

Управление пожарным риском в естественных условиях и на технических объектах

Новоселов Аркадий Арсеньевич

Сибирский Федеральный Университет
Институт математики
Научно-исследовательский институт противопожарной безопасности
Красноярск
arcady@novosyolov.ru

Аннотация. В работе рассмотрены некоторые методы расчета риска повреждения в результате пожара для объектов различной физической природы и геометрических характеристик, а также математические модели управления пожарным риском.

Ключевые слова. Риск, опасность, карта риска, барьер, измерение риска, управление риском.

1 Введение

Проблема вычисления пожарного риска имеет давнюю историю, и во многом решена с доведением до методик, используемых в практической деятельности, и даже до программных продуктов. Можно упомянуть, например, работы [1], [3] и многие другие. Управлению пожарным риском уделялось существенно меньшее внимание. Так, в принятом стандарте [4] риск описывается в виде вероятности повреждения в результате пожара, или в виде математического ожидания понесенного ущерба, без учета изменчивости, что существенно снижает качество управления риском.

В настоящей работе описываются некоторые вероятностные и детерминированные модели распространения пожарного риска, способы количественной оценки пожарного риска, а также предлагаются подходы к управлению пожарным риском на основании известных моделей распространения пожара в различных средах (природных и инженерных) и представления мероприятий пожарной безопасности в виде некоторого барьера.

2 Модели распространения

Среди моделей распространения пожара наиболее известны вероятностные модели [1], основанные на теории случайных множеств, и детерминированные модели [3], основанные на уравнениях газо- и термодинамики.

Вероятностные модели обычно устроены следующим образом. На правильной дискретной сетке задаются вероятности перехода пожара на соседние узлы, что позволяет по заданному очагу возгорания строить вероятностный прогноз распространения пожара

с течением времени. Прогноз в большинстве случаев строится методом Монте Карло, то есть, методом статистического разыгрывания. В некоторых простейших случаях удается получить решение и в замкнутой форме. Вероятности перехода могут быть как постоянными, так и меняться в зависимости от направления перехода и от текущего положения. Это может быть связано с имеющейся информацией о направлении ветра, воспламеняемости материалов в различных участках, еще не охваченных пожаром, и тому подобных обстоятельств.

Детерминированные модели используют дифференциальные уравнения в частных производных для описания массопереноса, распространения тепла, волн и прочих динамических процессов. Прогноз по таким моделям при использовании мелких сеток, особенно нестандартной конфигурации, может потребовать значительных вычислительных ресурсов. Настройка таких моделей обычно осуществляется по шаблонам, полученным в ходе натуральных экспериментов.

В первом приближении можно считать, что вероятностные модели лучше приспособлены для описания относительно медленных процессов, протекающих на значительных территориях, скажем, лесных пожаров. Детерминированные модели, в свою очередь, лучше описывают быстротекущие процессы в зданиях и сооружениях, особенно, связанные со взрывами.

3 Карты риска

На основании моделей распространения пожара можно строить карту риска данной территории или инженерного объекта. Например, на географической карте выбранной территории по имеющей статистической информации несложно дать количественные оценки вероятности возникновения пожара в типичных очагах, после чего с помощью моделей распространения "перенести" вероятность поражения пожаром на все элементы карты.

В рамках вероятностной модели распространения пожара эту процедуру можно формализовать следующим образом. Обозначим X множество точек плос-

кости, образующих правильную прямоугольную сетку. Эту сетку можно трактовать, как дискретное представление карты местности. Далее, обозначим $T = \{0, 1, \dots\}$ совокупность дискретных моментов времени. Для каждого момента времени $t \in T$ заданы следующие параметры: функция

$$P_t : X \rightarrow [0, 1], \quad (1)$$

значение которой в точке $x \in X$ имеет смысл вероятности возникновения пожара в точке $x \in X$ в момент времени $t \in T$, а также векторно-значная функция $Q_t : X \rightarrow [0, 1]^4$, координаты значений которой

$$Q_t(x) = (p_t^u(x), p_t^d(x), p_t^r(x), p_t^l(x)) \quad (2)$$

обозначают вероятности возгорания точек сверху, снизу, справа и слева от x в *следующий* момент времени $t + 1$ при условии, что в *текущий* момент времени t точка x захвачена пожаром. При этом предполагается, что за один шаг во времени пожар может распространиться не более, чем на один шаг по пространству, хотя допускается одновременное распространение по нескольким направлениям.

Развитие пожара с течением времени описывается с помощью последовательного применения вероятностного оператора (2) на каждом шаге по времени. Точнее этот процесс можно записать в следующем виде. Обозначим $l(x), r(x), u(x), d(x)$ точки из X , лежащие слева, справа, сверху и снизу от $x \in X$, соответственно. Далее, обозначим $R_\tau(x, y)$ вероятность распространения пожара из начальной точки x в точку y за время τ . Точнее, $R_\tau(x, y)$ — это вероятность того, что в момент времени τ точка y будет захвачена пожаром *при условии*, что в момент времени 0 пожаром была захвачена *единственная* точка x . Тогда распространение пожара из начальной точки x можно описать посредством процесса

$$R_{\tau+1}(x, y) = p_r R_\tau(x, l(y)) + p_l R_\tau(x, r(y)) + p_u R_\tau(x, d(y)) + p_d R_\tau(x, u(y)), \quad (3)$$

где y пробегает все множество X . Вероятностное распределение на X , полученное после t шагов процесса (3), можно назвать контуром пожара по истечении t моментов времени.

Карту риска пожара можно создать следующим образом. В качестве очагов возникновения пожара выбираем подмножество точек $X_0 \subset X$, не слишком плотно заполняющее X . Последнее условие обеспечивает малую вероятность достижения пожаром точек сетки из двух и более очагов одновременно, что позволяет приближенно считать такие события несовместными. По имеющимся наблюдениям строим оценки вероятности возникновения пожара в узлах $x \in X_0$. Пожары, возникавшие в точках не из X_0 , приписываем ближайшим узлам из X_0 . Далее, фиксируем некоторый временной горизонт карты $t \in T$,

и для каждого $x \in X_0$ строим контур пожара по формулам (3) для $\tau = 0, 1, \dots, t - 1$. Если некоторые контуры, соответствующие различным очагам $x_1, x_2 \in X_0$, все же пересекаются, в качестве значения вероятности $R_t(y)$ захвата пожара точек y из пересечения выбираем наибольшую из вероятностей $R_t(x_1, y), R_t(x_2, y)$.

Детерминированные модели распространения пожара [3] используются аналогичным образом для описания распространения пожара от сформированных источников с учетом вероятностей возникновения пожара (1).

Итоговую карту риска можно представить в виде цветной или полутоновой картинкой, в которой (цвет) интенсивность раскраски точки y зависит от значения $R_t(y)$.

Для последующего использования в процедурах принятия решений полезно подготовить некоторый интегральный показатель риска, например, максимальное значение вероятности захвата пожаром среди всех точек $y \in X$, или взвешенное среднее значение этих вероятностей

$$S_t = \sum_{y \in X} w(y) R_t(y), \quad (4)$$

где веса w неотрицательны и удовлетворяют условию нормировки

$$\sum_{y \in X} w(y) = 1. \quad (5)$$

Значениями весов можно отрегулировать различную важность различных точек местности с точки зрения пожарной безопасности, например, точкам, расположенным в населенных пунктах и вблизи них можно приписать больший вес.

4 Управление риском

Управление пожарным риском целесообразно осуществлять силами экспертов в данной области с информационной поддержкой с помощью представленных здесь моделей.

Сама процедура управления обычно сводится к поиску путей наилучшего использования имеющегося бюджета, причем, в качестве критерия для сравнения различных способов используются те или иные количественные показатели пожарной безопасности. Примером такого показателя может служить взвешенный риск пожарной опасности (4), который желательно сделать по возможности меньшим.

Более продвинутый пример, в котором учитывается не только факт пожара, но и его экономические последствия, строится следующим образом. Обозначим

$$V(x), \quad x \in X \quad (6)$$

убыток, который наносит пожар в случае его распространения до узла x . Это может быть как стоимость имущества, расположенного в этой части местности, и погибающего в результате пожара, так и стоимость восстановительных работ, которые необходимо провести для ликвидации последствий пожара. Косвенным образом можно учесть здесь и вред здоровью и жизни людей, причиненный произошедшим пожаром. При этом критерием может служить ожидаемый размер убытка

$$S_t^{(1)} = \sum_{y \in X} V(y)R_t(y). \quad (7)$$

Поскольку среднее значение убытка не отражает индивидуального отношения к риску [2], в частности, не учитывает неприятие риска, присущее большинству людей, можно развить критерий в направлении учета неприятия риска. Сделать это можно несколькими способами. Один из них состоит во введении функции полезности

$$U : R \rightarrow R \quad (8)$$

и рассмотрении вместо (6) следующего критерия

$$S_t^{(2)} = \sum_{y \in X} U(-V(y))R_t(y). \quad (9)$$

Этот критерий называется ожидаемой полезностью, и при выполнении некоторых условий для функции U отражает неприятие риска [2].

Возможно использование и других критериев вместо (4), (7), (9) в зависимости от конкретных условий задачи. Мы не будем здесь подробнее останавливаться на этих вопросах, которые освещены, например, в [2].

Перейдем к процедуре оптимизации. В задачах управления пожарным риском редко удается представить множество управляющих воздействий в виде, удобном для формальной оптимизации. Поэтому наиболее распространенным методом оптимизации является перебор некоторого, относительно небольшого, количества сценариев управляющих воздействий. Сами эти сценарии, оценка стоимости их реализации, а также оценка эффективности реализации (снижение вероятностей возгорания, распространения, или снижение стоимости повреждений) производится экспертным путем.

Таким образом, процедура оптимизации заключается в следующем. Основываясь на имеющемся бюджете, эксперт разрабатывает комплекс мер по изменению конфигурации противопожарных средств, закупке дополнительного оборудования, размещению средств пожаротушения и прочих действий, направленных на снижение вероятности неблагоприятных событий, или на уменьшение потенциального размера ущерба в результате реализации неблагоприятных событий. Такие меры служат своего рода *барьерами*

на пути распространения пожарной опасности. Для данного комплекса мер вычисляется значение выбранного критерия S , $S^{(1)}$ или $S^{(2)}$. Затем разрабатывается другой комплекс (сценарий), для него вся процедура повторяется, и т.д. После разработки нескольких сценариев производится сравнение вычисленных значений критериев, в результате отбирается наилучший сценарий, который и принимается к реализации.

5 Заключение

В работе рассмотрены некоторые известные методы моделирования распространения пожара в открытых пространствах и в сооружениях, предложены методы количественной оценки риска, связанного с пожарной опасностью, а также способы управления риском, основанные на предлагаемых методах оценки риска. Отмечается, что меры по укреплению пожарной безопасности с удобно интерпретировать как *барьеры*.

Благодарности

Автор выражает свою искреннюю признательность профессорам Сергею Петровичу Амельчугову и Олегу Юрьевичу Воробьеву за плодотворное обсуждение результатов работы, послужившее выработке многих ее идей.

Список литературы

- [1] О.Ю. Воробьев. *Среднемерное моделирование*. Наука, М., 1984.
- [2] А.А. Новоселов. *Математическое моделирование финансовых рисков. Теория измерения*. Наука, Новосибирск., 2001.
- [3] С.В. Пузач. *Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности*. МЧС РФ, М., 2005.
- [4] *Менеджмент риска. Процедуры управления пожарным риском на предприятии*. Стандартиформ, М., 2010.

Arcady Arsenievich Novosyolov (Krasnoyarsk,
Russia)

**Fire Risk Control in Natural and Artificial
Obejects**

Abstract. *The paper discusses some methods of fire risk calculation for different natural and artificial objects, and suggests mathematical models for fire risk control.*

Keywords. *Risk, danger, risk map, barrier, risk measuring, risk control.*