

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ И МОНИТОРИНГА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

И. Ю. Святенко, кандидат технических наук;

О. С. Волков. ВНИИ ГОЧС (ФЦ) МЧС России.

К. А. Афанасьев;

А. В. Фирсов. Академия ГПС МЧС России.

Г. Б. Трефилов;

В. Л. Ярош. Сибирский региональный центр МЧС России

Анализируется вопрос о целесообразности создания автоматизированной системы мониторинга инженерных сооружений в качестве единой системы. Для анализа используется методика оценки статистических характеристик работы единой системы мониторинга инженерных сооружений как системы массового обслуживания.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, процесс прогнозирования, система безопасности, жизнеобеспечение объекта, автоматизация

INFORMATION STREAMS MODELLING IN SAFETY AND MONITORING INTEGRATED SYSTEMS OF POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS

Y. Svyatenko, O. S. Volkov, K. A. Afanas'ev, A.V. Firsov, G. B. Trefilov, V. L. Yarosh

The question on expediency of creation of the automated system of monitoring of engineering constructions as uniform system is analyzed. For the analysis the technique of an estimation of statistical characteristics of work of uniform system of monitoring of engineering constructions as systems of mass service is used.

Key words: an extreme situation, process of forecasting, system of safety, life-support of object, automation

Для повышения оперативности предупреждения чрезвычайных ситуаций, обеспечения устойчивости функционирования системы жизнеобеспечения и мониторинга технологических процессов на контролируемых объектах, поддержки принятия управленческих решений в процессе устранения нештатных ситуаций, в том числе пожаров и взрывов [1, 2], за счет автоматизации аппаратными и программными средствами процессов прогнозирования и обнаружения отказа технологического оборудования, его идентификации и передачи информации о нем соответствующим службам создаются системы мониторинга инженерных сооружений (СМИС) [3].

К преимуществам создания единых автоматизированных систем мониторинга потенциально опасных объектов, зданий и инженерных сооружений можно отнести следующие:

- повышение эффективности взаимодействия между структурными единицами систем безопасности и жизнеобеспечения объекта, особенно при возникновении чрезвычайных ситуаций, когда требуется взаимодействие нескольких служб;

- возможность разделения потоков контролируемых сигналов внутри самой системы, осуществления преимущественной специализации структурных единиц системы, то есть ведения более гибкой работы по контролю и обработке информации от различных подсистем;

- разгрузка дежурных служб за счет несовпадения часов наибольшей нагрузки в различных службах;

– использование общей базы данных и части программного обеспечения для решения смежных задач нескольких подсистем позволит рационально использовать технические средства и избежать несоответствия данных об одних и тех же параметрах у различных служб;

– экономия линий связи, в том числе линий связи между подсистемами;

– одновременный контроль параметров всей совокупности систем обеспечения безопасности и жизнедеятельности объекта.

При создании единой системы мониторинга инженерных сооружений значительно повысится оперативность получения необходимой информации от подсистем и понизится вероятность ошибки и потери информации.

Для анализа целесообразности интеграции подсистем рассмотрим методику [4] оценки статистических характеристик работы единой системы мониторинга инженерных сооружений, как системы массового обслуживания. Сигналы мониторинга технологических процессов, процессов функционирования оборудования систем жизнеобеспечения объекта, сигналов об аварийных ситуациях и передачи информации по каналам связи в дежурно-диспетчерские службы будем рассматривать как поток вызовов.

Соотношения, описывающие работу СМИС как систему массового обслуживания

Рассмотрим общие понятия и принципы, лежащие в основе расчетов по оценке функционирования СМИС. Различные контролируемые параметры, поступающие в единую систему от различных подсистем, распределяются в зависимости от их специализации. Будем считать, что поток вызовов, отражающих нарушения в нормальном процессе функционирования подсистем, вызванный аварийными ситуациями, поступающий в СМИС является пуассоновским [5]. Его функция распределения $F(t)$ длины промежутка времени между двумя последовательными вызовами и плотность $P(t)$ определяются по формулам (1) и (2) соответственно:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, t > 0; \quad (1)$$

$$P(t) = \lambda e^{-\lambda t}, t > 0, \quad (2)$$

где t – время; λ – интенсивность потока вызовов. Продолжительность обслуживания вызова является случайной величиной и подчиняется показательному закону распределения с параметром $\mu = 1 / T_{\text{обсл}}$ (μ – интенсивность обслуживания, $T_{\text{обсл}}$ – среднее время обслуживания):

$$F(t) = 1 - e^{-\mu t}, t > 0;$$

$$P(t) = \mu e^{-\mu t}, t > 0.$$

Занятость каналов обслуживания вызовов определяется по формуле Эрланга, задающей вероятность того, что обслуживанием занято ровно k -каналов (общее число каналов обслуживания – n).

$$P_k = \frac{\frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k}{\sum_{s=0}^n \frac{1}{s!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^s}, \text{ где } k = 0, 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

Подставив n вместо k в (3) и обозначив $\rho = \lambda / \mu$

(ρ – приведенная интенсивность потока вызовов), получим формулу для вероятности отказа в обслуживании вызова)

$$P_{отк} = \frac{\rho^n}{\sum_{S=0}^n \frac{\rho^S}{S!}} .$$

Вероятность того, что вызов будет немедленно обслужен СМИС с количеством обслуживающих каналов, равным n (относительная пропускная способность), дополняет $P_{отк}$ до 1:

$$q = 1 - P_{отк} .$$

Абсолютная пропускная способность такой системы обслуживания вычисляется по формуле

$$A = \lambda \cdot q = \lambda (1 - P_{отк}) .$$

Эффективность функционирования СМИС

Вероятностные характеристики функционирования СМИС по статистическим характеристикам работы отдельных подсистем определяются по обобщенным формулам Эрланга. В частности, вероятность того, что обслуживанием вызовов, поступающих от m - независимых потоков одновременно, занято k -каналов обслуживания, определяется по формуле:

$$P_k = \frac{\rho^k}{\sum_{S=0}^n \frac{\rho^S}{S!}}, k = 0, 1, \dots, n; \rho = \rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_m , \quad (4)$$

где n – общее число каналов обслуживания; ρ_i – приведенная интенсивность i -го потока, то есть отношение интенсивности потока вызовов λ_i к интенсивности их обслуживания μ_i .

Вероятность отказа в обслуживании (вероятность того, что все каналы обслуживания заняты) для одной системы с количеством каналов обслуживания n , и приведенной интенсивностью ρ , [6] будет следующей:

$$P_{n1} = \frac{\rho_1^{n1}}{\sum_{S=0}^{n1} \frac{\rho_1^S}{S!}} . \quad (5)$$

Предположим, существует две системы обслуживания с числом каналом обслуживания n_1 и n_2 и приведенными интенсивностями ρ_1 и ρ_2 соответственно. Тогда вероятность отказа в обслуживании для единой системы обслуживания выразится формулой (4) при $k = n_1 + n_2$

$$P_{n_1+n_2} = \frac{(\rho_1 + \rho_2)^{n_1+n_2}}{\sum_{S=0}^{n_1+n_2} \frac{(\rho_1 + \rho_2)^S}{S!}} . \quad (6)$$

Определим, при каких соотношениях параметров n_1, n_2, ρ_1, ρ_2 , вероятность отказа в обслуживании вызова единой системой обслуживания будет меньше, чем в отдельных системах обслуживания (например, с параметрами n_1 и ρ_1), иными словами, рассмотрим неравенство:

$P_{n_1+n_2} < P_n$, что с учетом (5) и (6) эквивалентно:

$$\frac{(n_1+n_2)!}{(\rho_1+\rho_2)^{n_1+n_2}} \sum_{j=0}^{n_1+n_2} \frac{(\rho_1+\rho_2)^j}{j!} > \frac{n_1!}{\rho_1^{n_1}} \sum_{i=0}^{n_1} \frac{\rho_1^i}{i!}. \quad (7)$$

Достаточным условием выполнения неравенства $P_{n_1+n_2} < P_n$ является соотношение $n_2/\rho_2 \geq n_1/\rho_1$ при условии, что n_1, n_2 – натуральные числа, а ρ_1, ρ_2 – числа положительные.

Сравним правую и левую части неравенства (7) почленно. Рассмотрим последние n_1 слагаемых левой и правой частей. Легко проверить, что при $q=0$ оба слагаемых равны 1. При $q=1$ предпоследние слагаемые имеют вид:

$$\frac{(n_1+n_2)!}{(\rho_1+\rho_2)^{n_1+n_2}} \cdot \frac{(\rho_1+\rho_2)^{n_1+n_2-1}}{(n_1+n_2-1)!} \geq \frac{n_1!}{\rho_1^{n_1}} \cdot \frac{\rho_1^{n_1-1}}{(n_1-1)!}.$$

После преобразований получаем эквивалентное неравенство:

$$\frac{n_1+n_2}{\rho_1+\rho_2} \geq \frac{n_1}{\rho_1}.$$

Последнее неравенство следует из $n_2/\rho_2 \geq n_1/\rho_1$.

Для любого q (при $2 \leq q \leq n$) выпишем соответствующие слагаемые в (7):

$$\frac{(n_1+n_2)!}{(\rho_1+\rho_2)^{n_1+n_2}} \cdot \frac{(\rho_1+\rho_2)^{n_1+n_2-q}}{(n_1+n_2-q)!} \geq \frac{n_1!}{\rho_1^{n_1}} \cdot \frac{\rho_1^{n_1-q}}{(n_1-q)!}.$$

После преобразований получим:

$$\frac{(n_1+n_2-q+1) \cdot \dots \cdot (n_1+n_2)}{(\rho_1+\rho_2)^q} \geq \frac{(n_1-q+1) \cdot \dots \cdot n_1}{\rho_1^q}. \quad (8)$$

Для доказательства последнего неравенства достаточно показать, что множители левой части больше соответствующих множителей правой. Введем нумерацию соответствующих множителей с помощью индекса r (при $r=0, 1, \dots, q-1$).

Рассмотрим множители с номером r в (8):

$$\frac{n_1+n_2-r}{\rho_1+\rho_2} \geq \frac{n_1-r}{\rho_1}.$$

После преобразования получим:

$$n_2\rho_1 - n_1\rho_2 + r\rho_2 \geq 0.$$

Справедливость последнего неравенства следует из очевидного неравенства $r\rho_2 \geq 0$.

Таким образом, последние n_1 слагаемых левой части неравенства (7) больше или

равны соответствующим слагаемым правой части для любого q .

Поскольку $n_1 > 0$ и $n_2 > 0$, то в левой части неравенства (7) помимо рассмотренных присутствуют положительные слагаемые и, следовательно, оно является строгим.

Таким образом, в случае, если имеет место равенство $n_2/\rho_2 = n_1/\rho_1$, то $P_{n_1+n_2} < P_{n_1}$ и $P_{n_1+n_2} < P_{n_2}$.

Выводы

1. Для оценки интенсивности приема вызовов каналами обслуживания предлагается применять метод агрегированного показателя, позволяющий использовать данные наблюдений в случае, когда число обследованных вызовов различно для разных каналов обслуживания.

2. При оценке целесообразности создания единой СМИС, с числом каналов обслуживания n_1+n_2 , с точки зрения теории массового обслуживания (вероятность отказа в обслуживании вызова меньше) на основе каналов обслуживания двух служб с параметрами $\rho_1 = \lambda_1/\mu_1$, n_1 для первого и $\rho_2 = \lambda_2/\mu_2$, n_2 для второго можно утверждать следующее:

а) достаточным условием целесообразности создания единой СМИС является равенство отношений числа каналов обслуживания к приведенной интенсивности потока вызовов двух и более каналов обслуживания $n_1/\rho_1 = n_2/\rho_2$;

б) вероятность отказа в обслуживании вызова единой СМИС будет меньше вероятности отказа в обслуживании вызова первого (второго, n -го) канала обслуживания при выполнении соотношения $n_2/\rho_2 \geq n_1/\rho_1$ или $n_2/\rho_2 \leq n_1/\rho_1$.

3. На практике граничные условия целесообразности создания единой СМИС значительно шире условий достаточности.

4. Для вычисления вероятности отказа действующей единой СМИС при известных средних временах обслуживания вызовов каждого из двух потоков каждым каналом обслуживания целесообразно использовать формулу для вычисления вероятности состояний системы массового обслуживания с двумя входящими потоками и приборами разной производительности. При этом закон распределения времени обслуживания вызовов каналом обслуживания может быть произвольным.

Литература

1. Топольский Н. Г. Основы автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов. – М., 1997 – 164 с.

2. Топольский Н. Г., Таранцев А. А., Чумаченко А. П. Экспресс-выбор параметров систем массового обслуживания в АСУ пожарной охраны // Пожаровзрывобезопасность. – 2000. – № 1. – С. 7–11.

3. Методика оценки систем безопасности и жизнеобеспечения на потенциально опасных объектах, зданиях и сооружениях / С. А. Качанов, Н. Г. Топольский, О. С. Волков и др. / Федеральный центр науки и высоких технологий «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций». – М., 2003. – 24 с.

4. Журавлев В. А. Применение обобщенной формулы Эрланга для оценки характеристик единого диспетчерского пункта // Информатизация систем безопасности – ИСБ-96: Материалы Междун. конф. – М., 1996. – С. 62–64.

5. Брушлинский Н. Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы. – М., 1998.

6. Erlang A. K. Solution of Some Problems in the Theory of Probabilities of Significance in Automatic Telephone Exchanges // The Post Office Electrical Engineers Journal. – 1918. – Vol. 10. – P. 189–197.