

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ ПОЖАРОВ В ЗДАНИЯХ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ОТ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И АДМИНИСТРАТИВНО-ПРАВОВЫХ ФАКТОРОВ

Ю. Н. Зенин, С. Н. Тростянский

На основе модели рационального правонарушителя представлены алгоритмы расчета вероятности возникновения пожаров в зданиях производственного назначения в зависимости от статистически измеряемых экономических и административно-правовых факторов. При этом используется алгоритм, позволяющий оценить долю нарушителей требований пожарной безопасности среди собственников хозяйственных объектов на определенной территории в определенный временной период, которым выгодно экономить на нарушениях требований пожарной безопасности при действующих экономических условиях, а также алгоритм оценки средней величины такой экономии. На основе предложенных алгоритмов проведена оценка вероятности возникновения пожаров в зданиях производственного назначения при изменении величины штрафных санкций за нарушение требований пожарной безопасности. Показано применение алгоритмов для определения указанных параметров на примере статистических данных, полученных в Воронежской области.

Ключевые слова: математическое моделирование, пожарная безопасность, вероятность возникновения пожаров, алгоритм оценки параметров модели, модель рационального правонарушителя.

Введение. Математическая модель с экономическим подходом, позволяющая оценить зависимости вероятности возникновения пожаров на объектах от административно-правовых факторов, представлена в работе [1]. В рассмотренной модели в качестве административно-правовых факторов, помимо возможных убытков от пожаров в случае их возникновения, рассматривались штрафные санкции за несоблюдение требований пожарной безопасности собственниками объектов. К таким факторам относится существенное увеличение размеров административных штрафов, накладываемых на граждан, должностных лиц и юридических лиц за нарушение требований пожарной безопасности с началом действия Федерального закона «О внесении изменений в Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях по вопросам пожарной безопасности» от 03.06.2011 № 120-ФЗ.

В настоящее время МЧС России планирует полностью вывести из-под своего надзора в обла-

сти пожарной безопасности предприятия малого и среднего бизнеса, а также установить для них «каникулы», освободив от проверок на пять лет [2]. Значительная доля объектов малого и среднего бизнеса приходится на здания производственного назначения. Представляет интерес оценить, используя математическую модель вероятности возникновения пожаров с экономическим подходом, как административные изменения штрафных санкций отразятся на вероятности возникновения пожаров для зданий производственного назначения. Для применения указанной модели и расчета ее параметров воспользуемся статистическими данными [3] для зданий производственного назначения Воронежской области.

Теоретические расчеты и результаты. Причины пожаров, связанные с человеческим фактором и относящиеся к профилируемым ГПС МЧС России, составляют [4] более 70 % от общего количества пожаров. Полагая линейную зависимость количества таких пожаров от общего количества зданий производственного назначения с нарушениями требований пожарной безопасности, выражение для вероятности возникновения пожаров на таких объектах в определенный интервал времени с учетом статистического определения частоты пожаров согласно модели [1] можно записать как

$$p = p_n + p_p = p_n + kC, \quad (1)$$

где k — региональный коэффициент пропорциональности между вероятностью пожаров в зданиях

Зенин Юрий Николаевич, начальник Воронежского института ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, e-mail: vigps@mail.ru
Тростянский Сергей Николаевич, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры физики, Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, тел.: (473)236-33-05; e-mail: trostyansky2012@yandex.ru

производственного назначения, обусловленных профилируемыми факторами, и долей C среди объектов, собственники которых нарушают требования пожарной безопасности; p_n, p_p — вероятности возникновения пожаров за счет соответственно не профилируемых и профилируемых ГПС факторов.

Расчет экономического множителя C , отражающего экономическое представление хозяйствующих субъектов о целесообразности нарушения требований пожарной безопасности и определяющего долю собственников объектов, которым выгодно экономить средства за счет несоблюдения названных требований, проведен на основе экономической модели рационального правонарушителя [1]:

$$C = \int_{fH}^{\infty} \int_0^{\frac{(1-p)(b-fH)}{p}} \rho_{\mu, \sigma_u}(u) \rho_{\eta, \sigma_b}(b) du db, \quad (2)$$

$$\rho_{\mu, \sigma_u}(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_u}u} \exp\left\{-\frac{[\ln(u) - \ln(\mu)]^2}{2\sigma_u^2}\right\},$$

$$\rho_{\eta, \sigma_b}(b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_b}b} \exp\left\{-\frac{[\ln(b) - \ln(\eta)]^2}{2\sigma_b^2}\right\},$$

где $\rho_{\mu, \sigma_u}(u)$ — плотность логнормально распределенной случайной величины u потерь собственников объектов от одного пожара; μ — медианное значение для соответствующего распределения величины потерь от одного пожара; σ_u — дисперсия для нормального распределения логарифма величины потерь от одного пожара $\ln(u)$; $\rho_{\eta, \sigma_b}(b)$ — плотность логнормально распределенной случайной величины b прибыли собственников объектов за год от экономии на несоблюдении требований пожарной безопасности с медианным значением η для соответствующего распределения и дисперсией σ_b для нормального распределения $\ln(b)$; f — вероятность штрафных санкций для нарушителей требований пожарной безопасности за год; H — среднее значение величины штрафных санкций, накладываемых на нарушителей требований пожарной безопасности [1].

На основе анализа временного ряда данных ГПС МЧС по Воронежской области за 2002—2012 годы согласно модели [1], применяя статистический пакет SPSS, для динамики вероятности возникновения пожаров в зданиях производственного назначения получено выражение:

$$p(t) = p_n + p_p(t_0) \exp[-\lambda(t - t_0)] = 0,172 \cdot \exp[-0,129(t - t_0)], \quad (3)$$

где λ — параметр, отражающий изменение микро-правовых факторов. Таким образом, параметры временного ряда в зданиях производственного назначения принимают значения

$$p_n(t_0) = 0,$$

$$p_p(t_0) = 0,172, \lambda = 0,129.$$

С учетом статистических данных ГПС МЧС вероятности возникновения пожаров в зданиях производственного назначения Воронежской области в 2010 и 2012 годах составляют соответственно $p_{2010} = 0,06233, p_{2012} = 0,04641$.

Принимая во внимание значения параметров, входящих в формулу (3), а также полагая неизменными величины региональных коэффициентов пропорциональности k_{2010} и k_{2012} для временного периода с 2010 по 2012 годы, отношение вероятностей возникновения пожаров в зданиях производственного назначения за счет профилируемых ГПС факторов с учетом (1) будет составлять

$$\frac{p_{2010} - p_n}{p_{2012} - p_n} = \frac{k_{2010} C_{2010}}{k_{2012} C_{2012}} = \frac{C_{2010}}{C_{2012}}. \quad (4)$$

Левая часть равенства (4) представляет экспериментальное значение, определяемое из статистических данных вероятности возникновения пожаров в зданиях производственного назначения по Воронежской области, и составляет 1,343.

Представим правую часть равенства (4) с учетом (2). Предполагая, что распределение величины потерь собственников объектов от пожаров и распределение доходов собственников от экономии на требованиях пожарной безопасности соответствует распределению общих доходов собственников соответствующих объектов, считаем, что в выражениях (2) дисперсия нормального распределения логарифма величины потерь от одного пожара равна дисперсии нормального распределения логарифма величины прибыли собственников объектов за год от экономии на несоблюдении требований пожарной безопасности, т. е. $\sigma_u = \sigma_b = \sigma$. В этом случае выражение (4) принимает вид

$$\left(\int_{fH_{2010}}^{\infty} \left(0,5 + 0,5 \operatorname{erf} \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} \times \ln \left[\frac{(1-p_{2010})(b-fH_{2010})}{p_{2010}\mu} \right] \right\} \right) \times \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}b} \cdot \exp \left(- \left[\frac{\ln b - \ln \eta}{\sqrt{2}\sigma} \right]^2 \right) db \right) \times \left(\int_{fH_{2012}}^{\infty} \left(0,5 + 0,5 \operatorname{erf} \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} \times \ln \left[\frac{(1-p_{2012})(b-fH_{2012})}{p_{2012}\mu} \right] \right\} \right) \times \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}b} \cdot \exp \left(- \left[\frac{\ln b - \ln \eta}{\sqrt{2}\sigma} \right]^2 \right) db \right)^{-1} = \frac{p_{2010} - p_n}{p_{2012} - p_n}, \quad (5)$$

где индекс «2010» относится к данным за 2010 год, а индекс «2012» — к данным за 2012 год; f — вероятность штрафных санкций за год для правонарушителя

лей, определяемая вероятностью инспекторской проверки объекта за год (считается, что при проверке инспектируемого объекта с нарушениями требований пожарной безопасности штрафные санкции неизбежны); μ — медианное значение убытков от пожаров в зданиях производственного назначения за 2009—2012 гг., определяемое по доказанным прямым убыткам от пожаров; η соответствует медианным значениям доходов собственников объектов от экономии на выполнении требований пожарной безопасности для зданий производственного назначения по Воронежской области в 2010 и 2012 годах.

На основании статистических данных ГПС МЧС России 2012 года [3], средняя вероятность проверок плановых и внеплановых в зданиях производственного назначения по Воронежской области за год составляет $f = 0,12$, среднее значение величины штрафов в зданиях производственного назначения для 2012 года — $H_{2012} = 11,746 \cdot 10^3$ руб., тогда величина $fH_{2012} = 1,417 \cdot 10^3$ руб. Статистические данные по штрафным санкциям для зданий производственного назначения за 2010 год в [3] не представлены. Для оценки величины убытков от штрафных санкций fH_{2010} для зданий производственного назначения Воронежской области за 2010 год воспользуемся тем, что по статистическим данным ГПС МЧС России известны средние значения величины штрафов за 2010 и 2012 годы для всех инспектируемых в Воронежской области объектов.

Считая, что отношение средних величин штрафов до и после введения в действие Федерального закона «О внесении изменений в Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях по вопросам пожарной безопасности» от 03.06.2011 № 120-ФЗ, для зданий производственного назначения в Воронежской области $H_{2010} / H_{2012} = z^{\text{произв}}$ такое же, как отношение средних величин штрафов для всех инспектируемых объектов Воронежской области

$$\frac{H_{2010}^{\text{инсп}}}{H_{2012}^{\text{инсп}}} = z^{\text{инсп}},$$

т. е. $z^{\text{инсп}} = z^{\text{произв}} = 0,209$, величину убытков от штрафных санкций в зданиях производственного назначения за 2010 год оцениваем как

$$fH_{2010} = z^{\text{произв}} fH_{2012} = 0,296 \cdot 10^3 \text{ рублей.}$$

По статистическим данным о величинах доказанных прямых убытков от пожара в зданиях производственного назначения в Воронежской области за период с 2009 по 2012 год была построена квантиль-диаграмма и ее тренд для логнормального закона распределения величин доказанных прямых убытков от пожара. Линия тренда имеет вид:

$$\ln(u) = 2,915 \cdot Z + 10,698, \quad (6)$$

при этом величина достоверности аппроксимации составляет $R^2 = 0,978$, что свидетельствует о корректности применения логнормального закона рас-

пределения для величин доказанных прямых убытков от пожаров. Устойчивость этого тренда дает основание использовать параметры этого распределения для определения параметров σ и μ в уравнении (5) для зданий производственного назначения Воронежской области в период с 2009 по 2012 гг. Из выражения (6) в уравнении (5) значение параметра $\sigma = 2,915$, а параметра

$$\mu = \exp(10,698) = 44,180 \cdot 10^3 \text{ руб.}$$

Из уравнения (5) с учетом найденных значений σ и μ численным методом было получено значение параметра $\eta = 172,28$ рубля, являющееся медианным значением величины прибыли от экономии на невыполнении требований пожарной безопасности собственниками зданий производственного назначения в Воронежской области в период 2010—2012 гг. Тогда среднее значение B соответствующей величины прибыли от экономии на невыполнении требований пожарной безопасности, определяемое как

$$B = \eta \cdot \exp\left[\frac{\sigma^2}{2}\right],$$

составляет $B = 12,060 \cdot 10^3$ рублей.

Из уравнения (2) с учетом найденных величин параметров были получены значения доли нарушителей требований пожарной безопасности среди собственников зданий производственного назначения на территории Воронежской области в 2010 и 2012 годах, которые составляют соответственно $C_{2010} = 0,182$ и $C_{2012} = 0,134$.

Значение регионального коэффициента пропорциональности k между вероятностью пожаров в зданиях производственного назначения, обусловленных профилируемыми факторами и экономическим множителем C , определяемое из формулы (1), составляет

$$k = \frac{P_{2010} - P_n}{C_{2010}} = 0,342.$$

Учитывая планы [2] по выведению из-под надзора в области пожарной безопасности предприятий малого и среднего бизнеса, значительная часть которых приходится на здания производственного назначения, оценим экономический множитель $C_{H=0}$ и вероятность возникновения пожаров $P_{H=0}$ в зданиях производственного назначения Воронежской области при отсутствии штрафных санкций, т. е. при $H = 0$ по формуле (2), при условии, что остальные факторы остаются неизменными на уровне 2012 года. Тогда

$$C_{H=0} = \left(\int_0^{\infty} \left(0,5 + 0,5 \operatorname{erf} \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} \cdot \ln \left[\frac{(1 - P_{2012})b}{P_{2012}\mu_{2012}} \right] \right\} \right) \times \right. \\ \left. \times \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma b}} \cdot \exp \left(- \left[\frac{\ln b - \ln \eta}{\sqrt{2}\sigma} \right]^2 \right) db \right),$$

$$p_{H=0} = p_n + kC_{H=0}$$

Получено $C_{H=0} = 0,269$, $p_{H=0} = 0,092$.

Выводы. На основе модели рационального правонарушителя, представлены алгоритмы расчета вероятности возникновения пожаров в зависимости от статистически измеряемых экономических и административно-правовых факторов на примере зданий производственного назначения.

Показано, что существенное увеличение размеров административных штрафов, накладываемых на граждан, должностных лиц и юридических лиц за нарушение требований пожарной безопасности,

с началом действия Федерального закона от 03.06.2011 № 120-ФЗ привело к уменьшению доли нарушителей требований пожарной безопасности C в зданиях производственного назначения Воронежской области с $C_{2010} = 0,182$ в 2010 г. до $C_{2012} = 0,134$ в 2012 г.

Выполнена оценка вероятности возникновения пожаров для зданий производственного назначения Воронежской области с учетом полной отмены штрафных санкций: $p_{H=0} = 0,092$, что на 100 % больше соответствующей вероятности возникновения пожаров в 2012 году.

Библиографический список

References

1. Оценка вероятности возникновения пожаров на основе математической модели, учитывающей факторы, определяющие долю нарушителей требований пожарной безопасности среди собственников объектов / С. Н. Тростянский [и др.] // Пожарная безопасность. — 2013. — № 2. — С. 86—91.
2. МЧС планирует на 5 лет освободить от проверок малый и средний бизнес [Электронный ресурс] // РИА Новости: национальное хост-агентство и фотопул. — (<http://ria.ru/society/20131026/972783351.html#ixzz2jNFAC411>). — (10.12.2013).
3. АИС «Электронный инспектор» [Электронный ресурс]: система гос. надзоров МЧС России / Департамент надзорной деятельности МЧС России. — Доступ из интрасети: <http://10.114.24.160/stats.php>.
4. **Белозеров. В. В.** Модель оптимизации социально-экономических потерь от пожаров / В. В. Белозеров, Е. И. Богуславский, Н. Г. Топольский // Проблемы информационной экономики. Вып. VI. Моделирование инновационных процессов и экономической динамики: сб. науч. тр. / под ред. Р. М. Нижегородова. — М.: Ленанд, 2006. — С. 226—246.

1. Ocenka verojatnosti vzniknovenija požarov na osnovе matematicheskoj modeli, uchityvajushhej faktory, opredel'jajushhie dolju narushitelej trebovanij požarnoj bezopasnosti sredi sobstvennikov ob#ektov / S. N. Trostjanskij [i dr.] // Požarnaja bezopasnost'. — 2013. — № 2. — S. 86—91.
2. MChS planiruet na 5 let osvobodit' ot proverok malyj i srednij biznes [Jelektronnyj resurs] // RIA Novosti: nacional'noe host-agentstvo i fotopul. — (<http://ria.ru/society/20131026/972783351.html#ixzz2jNFAC411>). — (10.12.2013).
3. AIS «Jelektronnyj inspektor» [Jelektronnyj resurs]: sistema gos. nadzorov MChS Rossii / Departament nadzornoj dejatel'nosti MChS Rossii. — Dostup iz intraseti: <http://10.114.24.160/stats.php>.
4. **Belozеров. V. V.** Model' optimizacii social'no-jekonomicheskikh poter' ot požarov / V. V. Belozеров, E. I. Boguslavskij, N. G. Topol'skij // Problemy informacionnoj jekonomiki. Vyp. VI. Modelirovanie innovacionnyh processov i jekonomicheskoy dinamiki: sb. nauch. tr. / pod red. R. M. Nizhegorodova. — M.: Lenand, 2006. — S. 226—246.

MATHEMATICAL MODELING OF DEPENDENCE OF FIRES AT INDUSTRIAL BUILDINGS PROBABILITY ON ECONOMIC AND LEGAL-ADMINISTRATIVE FACTORS

Zenin Yu. N.,

Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia;
Russia, Voronezh, e-mail: vigps@mail.ru

Trostyanskij S. N.,

D. Sc. in Engineering, Assoc. Prof.,

Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia;

Russia, Voronezh, tel.: (473)2363-305, e-mail: trostyansky2012@yandex.ru

The algorithms for calculating the probability of industrial fires, depending on statistically measurable economic, administrative and legal factors are presented based on the model of a rational offender. Thus the algorithm is used allowing to estimate the share of fire safety requirements violators among the owners of economic objects at a particular place and particular time, who consider it profitable to violate fire safety requirements under the existing economic conditions, as well as the algorithm of an average amount of such profit estimation. On the basis of the algorithms proposed, the probability of fires at industrial buildings is evaluated in case of variation of the value of penalties for fire safety requirements violation. The algorithms application for the mentioned parameters definition is illustrated with the use of statistical data on fires in Voronezh region.

Keywords: mathematical modeling, fire safety, probability of fires, algorithm for model parameters estimation, rational offender model.