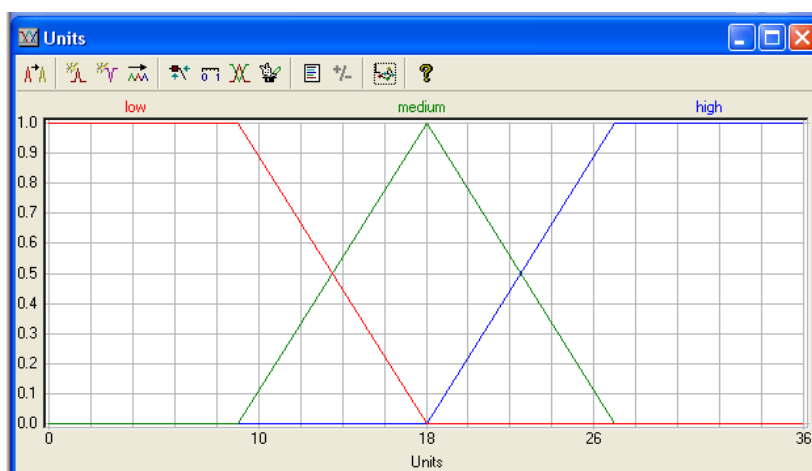


Рис. 2. Графики функций принадлежности

На рисунке 3 приведена общая схема нечеткого логического вывода. Дадим описание

модели. В системе присутствуют три блока правил нечеткого вывода, из которых два – промежуточные, порождающие промежуточные переменные – «динамика» и «индикатриса». Третий блок правил порождает выходную переменную «срочность».

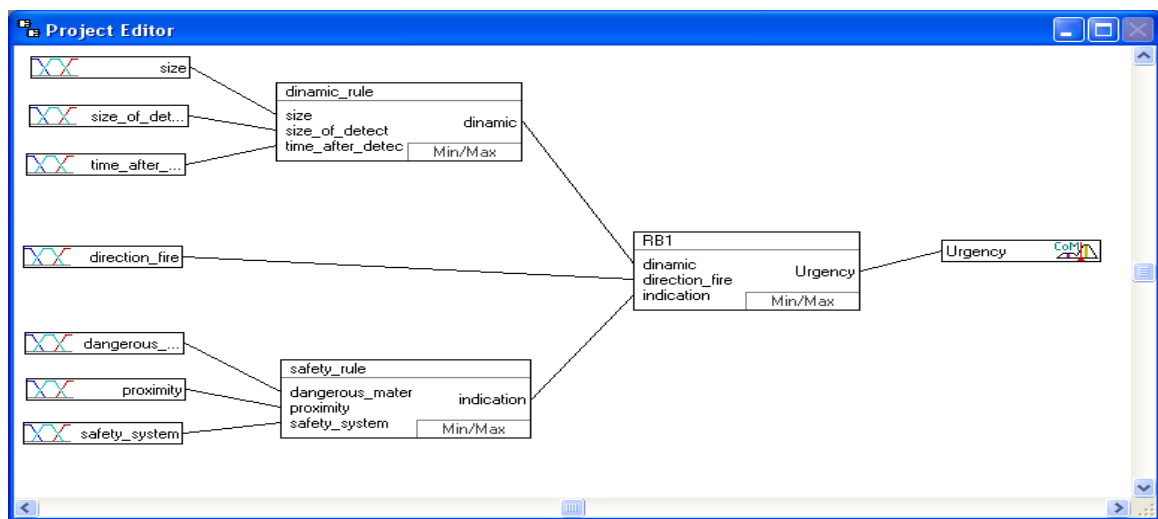


Рис. 3. Схема нечеткого логического вывода

### Расчетно-экспериментальная оценка

Для расчетно-экспериментальной оценки полученной системы рассчитаем время достижения пожаром места скопления людей по следующей методике. Время достижимости определим по [4]:

$$t_d = \frac{D}{\vartheta \cdot \zeta(\omega, \Phi)}, \quad (4)$$

где  $\vartheta$  – скорость распространения пожара, м/с,  $\zeta(\omega, \Phi)$  индикатриса скорости,  $\omega$  – скорость ветра в районе пожара, м/с,  $\Phi$  – направление распространения пожара, град. Воспользуемся эллиптической индикатрисой, предложенной Ф. Альбини:

$$\zeta(\omega, \Phi) = \frac{1 - E(\omega)}{1 - E(\omega) \cdot \cos(\Phi)}, \quad (5)$$

где  $E(\omega)$  – эксцентриситет эллипса:

$$E(\omega) = 1 - \exp(-0.4\omega). \quad (6)$$

Скорость пожара определим по [8]:

$$\vartheta = \frac{\alpha \sqrt{k}}{2 \cdot P(\omega)}, \quad (7)$$

где  $P(\omega) = \int \zeta^2(\omega, d\Phi)$ ,  $\alpha$  – показатель динамики пожара,  $k$  – средний прирост площади пожара, м<sup>2</sup>/сек.

Определив по приведенной методике время достижения пожаром места скопления людей, мы можем сравнить его со срочностью тушения рассчитанного нечеткого логического вывода. Ясно, что срочность должна быть  $U < t_d$  для любых начальных условий.

Результаты экспериментов показывают, что приведенное условие выполняется во всех случаях и свидетельствуют о перспективности применения математического аппарата теории нечетких множеств к моделированию динамики техногенных пожаров и иных чрезвычайных ситуаций.

### Список литературы

1. Доррер, Г. А. Динамика лесных пожаров / Г. А. Доррер. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 404 с.
2. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
3. Овсеевич, А.И. Области достижимости управляемых систем, их свойства, аппроксимации и применения : дис. док. физ.-мат. Наук : 01.02.01 : защищена 01.03.1996 / А.И. Овсеевич. – М., 1996. – 177 с.
4. Оуэн, Г. Теория игр / Г. Оуэн // Пер. с англ. под ред. А. А. Корбута со вступ. статьей Н. Н. Воробьева. – М.: Мир, 2001. – 230 с.
5. Тактика и методы применения мотопомп при тушении лесных пожаров [Электронный ресурс] / Официальный сайт ФГУ «Авиалесоохрана». – Пушкино. ФГУ «Авиалесоохрана», 2011. – Режим доступа: <http://www.aviales.ru/default.aspx?textpage=122>.
6. Albini, F.A. Estimating wildfire behavior end effects: general technical report INT-122 / F.A. Albini; USDA Forest Service. – Ogden, 2004. – 92 p.

### Рецензенты:

Мирталибов Т.А., д.т.н., профессор, профессор кафедры информационные системы и технологии Юго-Западного государственного университета, г. Курск;

Зотов И.В., д.т.н., профессор, профессор кафедры информационные системы и технологии Юго-Западного государственного университета, г. Курск.