

Концепция построения риск-ориентированных моделей управления пожароопасными событиями в социально-экономических системах.

Часть 1

Ф.А. Дали

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Аннотация: В статье предложена новая концепция построения риск-ориентированных моделей управления пожароопасными событиями. На основе «Марковских процессов», позволяющих интерпретировать процесс управления (алгоритмически, алгебраически, матрично и на графах), показана процедура проведения частотного анализа, как реализация одного из этапов предлагаемой концепции. Результаты исследования могут быть использованы в качестве поддержки принятия решений при ранжировании (или дифференцировании) объектов защиты с разным уровнем пожарной безопасности по категории риска.

Ключевые слова: риск-ориентированные модели, объект защиты, управление, пожароопасное событие, социально-экономическая система, Марковские процессы, концепция.

В ходе проведенных исследований и анализа статистических данных о пожарах за последние годы, установлено, что количество, масштабы и социальная значимость пожаров продолжают оказывать негативное чрезвычайно существенное влияние на все сферы жизнедеятельности нашего общества. Особенно сложная и угрожающая ситуация складывается в жилом секторе сельских поселений (СП) [1]. В настоящее время ведется активный поиск новых технологий, форм, и методов деятельности МЧС России, которые позволили бы повысить уровень готовности органов управления, рассчитать силы и средства оперативного реагирования и снизить уровень социально-экономических последствий на проблемных территориях [2-4].

Анализ трудов ведущих специалистов в рассматриваемой области свидетельствует о наличии солидного базиса для исследований [5]. Однако следует признать недостаточную проработанность вопросов системных связей, между прогнозом и бесконтрольным воздействием опасных факторов пожара на население в местах дислокации «удаленных» жилых участков

территорий, препятствующую интеграции специфических для чрезвычайной ситуации научных подходов в новую информационную и коммуникационную среду.

Социально-экономическая деятельность любого объекта защиты неотъемлемо связана с рисками, поэтому их своевременная идентификация и корректная оценка позволяет менеджменту и государству более точно вырабатывать стратегию управления, принимать взвешенные управленческие решения, эффективно адаптировать объект под изменения социально-экономической конъюнктуры. Для этого используют различные методы и механизмы риск-ориентированного управления [6].

Во многих ведомственных (регуляторных) и коммерческих структурах активно внедряется данный подход. В МЧС России такой подход выступает в качестве поддержки принятия решений при ранжировании (или дифференцировании) объектов защиты с разным уровнем пожарной безопасности по категории риска [7].

Основываясь на обобщении теоретико-методологических подходов зарубежных и отечественных специалистов к управлению опасными событиями, в различных социально-экономических системах (СЭС) объектов и населенных пунктов (ОНП), а также статистических данных о пожарах, можно сделать вывод о том, что платформа традиционных методов [8,9] к построению риск-моделей к современным реалиям в пространственно-временной экстраполяции нуждается в адаптации и совершенствовании. Формирование новой концепции построения управления пожароопасных событий (ПОС) на объектах и территориях СЭС, позволит определить закономерности функционирования и развития процессов в экономике и обществе.

Концепция основана на простейшем представлении построения моделей в системе с входным и выходным сигналом. Входной сигнал x

представляется в виде векторного значения который на выходе позволяет получить значение y . Если преобразовать входной сигнал в модели, с помощью методов, то можно получить желаемый результат выходного сигнала Δy .

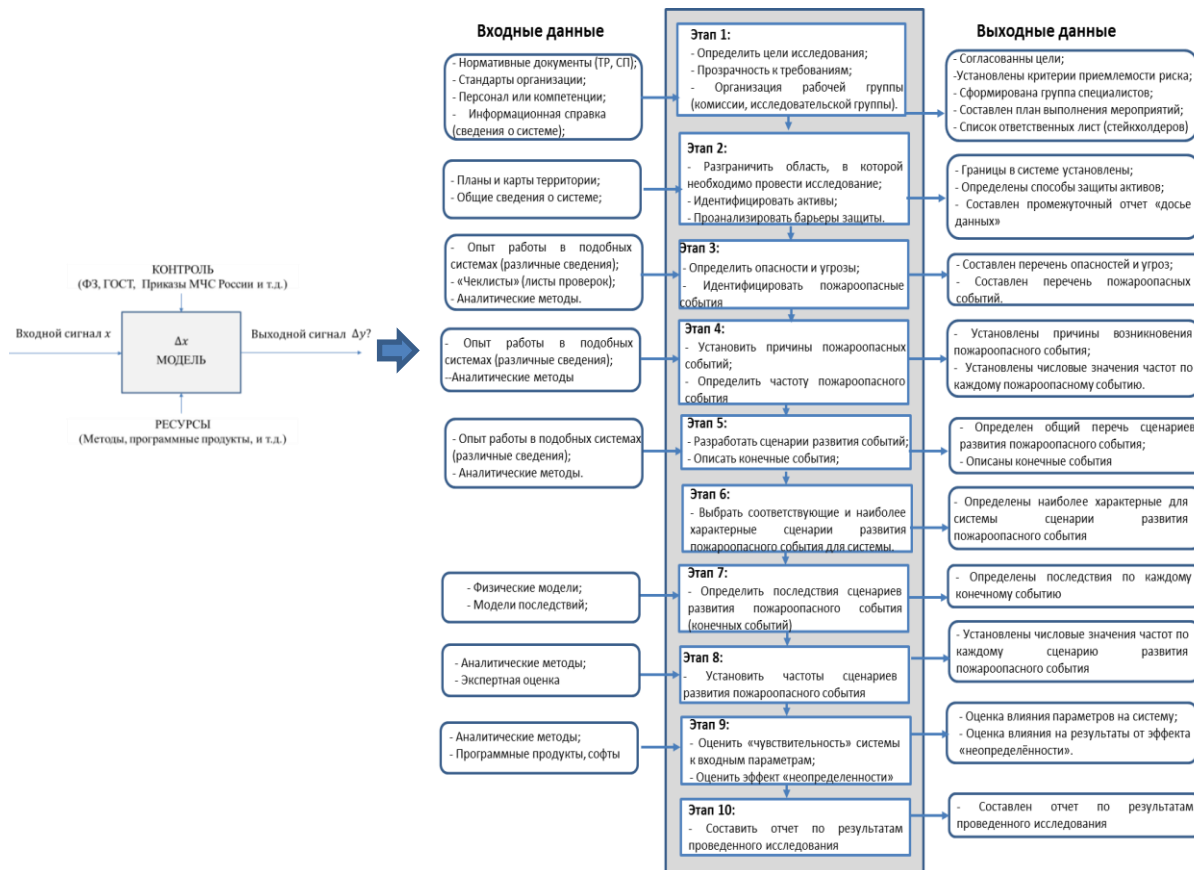


Рис. 1 – Концепция построения POM управления ПОС в СЭС ОНП (пример из анализа)

При этом, следует учитывать существующую нормативную базу и возможности (компетенции) специалистов. Сущность концепции заключается в том, чтобы раскрыть поэтапно некоторые особенности порядка проведения процедуры построения риск-ориентированных моделей (POM) управления пожароопасными событиями (ПОС) (рис.1). Цель данного подхода сводится к тому, чтобы помочь специалисту («лицо, принимающего решение» от англ. «decision marker») принять оптимальное решение для управления опасными событиями.

В первой части статьи представлена процедура проведения частотного анализа на основе «Марковских процессов». В качестве примера рассматривается СЭС, в которой существует два практически одинаковых по своему назначению объекта защиты (объекты строительства). Объекты находятся в разных локациях одного населённого пункта. В случае пожара, защищенность объектов (активов) может зависеть от различных факторов, определяющих своевременное реагирование на ПОС (своевременное прибытие пожарных подразделений, удаленность пожарных подразделений, наличие водоисточников и т.д.). Время свободного развития пожара может привести к негативным последствиям (например, к гибели людей). Согласно Марковскому процессу, рассматриваемые объекты СЭС могут быть представлены в 4-х состояниях (табл. 1).

Таблица. 1

Возможные состояния системы

Состояния	Объект защиты №1	Объект защиты №2
3	Прибытие пожарных, пожар локализован	Прибытие пожарных, пожар локализован
2	Прибытие пожарных, пожар локализован	Пожар не локализован, потеря активов
1	Пожар не локализован, потеря активов	Прибытие пожарных, пожар локализован
0	Пожар не локализован, потеря активов	Пожар не локализован, потеря активов

Описание системы. Система функционирует нормально (объект защищен), находясь в состоянии 3 в момент времени $t = 0$. Если 1-ый объект защиты в состоянии 3 по какой-то причине не смогли локализовать, то система перейдет в состояние 1, т.е. существует вероятность перехода из состояния 3 в состояние 1. Если для 1-го объекта создадут условия по своевременному реагированию на ПОС, то система изменится, и вернется из состояния 1 в состояние 3. Теперь рассмотрим случай, когда система находится в состоянии 1, т.е. на 1-ом объекте пожар не локализован,

потеряны активы, а на 2-ом объекте пожарные работают слаженно, пожар локализован. Если пожар на 2-ом объекте не смогут локализовать вовремя, до того момента, когда для 1-го объекта еще не созданы условия по своевременному реагированию на ПОС, то система перейдет в состояние 0. Также можно объяснить и другие переходы. Графически эти переходы состояний можно изобразить или построить с помощью «диаграммы переходов состояний», которую еще называют «Марковской диаграммой» (рис. 2) [10].

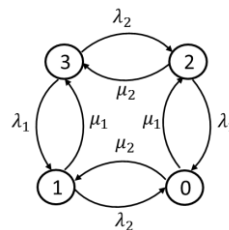


Рис. 2 – Диаграмма переходов состояний для рассматриваемых объектов в системе а основе Марковских процессов

Отрезок времени в системе, до наступления ПОС и момента, когда в системе еще не успели создать условия по своевременному реагированию на ПОС, принимают за случайную величину с экспоненциальным распределением. На диаграмме переходов показаны частоты экспоненциальных распределений, где λ_i это частота наступления ПОС, а μ_i это частота создания условий по своевременному реагированию на ПОС для объектов защиты i , при $i = 1, 2$.

С помощью Марковских процессов определяются возможные «состояния» системы и «переходы» между состояниями. Количество возможных состояний это, как правило, $0, 1, \dots, r$, при том, что вся система имеет $r + 1$ состояний. Пусть $X(t)$ - это состояние системы в момент времени t . Для будущего момента времени t , состояние $X(t)$ будет являться случайной

величиной, при условии, что выражение $\{X(t); t \geq 0\}$ м - это «стохастический процесс» с непрерывным временем.

Стохастический процесс становится «Марковским», когда на участках времени $s, t \geq 0$, при всех значениях i, j , выполняется условие:

$$\Pr(X(t+s) = j | X(s) = i \cap H_s) = \Pr(X(s+t) = j | X(s) = i)$$

Если система находится в состоянии i в момент времени s , то вероятность перехода в состояние j не зависит от времени s . Каждый раз, когда система делает переход в состояние i , количество времени, затрачиваемое до перехода в другое состояние «экспоненциально», распределяется с параметром a_i . Это означает, что, при переходе системы в состояние i , система остаётся в том же состоянии со средним временем $1/a_i$. Когда система покидает состояние i , она переходит в состояние j с вероятностью P_{ij} , где $P_{ij} = 0$ и $\sum_j P_{ij} = 1$.

Если $a_{ij} = a_i P_{ij}$ а $a_i = \sum_j a_{ij}$ то можно получить следующие выражение:

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{1 - P_{ij}(h)}{h} = a_i \quad \text{и} \quad \lim_{h \rightarrow h} \frac{P_{ij}(h)}{h} = a_{ij}$$

Чтобы перейти из состояния i в момент времени 0 в состояние j в момент времени $t + s$, этот процесс должен быть в некотором состоянии k в момент времени t . Добавив все возможные состояния k , можно получить выражение:

$$P_{ij}(t+s) = \sum_{k=0}^r P_{ik}(t) P_{kj}(s)$$

Уравнение носит название «уравнение Колмогорова». Если взять производную по времени из уравнения, то после некоторых преобразований, получится следующее выражение:

$$\dot{P}_{ij}(t) = \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq 0}}^r a_{kj} P_{ik}(t) - a_j P_{ik}(t) = \sum_{k=0}^r a_{kj} P_{ik}(t)$$

Полученное уравнение еще известно, как «прямое уравнение Колмогорова».

Предположим, что известно, как развивается Марковский процесс, находящийся в состоянии i в момент времени 0, т.е. $X(0) = i$. Отсюда следует следующее выражение:

$$P_i(0) = \Pr(X(0) = i) = 1$$

$$P_k(0) = \Pr(X(0) = k) = 0 \text{ при } k \neq i$$

Поскольку известно состояние в момент времени 0, то можно упростить эти обозначения, записав $P_{ij}(t)$ как $P_i(t)$.

Вектор $[P_0(t), P_1(t), \dots, P_r(t)]$, означает распределение состояний Марковского процесса в момент времени t , если известно, что процесс начался в состоянии i во время 0. Поскольку существует только $r + 1$ в возможных состояниях $\sum_{j=1}^r P_i(t) = 1$.

Распределение $P(t)$ может быть найдено из прямого уравнения Колмогорова:

$$\dot{P}_{ij}(t) = \sum_{k=0}^r a_{kj} P_k(t)$$

где $a_{kj} = -a_j$.

Теперь можно перевести все в «матрицу частоты переходов» A :

$$A = \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} & \dots & a_{0r} \\ a_{10} & a_{11} & \dots & a_{1r} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{r0} & a_{r1} & \dots & a_{rr} \end{pmatrix}$$

при условии, что диагональные элементы равны:

$$a_{ii} = -a_i = - \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq i}}^r a_{ik}$$

Теперь можно привести «прямое уравнение Колмогорова» в матричный вид:

$$[P_0(t), \dots, P_r(t)] \cdot \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} & \dots & a_{0r} \\ a_{10} & a_{11} & \dots & a_{1r} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{r0} & a_{r1} & \dots & a_{rr} \end{pmatrix} = [\dot{P}_0(t), \dots, \dot{P}_r(t)]$$

или записать в более компактном виде:

$$P(t) \cdot A = \dot{P}(t)$$

Таким образом, математическое преобразование на основе Марковских процессов позволит установить и описать связь между объектом и возможным развитием ПОС, рассчитать вероятность развития ПОС на определенных стадиях в каждой зоне горения, оценить относительную вероятность повреждения или утраты материальных ценностей в рассматриваемых зонах (территориях) в случае возникновения пожара и сформировать основания для принятия решения о приемлемости пожарного риска для различных объектов защиты СЭС.

Литература

1. Пожары и пожарная безопасность: Статистический сборник / Под общей редакцией Гордиенко Д.М. - М.: ВНИИПО, 2020. - 82 с.
2. PD 7974-5:2019. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings Part 5: (Subsystem 5) Fire service intervention, British Standards Institution (BSI), London, UK, 2019. p.62.
3. PD 7974-5:2019. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings Part 3. London, UK, 2019. p.75.
4. NFPA 101. Life Safety Code, National Fire Protection Association (NFPA), Quincy, MA, USA, 2021. p.660.

5. Моторыгин, Ю.Д. Математическое моделирование процессов возникновения и развития пожаров: Монография. – СПб. Санкт-Петербургский университет Государственной Противопожарной Службы МЧС России. 2011. 312 с.

6. Теленков, Е.Е. Четыре шага к построению риск-ориентированной модели управления компанией. URL: riskorientirovannoy-modeli-upravleniya-kompaniyu.

7. Шахманов, Ф.Ф. Риск-ориентированный метод осуществления пожарного надзора автомобильных газозаправочных станций: дис. уч. степени кандидата тех. наук: 05.26.03 / Ф. Ф. Шахманов – СПб; Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2018. - 115 с.

8. Акиндинова Е.В., Желтикова О.О. Математическое моделирование эффективности упреждения конкурентов, основанное на теории случайных процессов// Инженерный вестник Дона, 2019, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5772

9. Горелова И.С. Теоретико-игровое моделирование адаптации территориальных мощностей к рыночным социально-экономическим условиям // Инженерный вестник Дона, 2008, № 3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2008/93.

10. Харари Ф. Теория графов. - М.: Ленанд, 2018. 304 с.

References

1. Gordienko D.M. Pozhary` i pozharnaya bezopasnost: Statisticheskij sbornik [Fires and fire safety: Statistical compilation]. М.: VNIИРО, 2019. 125 p.

2. PD 7974-5:2019. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings Part 5: (Subsystem 5) Fire service intervention, British Standards Institution (BSI), London, UK, 2019. p.62



3. PD 7974-5:2019. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings Part 5: (Subsystem 5) Fire service intervention, British Standards Institution (BSI), London, UK, 2019. p.75
4. NFPA 101. Life Safety Code, National Fire Protection Association (NFPA), Quincy, MA, USA, 2021. p.660
5. Motorygin, Y.D. Matematicheskoye modelirovaniye protsessov vozniknoveniya i razvitiya pozharov [Mathematical modeling of the processes of occurrence and development of fires. Monograph] St. Petersburg: St. Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2021. 312 p.
6. Telenkov, E.E. Chetyre shaga k postroyeniyu risk oriyentirovannoy modeli upravleniya kompaniyey [Four steps to building a risk-based company management model]. URL: riskorientirovannoy modeli upravleniya kompaniyey.
7. Shakhmanov, F.F. Risk oriyentirovannyi metod osushchestvleniya pozharnogo nadzora avtomobil'nykh gazozapravochnykh stantsiy [Risk oriented method of fire supervision of automobile gas filling stations] St. Petersburg: St. Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2018. 115 p.
8. Akindinova Y.V., Zheltikova O.O. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5772
9. Gorelova I.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2008, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2008/93.
10. Kharari F. Teoriya grafov [Graph Theory]. M.: Lenand, 2018. 304 p.