

В.А. Минаев¹, С.Н. Тростянский², Чу Куок Минь³ (Россия, Вьетнам)
(¹Российский новый университет, ²Воронежский институт ГПС МЧС России,
³Академия ГПС МЧС России; e-mail: m1va@yandex.ru)

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ ПРИ НАРУШЕНИЯХ ТРЕБОВАНИЙ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Предлагается математическая зависимость вероятности возникновения пожара на хозяйственном объекте от факторов, отражающих нарушения собственниками требований пожарной безопасности.

Ключевые слова: вероятность, пожар, нарушения требований.

V.A. Minaev, S.N. Trostyansky, Chu Quoc Minh (Russia, Vietnam)

ESTIMATION OF THE FIRES OCCURRENCE PROBABILITY IN VIOLATION OF THE REQUIREMENTS FOR FIRE SAFETY

The mathematical relationship of fires occurrence probability on the economic object of factors reflecting violations owners of the requirements for fire safety.

Key words: probability, fire, violations of the requirements.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 24 сентября 2013 г.

Обозначим K количество пожаров, возникающих на хозяйственных объектах в единицу времени на определённой территории:

$$K = K_p + K_n, \quad (1)$$

где K_p – количество пожаров, возникающих по следующим причинам: из-за нарушения правил пожарной безопасности, правил устройства и эксплуатации электротехники, неосторожного обращения с огнём (назовём эти причины "профилактируемыми факторами" со стороны Государственной противопожарной службы (ГПС)). Эти факторы можно исключить при соблюдении собственниками всех требований пожарной безопасности на соответствующих объектах;

K_n – количество пожаров, происходящих по причинам, которые назовём "непрофилактируемыми факторами" со стороны ГПС.

Более 70 % пожаров обусловлены профилактируемыми со стороны ГПС факторами. Предположим линейную зависимость количества таких пожаров от общего количества хозяйственных объектов:

$$K_p = k \cdot N_p = k \cdot C \cdot N, \quad (2)$$

где k – коэффициент пропорциональности между количеством пожаров, обусловленных профилактируемыми факторами, и количеством объектов, собственники которых нарушают правила и требования пожарной безопасности;

N_p – количество хозяйственных объектов, на которых имели место нарушения требований пожарной безопасности;

C – некоторый множитель, отражающий долю собственников, которым выгодно экономить средства за счёт несоблюдения требований пожарной безопасности;

N – общее количество хозяйственных объектов на данной территории.

Вероятность возникновения пожаров на хозяйственных объектах в определённый интервал времени оценим с учётом (1), (2) и статистического определения частоты пожаров:

$$p = \frac{K}{N} = \frac{K_n}{N} + \frac{K_p}{N} = p_n + p_p = p_n + k C, \quad (3)$$

где p_n , p_p – вероятности возникновения пожаров за счёт, соответственно, непрофилактируемых и профилируемых ГПС факторов.

Нахождение множителя C , отражающего экономическое представление хозяйствующих субъектов о возможностях нарушений требований пожарной безопасности и определяющего долю собственников объектов, которым выгодно экономить средства за счёт несоблюдения названных требований, проведём на основе *экономической модели рационального правонарушителя*. Рациональность правонарушителя означает, что нарушение происходит только в том случае, если ожидаемый выигрыш b от его совершения превышает возможные в случае пожара и (или) наказания потери u (т. е. возможный выигрыш от совершения правонарушения превышает возможный проигрыш в случае возникновения пожара и (или) штрафных санкций):

$$(1 - p) b > p u, \quad (4)$$

при этом считается, что потенциальный правонарушитель на основе своего либо чужого опыта может оценивать вероятность p .

Уточним, что при расчёте уровня нарушений на основе модели рационального правонарушителя учитывается, что последний в качестве ожидаемой прибыли b может рассматривать экономию на расходах по обеспечению пожарной безопасности объектов, а в качестве наказания может нести убытки u при возникновении пожаров на объектах и убытки H от штрафных санкций за нарушения требований пожарной безопасности при ожидаемой их вероятности за единицу времени f .

Очевидно, что применительно к рациональному правонарушителю игнорирование требований пожарной безопасности с учётом возможных штрафных санкций происходит только в том случае, если ожидаемый доход правонарушителя удовлетворяет условию:

$$(1 - p)(b - f H) > p u. \quad (5)$$

Из анализа экономической статистики следует, что легальные доходы населения, в том числе доходы собственников хозяйственных объектов, имеют логнормальную плотность распределения. Более того, исследования, проведённые по материалам российской и зарубежной статистики, показали, что количество пострадавших и величина материального ущерба от пожаров и сопутству-

ющих им взрывов корректно описываются логнормальной моделью плотности распределения:

$$\rho_{\mu, \sigma_u}(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_u u} \exp \left\{ -\frac{[\ln(u) - \ln(\mu)]^2}{2\sigma_u^2} \right\}, \quad (6)$$

где $\rho_{\mu, \sigma_u}(u)$ – плотность логнормально распределённой случайной величины потерь u собственниками объектов от пожаров;

μ – среднее значение для соответствующего распределения величины потерь от пожаров;

σ_u – дисперсия распределения величины потерь от пожаров.

Предположим, что применительно к собственникам хозяйственных объектов помимо логнормального распределения величины потерь от пожаров u также справедливо логнормальное распределение величины прибыли b от экономии за нарушения требований пожарной безопасности со средним значением для соответствующего распределения η и дисперсией σ_b , то есть

$$\rho_{\eta, \sigma_b}(b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_b b} \exp \left\{ -\frac{[\ln(b) - \ln(\eta)]^2}{2\sigma_b^2} \right\}. \quad (7)$$

Тогда при стационарном течении процессов в рассматриваемой области множитель C , определяющий долю собственников хозяйственных объектов, которым выгодно экономить средства за счёт несоблюдения требований пожарной безопасности, с учётом (5)-(7) можно записать как

$$C = \int_{f\bar{H}}^{\infty} \int_0^{\ln((1-p)(b-f\bar{H})/p)} \rho_{\mu, \sigma_u}(u) \rho_{\eta, \sigma_b}(b) du db, \quad (8)$$

где p – вероятность возникновения в единицу времени пожаров на хозяйственных объектах;

f – вероятность наложения штрафных санкций в единицу времени на собственников объектов, допустивших нарушения требований пожарной безопасности;

\bar{H} – средняя величина штрафной санкции, налагаемой на собственников объектов за нарушения требований пожарной безопасности.

В выражении (8) верхний предел интеграла по потерям собственников u от пожаров определяется из условия рационального нарушения требований пожарной безопасности (5), а нижний предел интеграла по прибыли собственников b от экономии за нарушения требований пожарной безопасности лимитируется потерями, связанными с вероятными убытками от штрафных санкций и определяемыми произведением: $f\bar{H}$.

Рассмотрим динамику изменения вероятности возникновения пожаров при изменениях экономико-административных и правовых факторов и соответствующих им изменениях множителя C . Количество объектов, на которых имеют место нарушения требований пожарной безопасности и состояние кото-

рых характеризуется множителем $C(t)$ в момент времени t , определяется как $N_p(t) = C(t)N$. Обозначим через $N_p(C_i)$ количество объектов, имеющих нарушения требований пожарной безопасности при некоторых стационарных экономико-административных и правовых условиях, характеризуемых состоянием C_i в некоторый момент времени t_i . Тогда $N_p(C_i) = C_i N_p$, где N – общее число хозяйственных объектов.

Рассмотрим динамику переходного процесса из состояния $N_p(C_0)$ в состояние $N_p(C_1)$ при изменении величины функции $C(p, f, \mu, \eta, \sigma_u, \sigma_b, \bar{H})$ от C_0 до C_1 с изменением её аргументов, где $C_0 > C_1$, например, при изменении величины штрафных санкций 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. При этом количество объектов $N_p(t)$, на которых имеют место нарушения требований пожарной безопасности, меняется за время Δt :

$$\Delta N_p = g [N_p(C_1) - N_p(C_0)] \Delta t = g N (C_1 - C_0) \Delta t, \quad (9)$$

где g – вероятность выполнения требований пожарной безопасности за единицу времени собственниками объектов, для которых они при изменении экономического множителя C становятся выгодными (если $C_0 > C_1$).

Отсюда можно прийти к дифференциальному уравнению, описывающему зависимость величины $N_p(t)$ от времени при изменении экономического множителя от C_0 до C_1 :

$$\frac{dN_p(t)}{N_p(t)} = -g \left(1 - \frac{C_1}{C_0} \right) dt. \quad (10)$$

Решением уравнения (10) является функция, описывающая динамику переходного процесса

$$N_p(t) = N_p(t_0) \exp \left[-g \frac{\Delta C_{01}}{C_0} (t - t_0) \right], \quad (11)$$

где $\Delta C_{01} = C_0 - C_1$.

Время переходного процесса τ_{01} от $N_p(t_0) = N_p(C_0) = N C_0$ до $N_p(t_1) = N_p(C_1) = N C_1$ определяется как

$$\tau_{01} = - \left[\ln \left(1 - \frac{\Delta C_{01}}{C_0} \right) / \left(g \frac{\Delta C_{01}}{C_0} \right) \right]. \quad (12)$$

Значение g для вероятности выполнения требований пожарной безопасности собственниками объектов, для которых их выполнение при изменении множителя C становится выгодным, можно оценить из статистических данных по вероятности возникновения пожаров за счёт профилактируемых ГПС факторов. С учётом формул (3) и (12), при известном из статистических данных времени задержки τ между изменением экономико-административных и правовых

факторов и соответствующем изменении множителя $C(t)$, зависящего от этих факторов, значение g определяется по формуле:

$$g = - \left[\ln \left(1 - \frac{\Delta C_{0\tau}}{C_0} \right) / \left(\tau \frac{\Delta C_{0\tau}}{C_0} \right) \right] = \quad (13)$$

$$= - \left\{ \ln \left[1 - \frac{p_p(t_0) - p_p(t_0 + \tau)}{p_p(t_0)} \right] \right\} / \left[\tau \frac{p_p(t_0) - p_p(t_0 + \tau)}{p_p(t_0)} \right].$$

В частном случае, если при последовательных скачкообразных изменениях аргументов экономического множителя C отношение изменений функции ΔC к её предыдущим значениям C остаётся постоянным:

$$\frac{\Delta C}{C} = \text{const}, \quad (14)$$

выражение для динамики вероятности возникновения пожаров по профилируемым ГПС причинам, с учётом (2), (3), (11), можно записать как

$$p_p(t) = p_p(t_0) \exp \left[-g \frac{\Delta C}{C} (t - t_0) \right]. \quad (15)$$

Если считать вероятность возникновения пожаров по непрофилируемым ГПС факторам практически постоянной во времени $p_n(t) \approx p_n$, то в стационарных условиях вероятность $p(t)$ возникновения пожаров в единицу времени имеет вид

$$p(t) = p_n + p_p(t_0). \quad (16)$$

В переходном процессе, при соблюдении условия (14), вероятность возникновения пожаров $p(t)$ на хозяйственных объектах определяется формулой

$$p(t) = p_n + p_p(t_0) \exp \left[-g \frac{\Delta C}{C} (t - t_0) \right], \quad (17)$$

которая при $\Delta C > 0$ аналогична формуле

$$p(t) = p_n + p_p(t_0) \exp \left[-\lambda (t - t_0) \right], \quad (18)$$

используемой для описания динамики количества пожаров на определённых территориях за различные промежутки времени.

Из сравнения (17) и (18) соотношение для определения показателя экспоненциального спада λ запишется как

$$\lambda = g \frac{\Delta C}{C}. \quad (19)$$

С учётом времени запаздывания τ между изменением экономико-административных и правовых факторов и изменением множителя C для нестационарных условий, уравнение (8) преобразуется в выражение

$$C_t = \int_{f_{t-\tau} \bar{H}_{t-\tau}}^{\infty} \frac{\ln((1-p_{t-\tau})(b-f_{t-\tau} \bar{H}_{t-\tau})/p_{t-\tau})}{0} \rho_{\mu_{t-\tau}, \sigma_{u,t-\tau}}(u) \rho_{\eta_{t-\tau}, \sigma_{b,t-\tau}}(b) du db, \quad (20)$$

где индексы " t " и " $t-\tau$ " характеризуют время (например, год) между измерениями соответствующих характеристик.

Выражение для вероятности возникновения пожаров при нестационарных экономико-административных и правовых факторах из (3) и (20) принимает вид

$$p_t = p_n + k \int_{f_{t-\tau} \bar{H}_{t-\tau}}^{\infty} \int_0^{\ln((1-p_{t-\tau})(b-f_{t-\tau} \bar{H}_{t-\tau})/p_{t-\tau})} \rho_{\mu_{t-\tau}, \sigma_{u,t-\tau}}(u) \rho_{\eta_{t-\tau}, \sigma_{b,t-\tau}}(b) du db. \quad (21)$$

Определение коэффициента k возможно из выражения (21) с учётом статистических данных за предшествующие годы. На основе выражения (21), при известных экономико-административных и правовых факторах в $t - \tau$ году возможно определение вероятности возникновения пожаров на объектах различных форм собственности в t году.

Расчёты значения "непрофилактируемой" вероятности возникновения пожаров p_n в формуле (21) возможно провести на основе анализа временного ряда динамики вероятностей возникновения пожаров на хозяйственных объектах, полученного из статистических данных ГПС, с учётом выполняющейся для временного ряда формулы (18). На основе формулы (18) можно получить соотношение (22) и проанализировать для него временной ряд для разности значений

$$p_t = p_n + k \int_{f_{t-\tau} \bar{H}_{t-\tau}}^{\infty} \int_0^{\ln((1-p_{t-\tau})(b-f_{t-\tau} \bar{H}_{t-\tau})/p_{t-\tau})} \rho_{\mu_{t-\tau}, \sigma_{u,t-\tau}}(u) \rho_{\eta_{t-\tau}, \sigma_{b,t-\tau}}(b) du db. \quad (22)$$

Тогда параметры $p_p(t_0)$ и λ для этого временного ряда находятся с применением статистического пакета SPSS как параметры нелинейной регрессии. В частности, на основе данных ГПС по г. Воронежу за 2000-2010 гг. найдены следующие значения параметров временного ряда (22): $p_p(t_0) = 0,029$; $\lambda = 0,455$.

Соответственно, находя для каждого i -го года значения $p_n^i = p(t_i) - p_p(t_i) = p(t_i) - p_p(t_0) \exp[-\lambda(t_i - t_0)]$ и вычисляя среднее значение $p_n = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} p_n^i}{M}$ за $M = 11$ лет, получаем $p_n = 0,020$, которое полагаем устойчивым во времени.

Тогда динамика вероятности возникновения пожаров $p(t)$ на хозяйственных объектах г. Воронежа описывается формулой

$$p(t) = p_n + p_p(t_0) \exp[-\lambda(t - t_0)] = 0,020 + 0,029 \exp[-0,455(t - t_0)], \quad (23)$$

где t измеряется в годах;

$p_p(t_0)$ – вероятность возникновения пожаров за счёт профилактируемых ГПС факторов на хозяйственных объектах г. Воронежа в 2000 г., $p_p(t_0) = 0,029$.

При сравнении расчётных данных по формуле (23) с данными статистики ГПС по г. Воронежу показатель квадрата корреляции (R^2) составляет 0,954, что свидетельствует о достаточной корректности применения данной зависимости для прогностических расчётов динамики вероятности возникновения пожаров на хозяйственных объектах.

Литература

1. **Белозеров В.В., Богуславский Е.И., Топольский Н.Г.** Модель оптимизации социально-экономических потерь от пожаров // Проблемы информационной экономики. Вып. VI. "Моделирование инновационных процессов и экономической динамики": сб. науч. трудов. М.: ЛЕНАНД, 2006. С. 226-247.
2. **Becker G.** Crime and Punishment: An Economic Approach // Journal of Political Economy. 1968. 76. P. 169-217.
3. **Суворов А.В.** Проблемы анализа дифференциации доходов населения и построения дифференцированного баланса денежных доходов и расходов населения // Проблемы прогнозирования. 2001. № 1. С. 58-74.
4. **Акимов В.А., Быков А.А., Щетинин Е.Ю.** Введение в статистику экстремальных значений и её приложения. М.: ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009. 524 с.