

Топольский Н.Г., Святенко И.Ю., Холостов А.Л., Трефилов Г.Б., Ярош В.Л.  
**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
БЕЗОПАСНОСТИ И ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ  
КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ КАК ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ**

**Аннотация.** Рассматривается вопрос о целесообразности создания автоматизированной интегрированной системы безопасности и жизнеобеспечения критически важных объектов. Для анализа используется методика оценки статистических характеристик работы такой системы, как системы массового обслуживания.

## **ВВЕДЕНИЕ**

С целью существенного повышения оперативности предупреждения чрезвычайных ситуаций, обеспечения устойчивости функционирования системы безопасности и жизнеобеспечения на контролируемых критически важных объектах (КВО), поддержки принятия управленческих решений в процессе устранения нештатных ситуаций, в том числе пожаров и взрывов [1, 2, 7], за счет автоматизации аппаратными и программными средствами процессов прогнозирования и обнаружения отказа технологического оборудования, его идентификации и передачи информации о нем соответствующим службам создаются автоматизированные интегрированные системы безопасности и жизнеобеспечения (АИСБЖО) [3].

К преимуществам создания АИСБЖО КВО 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, т.е. 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 АИСБЖО 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 АИСБЖО, 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.

## ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ, ОПИСЫВАЮЩИЕ РАБОТУ АИСБЖО, КАК СИСТЕМУ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Рассмотрим общие понятия и принципы, лежащие в основе расчетов по оценке функционирования АИСБЖО.

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 АИСБЖО является пуассоновским [5]. Его функция распределения  $F(t)$  длины промежутка времени между двумя последовательными вызовами и плотность  $P(t)$  определяются по формулам (1), (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;  $\lambda$  - интенсивность потока вызовов.

Продолжительность обслуживания вызова является случайной величиной и подчиняется показательному закону распределения с параметром  $\mu = 1 / T_{обсл}$  ( $\mu$  - интенсивность обслуживания,  $T_{обсл}$  - среднее время обслуживания):

$$F(t) = 1 - e^{-\mu t}, t > 0; \quad (3)$$

$$P(t) = \mu e^{-\mu t}, t > 0. \quad (4)$$

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

$$P_k = \frac{\frac{1}{k!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^k}{\sum_{s=0}^n \frac{1}{s!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^s} \quad \text{где } k = 0, 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Подставив  $n$  вместо  $k$  в (5) и обозначив  $\rho = \lambda / \mu$

( $\rho$  - приведенная интенсивность потока вызовов), получим формулу для вероятности отказа в обслуживании вызова)

$$P_{отк} = \frac{\frac{\rho^n}{n!}}{\sum_{s=0}^n \frac{\rho^s}{s!}} \quad (6)$$

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

$$q = 1 - P_{отк} \quad (7)$$

Абсолютная пропускная способность такой системы обслуживания вычисляется по формуле

$$A = \lambda * q = \lambda (1 - P_{отк}) \quad (8)$$

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АИСБЖО

Вероятностные характеристики функционирования АИСБЖО 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:

$$P_k = \frac{\frac{\rho^k}{k!}}{\sum_{s=0}^n \frac{\rho^s}{s!}}, \quad k = 0, 1, \dots, n; \quad \rho = \rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_m \quad (9)$$

где  $n$  - общее число каналов обслуживания,  $\rho_i$  - приведенная интенсивность  $i$ -го потока, т.е. отношение интенсивности потока вызовов  $\lambda_i$  к интенсивности их обслуживания  $\mu_i$ .

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

$$P_{n1} = \frac{\frac{\rho_1^{n1}}{n_1!}}{\sum_{s=0}^{n1} \frac{\rho_1^s}{s!}} \quad (10)$$

Предположим, существует две системы обслуживания с числом каналом обслуживания  $n_1$ , и  $n_2$  и приведенными интенсивностями  $\rho_1$ , и  $\rho_2$  соответственно. Тогда вероятность отказа в обслуживании для единой системы обслуживания выразится формулой (9) при  $k = n_1 + n_2$

$$P_{n_1+n_2} = \frac{(\rho_1 + \rho_2)^{n_1+n_2}}{(n_1 + n_2)!} \sum_{s=0}^{n_1+n_2} \frac{(\rho_1 + \rho_2)^s}{s!} \quad (11)$$

Определим, при каких соотношениях параметров  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ , вероятность отказа в обслуживании вызова единой системой обслуживания будет меньше, чем в отдельных системах обслуживания (например, с параметрами  $n_1$  и  $\rho_1$ ), иными словами, рассмотрим неравенство:  $P_{n_1+n_2} < P_{n_1}$ , что с учетом (10), (11) эквивалентно

$$\frac{(n_1 + n_2)!}{(\rho_1 + \rho_2)^{n_1+n_2}} \sum_{j=0}^{n_1+n_2} \frac{(\rho_1 + \rho_2)^j}{j!} > \frac{n_1!}{\rho_1^{n_1}} \sum_{i=0}^{n_1} \frac{\rho_1^i}{i!} \quad (12)$$

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

Сравним правую и левую части неравенства (12) 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 (12):

$$\frac{(n_1 + n_2)!}{(\rho_1 + \rho_2)^{n_1+n_2}} \cdot \frac{(\rho_1 + \rho_2)^{n_1+n_2-1}}{(n_1 + n_2 - 1)!} \geq \frac{n_1!}{\rho_1^{n_1}} \cdot \frac{\rho_1^{n_1-1}}{(n_1 - 1)!} \quad (13)$$

После преобразований получаем эквивалентное неравенство:

$$\frac{n_1 + n_2}{\rho_1 + \rho_2} \geq \frac{n_1}{\rho_1} \quad (14)$$

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

Для любого  $q$  (при  $2 \leq q \leq n_1$ ) выпишем соответствующие слагаемые в (12):

$$\frac{(n_1 + n_2)!}{(\rho_1 + \rho_2)^{n_1+n_2}} \cdot \frac{(\rho_1 + \rho_2)^{n_1+n_2-q}}{(n_1 + n_2 - q)!} \geq \frac{n_1!}{\rho_1^{n_1}} \cdot \frac{\rho_1^{n_1-q}}{(n_1 - q)!} \quad (15)$$

После преобразований получим:

$$\frac{(n_1 + n_2 - q + 1) \cdot \dots \cdot (n_1 + n_2)}{(\rho_1 + \rho_2)^q} \geq \frac{(n_1 - q + 1) \cdot \dots \cdot n_1}{\rho_1^q} \quad (16)$$

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

Рассмотрим сомножители с номером  $r$  в (16):

$$\frac{n_1 + n_2 - r}{\rho_1 + \rho_2} \geq \frac{n_1 - r}{\rho_1} \quad (17)$$

После преобразования получим:

$$n_2 \rho_1 - n_1 \rho_2 + r \rho_2 \geq 0 \quad (18)$$

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

Таким образом, последние  $n_1$  слагаемых левой части неравенства (12) больше или равны соответствующим слагаемым правой части для любого  $q$ .

Поскольку  $n_1 > 0$  и  $n_2 > 0$ , то в левой части неравенства (12) 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

При оценке целесообразности создания АИСБЖО с числом каналов обслуживания  $n_1 + n_2$  с точки зрения теории массового обслуживания (вероятность отказа в обслуживании вызова меньше) на основе двух (и более) каналов обслуживания 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.

1. Достаточным условием целесообразности создания единой АИСБЖО является равенство отношений числа каналов обслуживания к приведенной интенсивности потока вызовов двух каналов обслуживания  $n_1/\rho_1 = n_2/\rho_2$ .

2. Вероятность отказа в обслуживании вызова единой АИСБЖО будет меньше вероятности отказа в обслуживании вызова первой (второй,  $n$ -ной) системой обслуживания при выполнении соотношения  $n_2/\rho_2 \geq n_1/\rho_1$  или  $n_2/\rho_2 \leq n_1/\rho_1$ , соответственно.

На практике граничные условия необходимости создания единой системы гораздо шире условий достаточности.

#### Литература

1. Топольский Н.Г. Основы автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов. –М.: МИПБ МВД России, 1997 – 164 с.
2. Н.Г. Топольский, А.А. Таранцев, А.П. Чумаченко. Экспресс-выбор параметров систем массового обслуживания в АСУ пожарной охраны. "Пожаровзрывобезопасность" № 1, 2000 - С. 7-11.
3. Качанов С.А., Топольский Н.Г., Волков О.С. и др. Методика оценки систем безопасности и жизнеобеспечения на потенциально опасных объектах, зданиях и сооружениях. 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 пятой международной конференции. –М.: МИПБ МВД РФ, 1996. – С. 62-64.
5. Брушлинский Н.Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы. – М. МИПБ МВД России, 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.
7. Топольский Н.Г., Тетерин И.М., Гудков А.С. Основы создания автоматизированных систем пожарной безопасности объектов: Учебное пособие. –М.: Академия ГПС МЧС России, 2006. –60 с.