

УДК: 614.8.084

## Альтернативный подход к автоматизации независимой оценки пожарного риска

### Fire risk independent estimation automation alternative approach

**О.Ю. Воробьев<sup>1</sup>**  
*д-р ф-м. наук, профессор,*  
**А.А. Крехов<sup>1</sup>,**  
**С.В. Клочков<sup>1</sup>**  
*канд. ф-м. наук, доцент,*  
**А.Н. Минкин<sup>1,2</sup>**  
*канд. тех. наук, доцент*  
<sup>1</sup> ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет  
<sup>2</sup> ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

**O. Vorob'ev<sup>1</sup>**  
*Holder of an Advanced Doctorate in Physico-mathematical Sciences, Full professor,*  
**A. Krehov<sup>1</sup>,**  
**S. Klochkov<sup>1</sup>**  
*Ph.D. of Physico-mathematical Sciences, Docent,*  
**A. Minkin<sup>2</sup>**  
*Ph.D. of Engineering Sciences, Docent*  
<sup>1</sup> FSAEI HE Siberian Federal University  
<sup>2</sup> FSBEI HE Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia

#### Аннотация:

В работе приведены случайно-событийные определения в области обеспечения пожарной безопасности, которые рассматриваются в разрезе субъекта, события, вероятности и ценности. Построена иерархичная структура безопасности, рассмотрено событие «безопасный субъект». Детально рассмотрены в разрезе теории случайных событий термины «пожарная безопасность», «пожарные риски», приведены вероятностные определения рисков возникновения, обнаружения, распространения пожаров, а также введен термин «барьерные мероприятия».

**Ключевые слова:** пожарная безопасность, эвентология, противопожарное состояние, пожарный риск.

#### Abstract:

In the given article, fire safety eventological definitions in application to “subject”, “probability” and “value” are discussed. The subject safeness based on the hierarchy of safety is considered. The article also defines the “eventology of fire safety”, “fire risk”, “elemental fire safety event”.

**Keywords:** Fire Safety, Eventology, Fire safety state, Fire risk.

В современных условиях России проверка состояния пожарной безопасности объекта на соответствие установленным нормативным требованиям осуществляется МЧС России. И даже несмотря на компетентность и опыт инспекторов общая адекватность оценки остается субъективным вопросом. Традиционный, так называемый «предписывающий» подход, предполагающий твердое следование всему перечню утвержденных нормативных документов, содержащих необходимые требования, не может осуществить объемное исследование реального противопожарного состояния объекта, и, как следствие, гарантировать абсолютную его безопасность. Из этого можно заключить, что по существу ни один существующий метод нельзя считать единственно верным или наоборот совершенно неверным.

В дополнение к описанной выше субъективности инспекторов имеет место быть еще и другая проблема, являющаяся актуальной не только для России, но и для ряда других стран, среди которых можно выделить Италию и Великобританию. Согласно действующему законодательству единый принцип обеспечения защиты здоровья и безопасности заключаются в том, что основную ответственность за предотвращение или смягчение возможных последствий от чрезвычайных ситуаций несет тот, кто ответственен за создание риска, его возникновения и развития. На данный момент таким ответственным «лицом» являются надзорные

органы в области пожарной безопасности, но никак не владельцы объектов. Отсутствие разделения ответственности между ними и несогласованность их действий приводит к абсолютно неэффективному превентивному управлению зданиями и сооружениями, что в конечном итоге повышает вероятность возникновения пожара.

Для решения этих проблем в России были утверждены различные нормативно-правовые акты. Они позволяют не только создать, но и внедрить модель эффективного управления состоянием и пожарной безопасностью объектов, при этом обеспечивая оптимальное соотношение между риском возникновения пожара и необходимыми мерами для его предотвращения.

В [1] и [2] приводится определение понятия «пожарный риск», под которым в общем случае понимается вероятная величина возникновения пожара и его последствий. Несмотря на то, что приведенное определение подразумевает его однозначное понимание, на большинстве объектов фактически отсутствует реальная возможность осуществить математическую формализацию состояния «пожарная опасность», что, по нашему мнению, является существенным недочетом в нормативной документации.

К причинам можно отнести техническую сложность, необходимость высокой квалификации кадров и качественную новизну. Следовательно, одной из приоритетных задач для разработчиков является создание комплекса различных процедур, в том числе логических, математических и статистических, для получения точных значений пожарного риска, а также разработка технологий по применимости этих расчетов на практике и в «деятельности» объекта. Однако важно также получить количественные значения величин вероятности эвакуации и работоспособности систем противопожарной защиты для управления этими величинами и учесть множество влияющих на принимаемые решения факторов.

При формировании понятия «опасность» в него вкладывается только субъект или множество субъектов, которые определяют и характеризуют опасность. Непосредственно без субъекта понятие опасности как таковое лишено смысла. Исходя из этого, под «опасностью» понимается опасность конкретно для субъекта или множества субъектов. Это можно назвать «субъектной опасностью». Аналогичным образом можно интерпретировать понятие «безопасность». Значит, можно сделать вывод о том, что и опасность, и безопасность являются субъектными категориями.

Существует четыре основных состояния пожарной опасности/безопасности, в которых объект может находиться на различных этапах своего жизненного цикла. На рисунке 1 указаны норма (нормальное состояние объекта), угроза (состояние, при котором возможно возникновение пожара на объекте), пожар и восстановление (последствия наступления пожара и ее разрешение).



Рис. 1- Общий вид цикла пожарной безопасности и опасности на объекте

Учитывая эти четыре состояния, противопожарное состояние объекта можно интерпретировать как череду событий, возникающих при различном наборе противопожарных барьеров, призванных обеспечить безопасность объекта (см. рис. 2).

Рис. 2 подтверждает тот факт, что состояние пожарной опасности или безопасности в целом по объекту зависит от количества реализуемых противопожарных барьеров в каждый конкретный промежуток времени. Для примера на рис. 3 приводится реальный график противопожарного состояния объекта за 50 лет.

Поскольку в [5] указано, что вероятность является свойством некоторого события, тогда вполне логичным будет считать, что термин субъективная вероятность является аналогичным свойством для некоторого «субъективного» события. Такое рассмотрение данной проблемы позволяет предложить к рассмотрению с эвентологической точки зрения теорию нечётких событий, предложенную в [5,6] и предлагающую математический аппарат для случайно-событийного (эвентологического) описания любых видов неопределённости. Например, к ним можно отнести те виды, которые рассматриваются в теории возможностей, а также теории свидетельств Демпстера-Шафера, нечёткие множества, описанные Заде и другие. Заметим, что данная теория возможна только с учетом колмогоровских аксиом теории вероятностей.

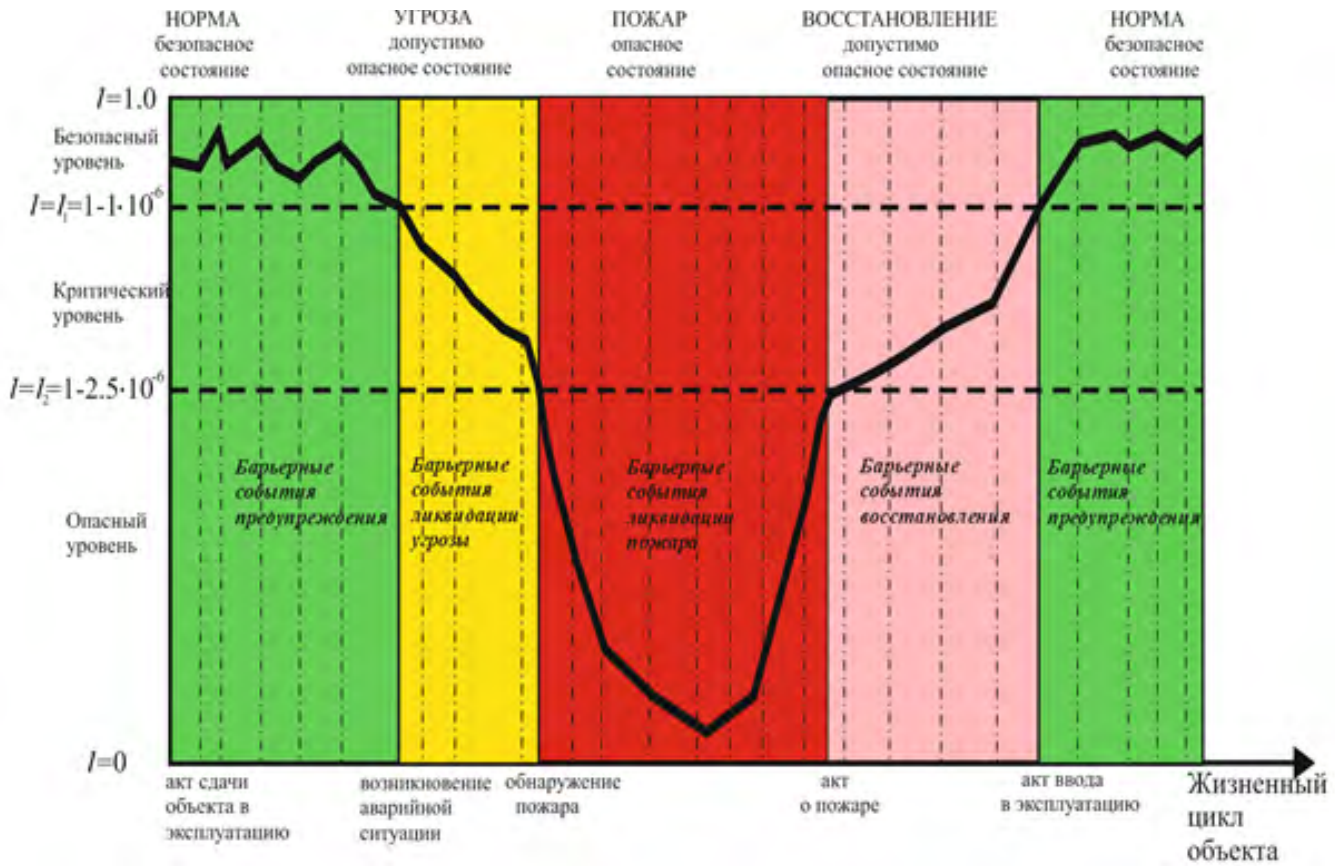


Рис. 2 - Визуализация состояния пожарной опасности/безопасности объекта на этапах его жизненного цикла

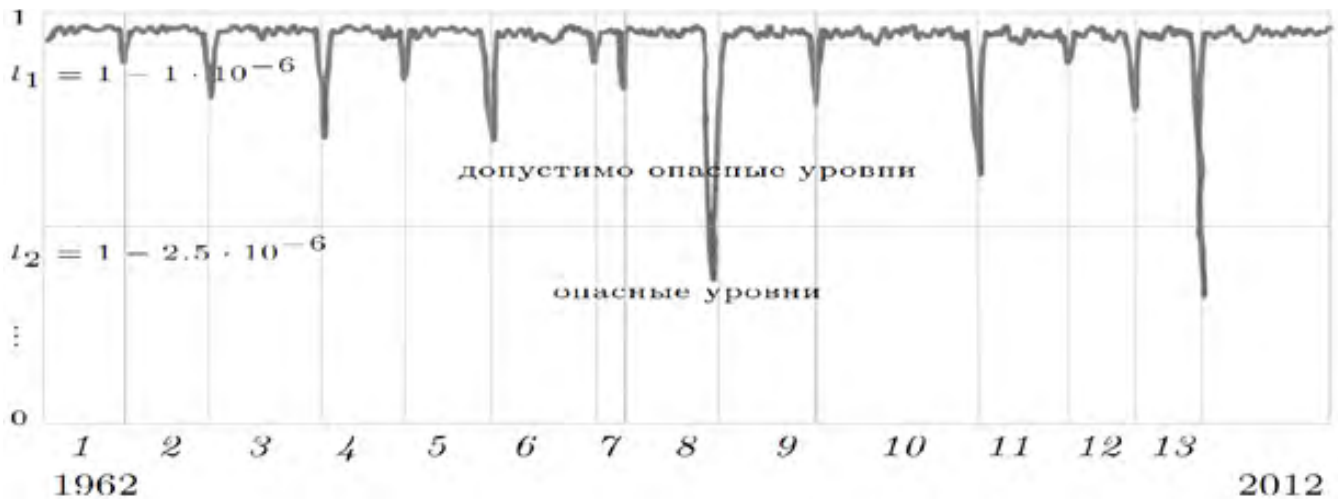


Рис. 3 - Пример траектории состояния пожарной безопасности объекта

Исходя из изложенного, эвентологическая формула расчета пожарного риска в общем виде может быть представлена в виде уравнения (1):

$$Q_{\mu_{от}}^0 \leq Q_x^0 Q_{\mathcal{B}|x}^0 Q_{\mathcal{M}|x|\mathcal{B}}^0 < 10^{-6} \text{ год}^{-1}, \quad (1)$$

где  $Q_{\mu_{от}}^0$  - вероятность гибели субъекта на объекте от пожара;

$Q_x^0$  - вероятность пожарной опасности на совокупном объекте;

$Q_{\mathcal{B}|x}^0$  - вероятность реагирования субъекта при пожаре;

$Q_{\mathcal{M}|x|\mathcal{B}}^0$  - вероятность отказа совокупного барьера.

Графическая интерпретация уравнения (1) представлена на рис. 4.

Численная величина в (1) взята из [2].

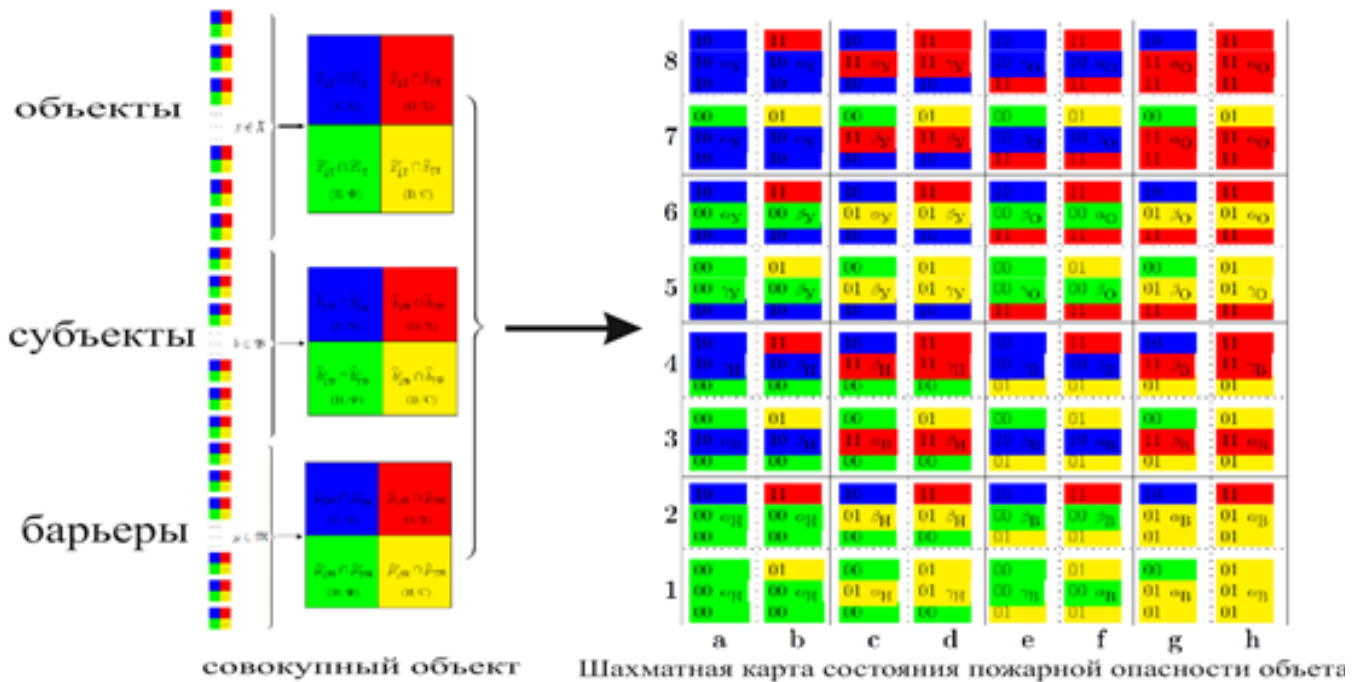


Рис. 4 - Графическая интерпретация значения пожарного риска на объекте.

Из анализа рис. 4 следует, что наиболее противопожарное опасное состояние объекта – поле е5, поскольку ни объект, ни субъект не имеют «представления» о том, что барьерные события не сработали, и произошел пожар. Очевидно, что наиболее безопасным состоянием будет поле е1.

Рассмотрим теперь барьерные события как некоторую систему. Поскольку система рассматривается, в том числе в рамках пожарной безопасности, то «связующим» условием элементов будет вероятность их срабатывания. В нашей модели также будем учитывать взаимовлияние барьеров, что с математической точки зрения будет означать наличие ненулевой ковариации.

Поскольку основная задача событий-барьеров состоит в предотвращении аварийной ситуации, то определённая доля инвестиций именно в эти события позволит сократить вероятность перехода системы в состояние «угроза» или «пожар», или же существенно уменьшит время нахождения в этих состояниях, тем самым минимизировав возможные убытки.

Таким образом, становится возможным рассмотреть сформулированную в [8] задачу распределения ресурсов для рассматриваемой в данной работе модели.

Для простоты объединим все барьерные события в единое множество  $X$ . Наступление события  $x \in X$  будет означать, что барьер своевременно выполнил свою функцию. Тогда под  $a(x)$  - объём

инвестиций в событие-барьер. Запишем случайную величину-индикатор наступления  $x \in X$ :

$$I_x = \begin{cases} 1, & x \text{ наступает} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (2)$$

Произведение этой случайной величины на  $a(x)$  будет характеризовать эффективность инвестиций в событие-барьер (если событие не наступило, то эффект будет нулевым). Для всего множества  $X$  можно рассмотреть обобщающую случайную величину всех инвестиций в барьеры следующего вида:

$$I_{\bar{O}} = \sum_{\bar{O}} a(x) I_x \quad (3)$$

Как показано в [8], из (3) тривиальным образом можно получить среднюю эффективность инвестиций в противопожарные барьеры и среднее квадратичное отклонение от этой величины:

$$\begin{cases} EI_x = \sum_x a(x) P(x); \\ \sigma I_x = \sqrt{\sum_x \sum_x a(x) a(y) \text{Cov}(x, y)} \end{cases} \quad (4)$$

Рассмотрев образ отображения симплекса  $S_x$  в плоскость  $(\sigma, E)$ , можно получить следующую картину:



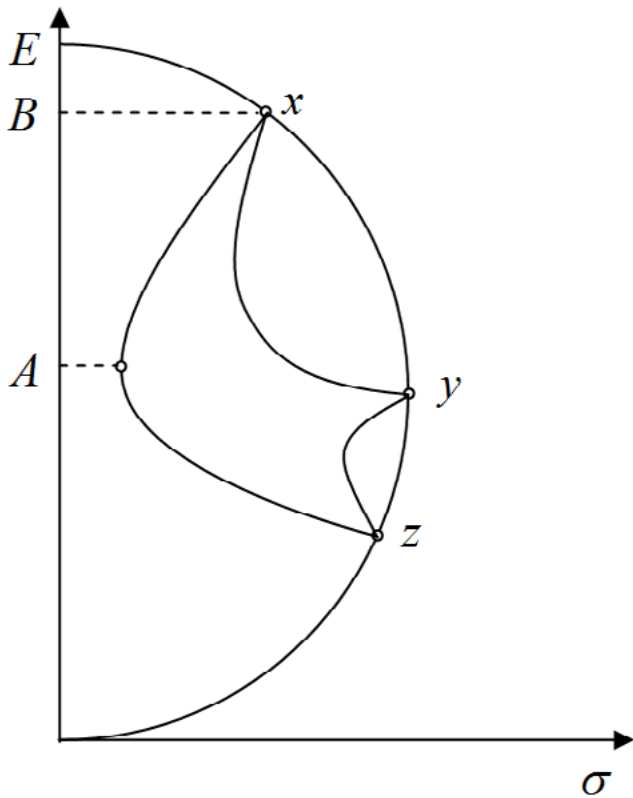


Рис. 5 - Образ отображения некоторого триплета событий в плоскость  $(\sigma, E)$ .

Проанализировав рис. 5, можно сделать вывод, что наиболее эффективным будет инвестиция всего объема в наиболее «действенное» событие-барьер. Однако в случае если он не сработает – объект останется без защиты. Об «опасности» такого вложения ресурсов свидетельствует высокое значение средне-квадратичного отклонения (СКО). Второй альтернативой является выбор точки с наименьшим СКО (точка B на рисунке). Однако в этом случае происходит падение эффективности защиты за счет того, что события-барьеры  $\{x, y\}$  в данном примере имеют низкую вероятность «срабатывания».

Дополнительную сложность вносит тот факт, что с точки зрения Федерального закона [1], некоторые барьеры должны в обязательном порядке «присутствовать» на объекте. Таким образом, возникает некоторое множество граничных условий L, которым должны дополнительно удовлетворять инвестиции в барьерные события. С учетом вышесказанного, образ отображения иллюстрирует рис. 6:

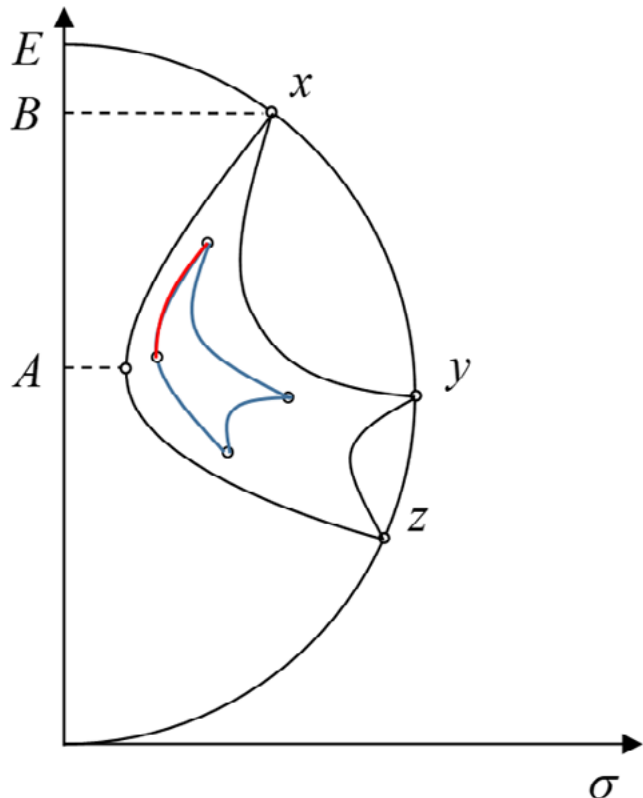


Рис. 6 - Образ отображения некоторого триплета событий в плоскость  $(\sigma, E)$ , с учетом граничных условий L.

На рис. 6 красным выделен участок наилучших по [8] наборов инвестиций в события-барьеры. Поскольку согласно [2] реальные вероятности наступления событий-барьеров близки к 1, то задачу выбора наиболее эффективного пакета инвестиций, с учетом L можно с достаточной точностью свести к задаче определения точки с наибольшей эффективностью (вершина криволинейного треугольника на рис. 5).

Таким образом, можно заключить, что приведенное выше случайно-событийное уравнение позволяет достаточно полно описать противопожарное состояние некоторого реального объекта. Для определения конкретных значений величин, указанных в [1], в том числе, вероятность гибели субъекта от события «пожар», вероятность пожарной опасности рассматриваемого объекта, вероятность гибели субъекта при пожаре на объекте, вероятность выхода из строя совокупного барьера могут быть применены специализированные для этих задач прикладные математические аппараты. Например, определение степени пожарной опасности, динамики развития взрыва, опасных факторов пожара, расчет времени эвакуации людей при пожаре, нахождение значения дисперсии горючих газов и концентрации паров пожаровзрывоопасных жидкостей и другие. Очевидно, что применение наиболее со-

временных, точных и эффективных методик расчетов позволяет максимизировать достоверность полученных результатов.

### Литература

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Текст]: Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ // Собрание законодательства. – 2008. – №30, (28 июля). – Ст. 3579.
2. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Текст]: Приказ МЧС РФ от 30 июня 2009 г. №382 // ВНИИПО. – 2014. – С. 226.
3. Бакиров И.К. Совершенствование методов оценки пожарных рисков объектов с твердыми горючими материалами [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.26.03) / Бакиров Ирек Климович; ФГБОУ Уфимский гос. нефт. тех. университет. – Уфа, 2012. – 24 с.
4. Брушлинский, Н.Н. Пожарные риски [Текст]: В 4-х вып. / Н.Н. Брушлинский, Ю.М. Глуховенко, В.Б. Коробко, С.А. Лупанов, Е.А. Клепко; Нац. Акад. наук пож. Без. РФ. – М., 2004. Вып. 1: Основные понятия – 55 с.
5. Воробьев, О.Ю. Эвентология [Текст]: / О.Ю. Воробьев. – Красноярск: СФУ, 2007. – 435с.
6. Воробьев, О.Ю. Структурный сет-анализ зависимостей случайных событий [Текст]: / О.Ю. Воробьев, Е.Е. Голденюк. – Красноярск: КрасГУ, 2004. – 106 с.
7. Ларичев, О.И., Мечитов, А.И., Ребрик, С.Б. Анализ риска и проблемы безопасности [Текст]: / О.И. Ларичев, А.И. Мечитов, С.Б. Ребрик. – М.: ВНИИСИ, 1990. – 60с.
8. Новоселов А.А., Измеримость случайного множества событий // Финансово-актуарная математика и эвентология многомерной статистики: труды XIII междунар. конф. (Красноярск, 24 – 26 апр. 2014 г.). - Красноярск, 2014. – С. 200-201.
9. Cline P.V. The Merging of Risk Analysis and Adventure Education // Wilderness Risk Management. – 2015. №5 P. 43–45.