

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ РИСКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТЫ, ПРИЛЕГАЮЩИЕ К СТРОИТЕЛЬНЫМ ПЛОЩАДКАМ

© 2020 В. А. Чертов, А. В. Падалко, Д. Е. Орлова

*Воронежский государственный технический университет (Воронеж, Россия)
Воронежский институт ФСИИ России (Воронеж, Россия)*

Описывается алгоритм оценки риска распространения пожаров на объекты, прилегающие к строительным площадкам. Риск отождествляется с вероятностями наступления неблагоприятных событий. Для построения алгоритма использован математический аппарат дискретных цепей Маркова с двенадцатью состояниями, два из которых являются поглощающими. Для вычисления переходных вероятностей предложено использовать стандартную экспертную методику. Алгоритм может найти применение в органах, осуществляющих контроль экологической безопасности при организации производства строительных работ.

Ключевые слова: риск, строительство, пожар, вероятность, алгоритм.

Введение. В процессе организации строительных работ проблема оценки риска распространения пожаров на объекты, прилегающие к строительным площадкам, имеет особую значимость. Особую важность эта проблема приобретает в местах плотной городской застройки, в парковых и лесных зонах, а также, когда речь идет о строительстве объектов с повышенным уровнем пожарной опасности (заправочным станциям, хранилищам горючего и т. п.). Согласно действующему законодательству [1-4] она решается на основе использования экологических норм и стандартов путем реализации типового цикла, включающего следующие этапы [5]:

1) определение и идентификация вероятных источников пожарной опасности на строительных площадках и примыкающим к ним территориям;

2) выявление возможных путей распространения пожаров на территории и объекты, примыкающие к строительным площадкам, и построение вероятных сценариев развития пожаров;

3) оценка возможностей средств предупреждения и пожаротушения и их готовности выполнять возложенные функции;

4) сбор и подготовка статистических данных по параметрам пожаров на идентичных

объектах строительства и их распространения на прилегающие объекты;

5) оценку риска распространения пожаров, предусматривающую обобщение данных, полученных на предшествующих этапах, и собственно проведение расчетов.

Конструктивность такого подхода неоднократно подтверждена на практике. Вместе с тем следует отметить, что расчеты по оценке риска традиционно осуществляются с использованием простейших формул теории вероятности, что не всегда адекватно динамике распространения пожаров. Отмеченное обстоятельство вынуждает изыскивать новые подходы к решению этой задачи, которые, с одной стороны, вписывались в общий цикл и допускали учет нормативной и статистической информации, а с другой стороны, позволяли получать количественные оценки рисков с учетом вероятной динамики распространения пожаров.

Цель статьи заключается в разработке алгоритма оценки риска распространения пожаров на объекты, прилегающие к строительным площадкам, с учетом динамики этого процесса и его реализации в виде программного комплекса.

Основные теоретические положения. Первое положение заключается в том, что риск возникновения и распространения пожаров непосредственно связывается с вероятностями наступления неблагоприятных событий, а именно:

- созданием условий для возгорания объектов на стройплощадке (S_{11});

- возгоранием объектов непосредственно на строительной площадке (S_{12});

Чертов Вячеслав Алексеевич – Воронежский государственный технический университет, к.т.н., доцент. E-mail: cva.57@yandex.ru

Падалко Александр Васильевич – Воронежский государственный технический университет, аспирант.

Орлова Дарья Евгеньевна – Воронежский институт ФСИИ России, адъюнкт.

- наличием условий для распространения пожара на объекты, находящиеся на территории, примыкающей к стройплощадке (S_{13});
- распространением пожара на территории, примыкающие к строительной площадке (S_{14});
- наличие условий для возгорания объектов, находящихся на окружающей территории (S_{15});
- возгоранием этих объектов (S_{16}).

Второе положение сводится к тому, что указанные события совместно с противоположными им событиями (отсутствием условий для возгорания объектов на стройплощадке – S_{21} , не возгоранием объектов непосредственно на строительной площадке – S_{22} , отсутствием условий для распространения пожара на объекты, находящиеся на территории, примыкающей к стройплощадке – S_{23} , не распространением пожара на территории, примыкающие к строительной площадке – S_{24} , отсутствием условий для возгорания объектов, находящихся на окружающей территории – S_{25} и не возгоранием этих объектов – S_{26}) трактуются как состояния общего стохастического процесса возникновения и распространения пожара на территории, прилегающей к строительным площадкам. Согласно этому положению динамика моделируемого процесса может быть представлена в виде графа, изображенного на рисунке 1.

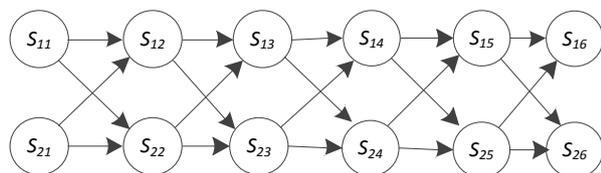


Рисунок 1. Графическое представление процесса возникновения и распространения пожара на объекты, прилегающие к строительным площадкам

Третье положение заключается в том, что в качестве математического аппарата,

Экспертные оценки вероятностей $p_{1(i-1)}^i, p_{2(i-1)}^i$

формализующего описанный выше процесс, используется дискретная цепь Маркова с двенадцатью состояниями $S_{1i}, S_{2i} (i = \overline{1,6})$, два из которых S_{16} и S_{26} , являются поглощающими. В предположении, что каждое состояние процесса зависит только от состояний непосредственно ему предшествующих, для расчета этих вероятностей можно использовать рекуррентную формулу:

$$P_{1i} = [P_{1(i-1)}p_{1(i-1)}^i + P_{2(i-1)}p_{2(i-1)}^i], i = \overline{2,6} \quad (1)$$

при начальных условиях $P_{11} = P_{11}^*, P_{21} = P_{21}^*$ и нормировочном условии $p_{1(i-1)}^i + p_{2(i-1)}^i = 1$, где P_{1i}, P_{2i} – вероятности нахождения процесса в состояниях S_{1i}, S_{2i} , соответственно, а $p_{1(i-1)}^i, p_{2(i-1)}^i$ – вероятности переходов процесса из состояний $S_{1(i-1)}, S_{2(i-1)}$ в состояния S_{1i}, S_{2i} .

Вероятности переходов $p_{1(i-1)}^i, p_{2(i-1)}^i$ рассматриваются как нормативные данные, которые задаются конкретно для каждого процесса, например, используя данные, представленные в [6,7]. В том случае, когда такие данные отсутствуют оценка вероятностей $p_{1(i-1)}^i, p_{2(i-1)}^i$ осуществляется экспертным методом по методике, изложенной ниже.

Экспертная методика оценки переходных вероятностей.

Шаг 1. Получение экспертных оценок. Пусть с целью оценки качества некоторого проекта сформирована экспертная группа в составе N специалистов. Экспертам предложено давать оценки $p_{1(i-1)}^i, p_{2(i-1)}^i$ по градациям: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «плохо», «очень плохо», используя шкалу $[0,1]$ – (1-высшая, 0-низшая оценка). Полученные оценки для каждого $p_{1(i-1)}^i, p_{2(i-1)}^i$ сводим в таблицу 1.

Таблица 1

Градации ($g = 1-5$):	Номер эксперта (n)						
	1	2	3	4	5	...	N
«отлично»							
«хорошо»							
«удовлетворительно»							
«плохо»							
«очень плохо»							

Шаг 2. Сближение мнений экспертов и корректировка результатов экспертизы. Оценкам каждого эксперта присваиваем порядковые номера в соответствии с убыванием их значений, то есть наиболее высокая оценка получает первый номер, а наименьшая – наибольший. В том случае, если все оценки n -го эксперта по градации g различны, то ранги оценок совпадают с числами натурального ряда от 1 до N . Если же для некоторых градаций оценки экспертов совпадают, то им присваиваются ранги, равные среднему арифметическому соответствующих чисел натурального ряда. Вычисляем сумму рангов S_g по g -й градации:

$$S_g = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N R_{ng} \quad (2)$$

где R_{ng} – ранг оценки, данный n -м экспертом по g -й градации.

Рассчитываем среднее значение сумм рангов:

$$\bar{S} = 0,25 \sum_{g=1}^5 S_g \quad (3)$$

Определяем коэффициент конкордации, изменяющийся от 0 до 1, который характеризует уровень согласованности мнений экспертов (причем 0 соответствует полной несогласованности, а 1 соответствует полной согласованности):

$$W = 0,1 \sum_{g=1}^5 \frac{(S_g - \bar{S})^2}{N^2} \quad (4)$$

Если величина W меньше 0,5, то результаты экспертизы признаем неудовлетворительными и определяем коэффициенты парной ранговой корреляции ρ_{ik} , характеризующие попарный уровень согласованности мнений экспертов:

$$\rho_{jk} = \frac{6 \sum_{i=1}^N (R_{ij} - R_{jk})^2}{N(N^2 - 1)} \quad (5)$$

где R_{ij}, R_{ik} – ранги попарных оценок i -го и j -го экспертов/

Результаты расчетов сводим в таблицу 2.

Таблица 2

Коэффициенты парной ранговой корреляции

	1 эксперт	2 эксперт	...	N эксперт
1 эксперт	0			
2 эксперт		0		
3 эксперт				
4 эксперт				
5 эксперт				
...			0	
N эксперт				0

Коэффициенты парной ранговой корреляции ρ_{ik} должны находиться в пределах от -1 до +1. Если $\rho_{ik} = 1$, то мнения j -го и k -го экспертов полностью совпадают; при $\rho_{ik} = -1$ – противоположны.

Отрицательные значения коэффициентов парной корреляции свидетельствуют о слишком больших разногласиях между экспертами, что может означать или неудачно подобранный состав группы экспертов или нечетко поставленную им задачу. В этом случае проводим реформирование группы экспертов, уточняем задачи экспертизы и повторяем шаги 1 и 2. Такой циклический процесс осуществляем до тех пор, пока не удастся получить согласованное мнение экспертов.

Шаг 3. Вычисление экспертной оценки величин $P_{1(i-1)}^i, P_{2(i-1)}^i$. Используя согласованные данные табл. 1, для каждого $P_{1(i-1)}^i, P_{2(i-1)}^i$ вычисляем их средние значения по g -ой градации:

$$p_g^k = 0,25 \sum_{n=1}^N p_{gn}^k \quad (6)$$

где N – число экспертов; k – порядковый номер вероятностей $P_{1(i-1)}^i, P_{2(i-1)}^i$ ($k = 1, \dots, 20$).

Затем задаемся весом каждой градации v_g ($g = \overline{1,5}$), например, 0,8; 0,6; 0,4; 0,2; 0,1 для градаций «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «плохо», «очень плохо», соответственно, и по формуле:

$$p_k = \frac{1}{N} \left(\sum_{g=1}^5 v_g p_g^k \right) \quad (7)$$

вычисляем экспертные оценки величин $P_{1(i-1)}^i, P_{2(i-1)}^i$.

Сущность алгоритма. Разработанный с учетом приведенных выше положений, алгоритм оценки риска распространения пожаров на объекты, прилегающие к строительным площадкам, представлен на рисунке 2.

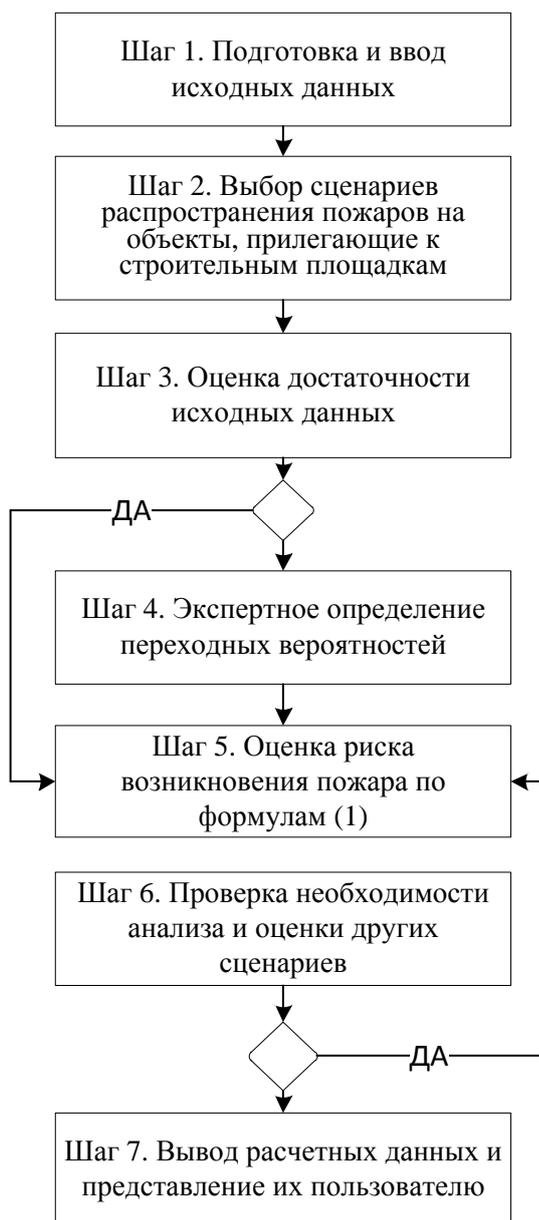


Рисунок 2. Алгоритм оценки риска распространения пожаров на объекты, прилегающие к строительным площадкам

В соответствии с этим алгоритмом расчеты проводятся пошагово.

Шаг 1. Подготовка и ввод исходных данных.

Шаг 2. Выбор сценариев распространения пожаров на объекты, прилегающие к строительным площадкам. По результатам выбора осуществляется означивание графа рис.1 с указанием конкретных объектов, как на стройплощадке, так и на прилегающей территории.

Шаг 3. Оценка достаточности исходных данных, прежде всего касающихся вероятностей переходов $P_{1(i-1)}^i, P_{2(i-1)}^i$. Если исходных данных достаточно для проведения расчетов, то переходим к шагу 5. В противном случае переходим к шагу 4.

Шаг 4. Экспертное определение переходных вероятностей $P_{1(i-1)}^i, P_{2(i-1)}^i$ с использованием описанной выше методики.

Шаг 5. Оценка риска распространения пожара по формулам (1).

Шаг 6. Проверка необходимости анализа и оценки других сценариев. При возникновении такой необходимости осуществляется переход к шагу 5. В противном случае – переход к шагу 7.

Шаг 7. Вывод расчетных данных и представление их пользователю. Вид выходного интерфейса для одного сценария представлен на рисунке 3.

Оценка риска	
Тип риска	Вероятность
Риск создания условий для возгорания объектов на стройплощадке	0,23
Риск возгорания объектов непосредственно на строительной площадке	0,12
Риск наличия условий для распространения пожара на объекты, находящиеся на территории, примыкающей к стройплощадке	0,32
Риск распространения пожара на территории, примыкающие к строительной площадке	0,80
Риск наличия условий для возгорания объектов, находящихся на окружающей территории	0,55
Суммарный риск распространения пожара на объекты, примыкающие к строительным площадкам	0,63

Рисунок 3. Выходной интерфейс алгоритма оценки риска распространения пожаров на объекты, прилегающие к строительным площадкам

Реализация алгоритма. Программно алгоритм исполнен в интегрированной среде TURBO PASCAL с применением процедур и функций VISUAL BASIC и C++, ориентированных на создание приложений под

управлением Windows 10: тип – интерактивный, информационно-расчетный; требования к компьютеру – процессор 2,8ГГц, 512 MB RAM, CD ROM, ОС Windows 10 32-bit SP1, Office 2010, Access 2010; количество программных блоков – 250 с объемом – 1120 MB; форма отображения данных – текстовая, табличная; тип базы данных – реляционная на основе Access 2010; сервисы – защита от несанкционированного доступа, обучение пользователя, подключение к локальной сети.

Заключение. Разработанный алгоритм оценки риска распространения пожаров на объекты, прилегающие к строительным площадкам, В отличие от известных алгоритмов подобного типа он базируется математическом аппарате дискретных цепей Маркова с двенадцатью состояниями, два из которых являются поглощающими. Для вычисления переходных вероятностей предложено использовать стандартную экспертную методику. Алгоритм доведен до компьютерной реализации и может найти применение в органах, осуществляющих контроль экологической безопасности при организации производства строительных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. N 69-ФЗ «О пожарной безопасности» (с изменениями и дополнениями).

2. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (с изменениями и дополнениями).

3. ГОСТ Р 51901.10-2009/ISO/TS 16732:2005 Менеджмент риска. Процедуры управления пожарным риском на предприятии.

4. СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2).

5. Пожарная безопасность в строительстве: учебник в 2ч. Ч.2: П46 Пожарная профилактика на объектах защиты / В. М. Ройтман, Д. А. Самошин, С. В. Томин и др. под общ. ред. Б. Б. Серкова. – М: Академия ГПС МЧС России, 2016. – 480 с.

6. Беляев А. В. Пожарная безопасность в строительстве. Методические рекомендации по проверке соответствия архитектурно-строительных и инженерно-технических решений проектов зданий противопожарным требованиям строительных норм и правил / А. В. Беляев, В. Н. Демехин, В. П. Крейтор Под общ. ред. В.С. Артамонова. – С.-П.: СПб ИГПС МЧС РФ, 2003. – 310 с.

7. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий. – М.: ВНИИПО, 2006. – 93 с.

ALGORITHM FOR ASSESSING THE RISK OF FIRE SPREADING TO OBJECTS ADJACENT TO CONSTRUCTION SITES

© 2020 V. A. Chertov, A. V. Padalko, D. E. Orlova

Voronezh State Technical University (Voronezh, Russia)

Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia (Voronezh, Russia)

An algorithm for assessing the risk of fire spreading to objects adjacent to construction sites is described. Risk is identified with the probability of occurrence of adverse events. To construct the algorithm, the mathematical apparatus of discrete Markov chains with twelve states, two of which are absorbing, is used. To calculate the transition probabilities, it is proposed to use a standard expert method. The algorithm can be used in the bodies that control environmental safety in the organization of construction works.

Keywords: risk, construction, fire, probability, algorithm.