

**ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ
ТЕХНОГЕННЫХ ПОЖАРОВ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ****REMOTE MONITORING
OF THE TECHNOGENIC FIRES AND EMERGENCY SITUATIONS**

М.О. БАКАНОВ, Д.В. ТАРАКАНОВ
M.O. BAKANOV, D.V. TARAKANOV

(Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России)
(Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia)
E-mail: mask-13@mail.ru, den-pgsm@mail.ru

Представлено теоретическое обобщение математических моделей мониторинга параметров, определяющих возникновение и развитие деструктивных событий, на примере чрезвычайных ситуаций, вызванных техногенными пожарами, возникающими, в том числе на производственных объектах легкой и текстильной промышленности. При формальной постановке задачи исходили из допущения, состоящего в том, что система мониторинга может рассматриваться как восстанавливаемая система с конечным числом элементов. Данное допущение обосновано для случая оперативного мониторинга практикой его реализации. На основе предложенной математической модели получены решения прямой задачи планирования мониторинга при заданном уровне вероятности.

Theoretical generalization of mathematical models of monitoring of the parameters defining emergence and development of destructive events on the example of the emergency situations caused by the technogenic fires arising including on production objects of the light and textile industry is presented. At formal problem definition proceeded from the assumption consisting that the system of monitoring can be considered as the restored system with final number of elements. This assumption is proved for a case of expeditious monitoring by practice of his realization. On the basis of the offered mathematical model solutions of a direct problem of planning of monitoring at the set probability level are received.

Ключевые слова: мониторинг, техногенный пожар, беспилотное воздушное судно, моделирование, вероятность отказа.

Keywords: monitoring, technogenic fire, pilotless aircraft, modeling, probability of refusal.

Анализ аспектов управления в условиях ЧС показал, что система управления должна функционировать в четырех режимах: повседневной деятельности, повышенной готовности, чрезвычайный режим, постчрезвычайный режим [1], [2]. В работе рассматриваются режимы повседневной деятельности и повышенной готовности, на которых реализуются мероприятия по планированию проведения мониторинга.

Учитывая необходимость резервирования и возможность вынужденного простоя беспилотных воздушных судов (БВС) по причине неисправности, для гарантированного выполнения задач по предназначению в штатные расписания и нормы оснащения подразделений включены по одному комплексу самолетного и вертолетного типов с входящими в них от двух до четырех летательных аппаратов.

В совокупности оценка вероятности отказа системы мониторинга позволяет ответить на два важных практических вопроса:

1 – какое число средств мониторинга необходимо для заданного уровня качества?

2 – при заданном числе средств мониторинга какое следует ожидать его качество?

Приведенные практические вопросы являются логической основой для планирования бюджета и расходования средств организаций, осуществляющих мониторинг.

С целью формализованного описания состояния системы мониторинга, включающей одновременно работающие средства измерения и средства их транспортировки, была использована математическая модель Колмогорова, представляющая собой совокупность обыкновенных дифференциальных уравнений (1) (уравнений состояния) и уравнения их аддитивной связи (условия связи состояний) (2).

Система уравнений записывается следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda P_0(t), \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda P_0(t) - \lambda P_1(t), \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dP_k(t)}{dt} = \lambda P_{k-1}(t) - \lambda P_k(t), \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dP_m(t)}{dt} = \lambda P_m(t), \end{array} \right. \quad (1)$$

где $P_0(t)$ – вероятность состояния системы мониторинга: состояние 0 – исправны все средства наблюдения системы мониторинга; состояния k – в системе мониторинга отказало k – средств наблюдения; λ – интенсивность отказов, c^{-1} ; t – время, c .

Уравнения аддитивной связи вероятностей состояний:

$$P_0(t) + \dots + P_k(t) + \dots + P_m = 1. \quad (2)$$

Левая часть уравнения системы с номером k (1) показывает динамику изменения

вероятности события, состоящего в том, что в системе мониторинга отказало k средств наблюдения. Правая часть формирует совокупность правил изменения состояний системы.

Система уравнений (1) составлена с учетом нескольких допущений, наиболее существенным из которых является отсутствие восстановления средства мониторинга в процессе реализации наблюдений. То есть при отказе средства мониторинга принимается, что за оставшееся время данное средство не участвует в информационном обмене.

Данная система уравнений имеет аналитическое решение при следующих начальных условиях:

$$P_0(0) = 1; P_k(0) = 0, k = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

Начальные условия (3) оговаривают ситуации, при которых в начальный момент времени все средства наблюдения системы мониторинга исправны.

Аналитические решения системы уравнений записываются следующим образом:

- для начального состояния

$$P_0 = \exp(-\lambda t), \quad (4)$$

- для промежуточных состояний

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} \exp(-\lambda t), \quad (5)$$

- для конечного состояния

$$P_m(t) = 1 - \left[1 + \sum_{k=0}^{m-1} \frac{(\lambda t)^k}{k!} \right] \exp(-\lambda t). \quad (6)$$

На базе аналитического решения системы уравнений (1), предполагая, что специфика воздействия среды мониторинга на средство наблюдения количественно оценивается с помощью интенсивности отказов λ , может быть предложена классификация задач мониторинга.

Классический подход к расчету временной зависимости вероятности безотказной

работы для восстанавливаемой системы с конечным числом элементов предусматривает расчет значений вероятности безотказной работы для каждого элемента системы в заданный момент времени и на основе полученных значений расчет вероятности безотказной работы системы в целом. Однако практическая реализация оперативного мониторинга определяет ряд особенностей данного процесса, препятствующих применению тривиальных решений при планировании и организации мероприятий мониторинга. К особенностям оперативного мониторинга можно отнести:

- при отказе средства мониторинга отсутствуют временные ресурсы для его восстановления, то есть реализация ремонтных работ невозможна в процессе мониторинга. Данная ситуация описывает случай, когда при отказе средства системы или ухудшении качества функционирования элемента системы до уровня, не позволяющего считать результаты мониторинга удовлетворительными, у оператора системы нет времени на ремонт и восстановление средства мониторинга [1];

- в процессе мониторинга участвует то число средств мониторинга, которое было определено на этапе планирования данных мероприятий, то есть у оператора системы мониторинга отсутствует возможность увеличения числа средств мониторинга в процессе его реализации [1].

Аналитические решения записываются аналогично (4)...(6). Однако в общем случае на практике возникают ситуации, когда мониторинг ведется одновременно несколькими системами. Тогда для общей системы мониторинга вероятность безотказной работы будет определяться на основе общей теоремы о повторении опытов [2]:

$$P = \prod_{i=1}^n (P_i z + (1 - P_i)), \quad (7)$$

где P_i – вероятность события, при котором считается, что система мониторинга вышла из рабочего состояния; $(1 - P_i) = Q_i$ – вероятность рабочего состояния системы.

Тогда вероятность P_i определяют по значениям коэффициентов производящей функции [3]:

$$\phi(z) = \sum_{\alpha=0}^m P_{\alpha} z^{\alpha}. \quad (8)$$

В случае мониторинга для целей оперативного управления целесообразно рассматривать ситуацию, когда в системе мониторинга отказали все средства, то есть все критерии оценки ниже необходимого уровня [4], [5]. В этом случае при определении вероятности отказа для общей системы в целом достаточно ограничиться производением вероятностей отказов соответствующих подсистем, то есть:

$$P = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (9)$$

где P – вероятность отказа системы мониторинга; P_i – вероятности отказа ее подсистем; n – число систем мониторинга.

Модельный случай 1 – одна система мониторинга. Пусть среда мониторинга характеризуется интенсивностью отказов средств наблюдения $\lambda = 0,1 \text{ мин}^{-1}$, а необходимый уровень вероятности мониторинга $P_{кр} = 0,8$, то есть при превышении данного значения вариант мониторинга отклоняется; границы производственной зоны полифункционального текстильного комплекса определяет требуемое время качественного мониторинга 35 мин.

Применяя формулу (6), получаем зависимости для оценки вероятности состояний системы мониторинга. Например, для состояния 3 записывается следующее выражение:

$$P_3(t) = 1 - \left[1 + 0,1t + \frac{(0,1t)^2}{2!} + \frac{(0,1t)^3}{3!} \right] \exp(-0,1t).$$

Состояние 3 вербально можно представить так: система состоит из трех средств наблюдения, и все три средства в рассматриваемый момент времени отказали. Остальные зависимости получены аналогично, результаты представлены на рис. 1 (результаты оценки вероятности состояний системы мониторинга).

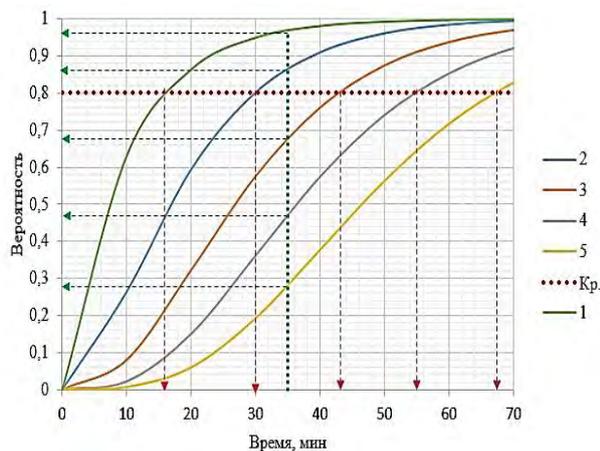


Рис. 1

Модельный случай 2 – несколько систем мониторинга. Рассмотрим каскад деструктивных событий полифункционального текстильного производства. Для наблюдения за параметрами чрезвычайной ситуации необходима работа двух систем мониторинга с параметрами: система 1 состоит из $m_1=2$ средств мониторинга в условиях среды мониторинга $\lambda_1=0,1 \text{ мин}^{-1}$; система 2: $m_2=3$ и $\lambda_2=0,2 \text{ мин}^{-1}$ соответственно. Требуется определить: продолжительность мониторинга, при которой вероятность безотказной работы системы мониторинга будет не менее $Q=0,8$ ($P=1 - 0,8 = 0,2$). Результаты расчета по предложенной модели представлены на рис. 2 (результаты нестационарной оценки вероятности безотказной работы систем мониторинга).

Анализируя данные, полученные с помощью аналитических решений системы (1) (рис. 1), можно сделать вывод, что для качественного мониторинга в условиях среды ($\lambda=0,1 \text{ мин}^{-1}$) в течение требуемого времени (35 мин) необходима система мониторинга, состоящая из трех средств наблюдения.

Обратная задача анализа полученных данных сводится к оценке вероятности функционирования системы мониторинга, состоящей из средств наблюдения. Например, для принятых исходных данных имеем, что система мониторинга, состоящая из двух средств наблюдения с вероятностью 0,86 на момент времени 35 мин будет не функциональна.

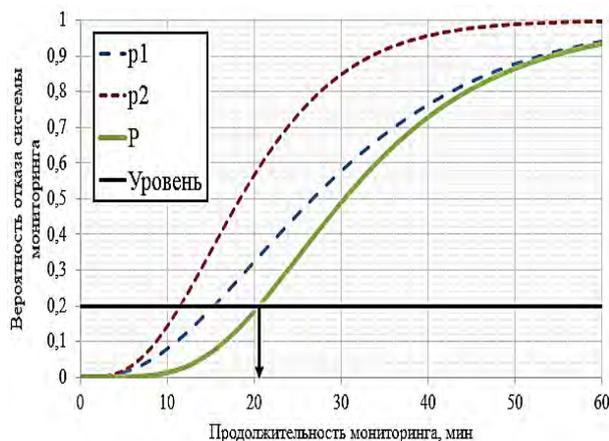


Рис. 2

Из рис. 2 можно сделать вывод, что при вероятности безотказной работы 0,8 (Уровень) система мониторинга сможет функционировать 20 мин.

ВЫВОДЫ

1. В работе дано теоретическое обобщение математических моделей мониторинга параметров, определяющих возникновение и развитие деструктивных событий, на примере полифункционального текстильного производства.

2. На основе предложенной математической модели получены решения прямой и обратной задачи планирования мониторинга при заданном уровне качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баканов М.О., Смирнов В.А., Анкудинов М.В. К вопросу о резервировании и управлении беспилотными воздушными судами при мониторинге ландшафтных пожаров // Мониторинг. Наука и технологии. – 2016, № 4 (29). С. 77...79.
2. Баканов М.О., Тараканов Д.В., Анкудинов М.В. Модель мониторинга для оперативного управления при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций // Мониторинг. Наука и технологии. – 2017, № 3 (32). С. 77...80.
3. Пицык В.В. Модель прогнозирования нестационарного состояния измерительной техники с параметрическими отказами // Метрология. – 2010, №3. С. 3...15.
4. Тараканов Д.В. Метод модификации векторного критерия в системе поддержки принятия решения при тушении крупного пожара // Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности". – 2010, №2. - <http://ipb.mos.ru/ttb>.

5. Теребнев В.В., Грачев В.А., Тараканов Д.В. Методика принятия управленческих решений при тушении пожара в условиях многокритериальности // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2009, № 4. С. 35...43.

REFERENCES

1. Bakanov M.O., Smirnov V.A., Ankudinov M.V. К вопросу о резервировании и управлении беспилотными воздушными судами при мониторинге ландшафтных пожаров // Monitoring. Nauka i tehnologii. – 2016, № 4 (29). S. 77...79.

2. Bakanov M.O., Tarakanov D.V., Ankudinov M.V. Model monitoringa dlya operativnogo upravleniya pri likvidacii pozharov i chrezvychajnyh situacij // Monitoring. Nauka i tehnologii. – 2017, № 3 (32). S.77...80.

3. Picyk V.V. Model prognozirovaniya nestacionarnogo sostoyaniya izmeritelnoj tehniki s parametricheskimi otkazami // Metrologiya. – 2010, №3. S. 3...15.

4. Tarakanov D.V. Metod modifikacii vektornogo kriteriya v sisteme podderzhki prinyatiya resheniya pri tushenii krupnogo pozhara // Internet-zhurnal "Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti". – 2010, №2. - <http://ipb.mos.ru/ttb>.

5. Terebnev V.V., Grachev V.A., Tarakanov D.V. Metodika prinyatiya upravlencheskih reshenij pri tushenii pozhara v usloviyah mnogokriterialnosti // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashenie, likvidaciya. – 2009, № 4. S. 35...43.

Рекомендована кафедрой пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ (в составе УНК "Пожаротушение"). Поступила 12.02.18.