

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ



И.В. Атласов,
*доктор физико-математических наук,
профессор*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЦЕНТРА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

MATHEMATICAL MODEL STUDY OF THE EFFICIENCY OF THE CENTER OF INFORMATION PROCESSING

В центрах обработки информации приходящие контейнеры с информацией должны фиксироваться счетчиком и обрабатываться. В течение некоторого фиксированного времени счетчик не может фиксировать другие контейнеры. Целью работы является вычисление вероятности обнаружения контейнера.

In a data processing centers containers of information must be recorded and processed by the counter. After the arrival of the container processing center handles a container for a fixed time and the counter may not fix the other containers. The aim is to compute the probability of detection of the container.

1. Введение

В работе изучается эффективность работы учреждения (устройства), которое будем называть центром обработки информации. Это связано с тем, что в это учреждение приходят массивы информации, которые будем называть контейнерами с информацией. Контейнеры фиксируются некоторым устройством, которое будем называть счетчиком. Сразу же после фиксации все ресурсы центра обработки информации бросаются на обслуживание этого контейнера. То есть он обрабатывается центром обработки информации некоторое время τ , и счетчик не может фиксировать другие контейнеры.

Центром обработки информации может быть не очень мощный компьютер, присоединенный к сети, который во время обработки сигнала не может принимать другие

контейнеры, например, из-за получения большого объема информации сеть во время приема информации недоступна.

Центром обработки информации может быть ОВД, куда обращаются, чтобы полицейские могли срочно выполнить определенную команду. Если телефонная сеть недоступна, то выгоднее обратиться в другое ОВД с аналогичной задачей.

Центром обработки информации может быть навигатор, на который приходят контейнеры с информацией о «пробках» на дорогах. Естественно предположить, что во время построения маршрута навигатор пользуется данными о «пробках» до момента выбора маршрута и не реагирует на данные о «пробках» на дорогах, пришедшие во время выбора маршрута.

Естественно, возникает важная задача определения эффективности работы центра обработки информации, решением которой и займемся. Под эффективностью понимается вероятность учета контейнера информационным центром. Хочется заметить, что в таком виде задача ставится впервые.

2. Составление и решение дифференциальных уравнений для нахождения вероятности учета контейнера информационным центром

Обозначим через $A(t_1, t_2)$ событие, состоящее в том, что на интервале времени $[t_1, t_2]$ все контейнеры сосчитаны, через $B_k(t_1, t_2)$ — событие, состоящее в том, что счетчик обнаружил ровно k контейнеров за интервал времени $[t_1, t_2]$.

Предположим, что справедливы следующие предположения:

1. Если рассмотреть величину равную отношению количества пришедших контейнеров к длине интервала для достаточно больших интервалов, то получим число, которое пропорционально длине временного интервала и не зависит от его положения на временной оси, из чего следует, что моменты прихода контейнеров имеют одинаковую среднюю плотность.

2. Время прихода контейнеров распределяется на временной оси независимо друг от друга.

3. Одновременное появление двух и более контейнеров маловероятно.

Из этих трех условий [1] следует, что контейнеры появляются с некоторой интенсивностью a по закону Пуассона.

$$P(B_k(t_1, t_2)) = \frac{(a(t_2 - t_1))^k}{k!} e^{-a(t_2 - t_1)}. \quad (1)$$

Приступим к составлению дифференциального уравнения. Пусть t и Δt — числа, означающие некоторые моменты времени. Рассмотрим ряд случаев расположения этих чисел на временной оси.

1. Пусть $0 < t < \tau$ и $\Delta t > 0$, причем $t + \Delta t < \tau$. Расположение временных точек показано на рис. 1.



Рис. 1

Имеем

$$\begin{aligned} A(0, t + \Delta t) &= B_0(0, t)B_1(t, t + \Delta t) + B_0(0, t)B_0(t, t + \Delta t) + B_1(0, t)B_0(t, t + \Delta t) + C = \\ &= B_0(0, t)B_1(t, t + \Delta t) + B_0(t, t + \Delta t)[B_0(0, t) + B_1(0, t)] + C, \end{aligned} \quad (2)$$

где событие C такое событие, что $\frac{P(C)}{\Delta t} \xrightarrow{\Delta t \rightarrow 0} 0$. Событие C содержит сумму и произведение событий вида $B_k(s, s + \Delta t)$ при $k \geq 2$. Из (1) следует, что вероятности этих событий — бесконечно малые более высокого порядка, чем Δt .

Очевидно, что

$$A(0, t) = B_0(0, t) + B_1(0, t) + C_1,$$

где событие C_1 такое, что $\frac{P(C_1)}{\Delta t} \xrightarrow{\Delta t \rightarrow 0} 0$. Поэтому равенство (2) превращается в равенство

$$A(0, t + \Delta t) = B_0(0, t)B_1(t, t + \Delta t) + B_0(t, t + \Delta t)A(0, t) + \bar{C}, \quad (3)$$

где событие \bar{C} такого же вида, как и события C и C_1 . Заметим, что события $A(0, t)B_0(t, t + \Delta t)$ и $B_0(0, t)B_1(t, t + \Delta t)$ несовместимы, так как содержат противоположные события $B_0(t, t + \Delta t)$ и $B_1(t, t + \Delta t)$. Поэтому

$$P(A(0, t + \Delta t)) = P(B_0(0, t)B_1(t, t + \Delta t)) + P(B_0(t, t + \Delta t)A(0, t)) + o(\Delta t). \quad (4)$$

Согласно предположению 2, события $A(0, t)$ и $B_0(t, t + \Delta t)$ независимы. Также независимы события $B_0(0, t)$ и $B_1(t, t + \Delta t)$. Поэтому из (4) следует, что

$$P(A(0, t + \Delta t)) = P(B_0(0, t))P(B_1(t, t + \Delta t)) + P(B_0(t, t + \Delta t))P(A(0, t)) + o(\Delta t). \quad (5)$$

Согласно (1), а также из разложения в ряд Тейлора функции $\exp(-ax)$ следует, что

$$P(B_0(t + \Delta t, t)) = \exp(-a\Delta t) = 1 - a\Delta t + o(\Delta t)$$

$$P(B_1(t + \Delta t, t)) = a\Delta t \exp(-a\Delta t) = a\Delta t(1 - a\Delta t) + o(\Delta t) = a\Delta t + o(\Delta t) \quad (6)$$

$$P(B_0(0, t)) = \exp(-at)$$

Для дальнейшей работы удобно ввести новую величину $\pi(t) = P(A(0, t))$. Подставляя в формулу (5) формулу (6) и $\pi(t)$, получим выражение

$$\pi(t + \Delta t) = \exp(-at)a\Delta t + \pi(t)(1 - a\Delta t) + o(\Delta t)$$

$$\frac{\pi(t + \Delta t) - \pi(t)}{\Delta t} = a \exp(-at) - a\pi(t) + \frac{o(\Delta t)}{\Delta t}$$

Устремляя Δt к нулю, получим линейное неоднородное дифференциальное уравнение [2]

$$\frac{\partial \pi}{\partial t} = -a\pi(t) + a \exp(-at).$$

Рассмотрев начальное условие $\pi(0) = 1$, состоящее в том, что все команды в начальный момент времени посчитаны с вероятностью 1, получим решение в виде [2]

$$\pi(t) = \exp(-at)(1 + at). \quad (7)$$

2. Пусть $n = 2$ и $(n-1)\tau < t < n\tau$ и $\Delta t > 0$, $n \in N$. Расположение временных точек для $n = 2$ приведено на рис. 2. Здесь Δt выбрано настолько малым, чтобы выполнялось неравенство $t + \Delta t < 2\tau$. Из неравенства $\tau < t < 2\tau$ вытекает неравенство $0 < t - \tau < \tau$.

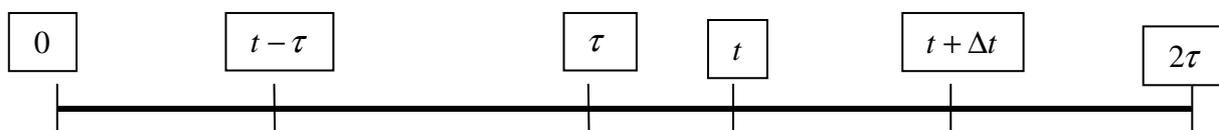


Рис. 2

Имеем

$$\begin{aligned}
 A(0, t + \Delta t) &= \\
 &= B_0(0, t - \tau) B_0(t - \tau, t) B_0(t, t + \Delta t) + \\
 &+ B_0(0, t - \tau) B_0(t - \tau, t) B_1(t, t + \Delta t) + \\
 &+ B_0(0, t - \tau) B_1(t - \tau, t) B_0(t, t + \Delta t) + \\
 &+ B_1(0, t - \tau) B_0(t - \tau, t) B_0(t, t + \Delta t) + \\
 &+ B_1(0, t - \tau) B_0(t - \tau, t) B_1(t, t + \Delta t) + C,
 \end{aligned}$$

где событие C такое событие, что $\frac{P(C)}{\Delta t} \xrightarrow{\Delta t \rightarrow 0} 0$. Упрощая последнее равенство, получим

$$\begin{aligned}
 A(0, t + \Delta t) &= \\
 &= [B_0(0, t - \tau) B_0(t - \tau, t) + B_0(0, t - \tau) B_1(t - \tau, t) + B_1(0, t - \tau) B_0(t - \tau, t)] B_0(t, t + \Delta t) + \quad (8) \\
 &+ [B_0(0, t - \tau) + B_1(0, t - \tau)] B_0(t - \tau, t) B_1(t, t + \Delta t) + C
 \end{aligned}$$

Очевидно, что

$$\begin{aligned}
 A(0, t) &= B_0(0, t - \tau) B_0(t - \tau, t) + B_0(0, t - \tau) B_1(t - \tau, t) + B_1(0, t - \tau) B_0(t - \tau, t) + C_1, \\
 A(0, t - \tau) &= B_0(0, t - \tau) + B_1(0, t - \tau) + C_2,
 \end{aligned}$$

где события C_1 и C_2 такие, что $\frac{P(C_1)}{\Delta t} \xrightarrow{\Delta t \rightarrow 0} 0$ и $\frac{P(C_2)}{\Delta t} \xrightarrow{\Delta t \rightarrow 0} 0$.

Поэтому равенство (8) превращается в равенство

$$A(0, t + \Delta t) = A(0, t) B_0(t, t + \Delta t) + A(0, t - \tau) B_0(t - \tau, t) B_1(t, t + \Delta t) + \bar{C}, \quad (9)$$

где событие \bar{C} такого же вида, как и события C_2 и C_1 . Заметим, что события $A(0, t) B_0(t, t + \Delta t)$ и $A(0, t - \tau) B_0(t - \tau, t) B_1(t, t + \Delta t)$ несовместимы, так как содержат противоположные события $B_0(t, t + \Delta t)$ и $B_1(t, t + \Delta t)$. Поэтому,

$$P(A(0, t + \Delta t)) = P(A(0, t) B_0(t, t + \Delta t)) + P(A(0, t - \tau) B_0(t - \tau, t) B_1(t, t + \Delta t)) + o(\Delta t).$$

События $A(0, t)$ и $B_0(t, t + \Delta t)$ независимы. Также независимы события $A(0, t - \tau)$, $B_0(t - \tau, t)$ и $B_1(t, t + \Delta t)$. Поэтому

$$P(A(0, t + \Delta t)) = P(A(0, t)) P(B_0(t, t + \Delta t)) + P(A(0, t - \tau)) P(B_0(t - \tau, t)) P(B_1(t, t + \Delta t)) + o(\Delta t). \quad (10)$$

Подставляя в формулу (10) формулу (6), имеем

$$\pi(t + \Delta t) = \pi(t)(1 - a\Delta t) + \pi(t - \tau)\exp(-a\tau)a\Delta t + o(\Delta t),$$

$$\frac{\pi(t + \Delta t) - \pi(t)}{\Delta t} = -a\pi(t) + a\pi(t - \tau)\exp(-a\tau) + \frac{o(\Delta t)}{\Delta t}.$$

Устремляя Δt к нулю, получим дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial \pi}{\partial t} = -a\pi(t) + a\pi(t - \tau)\exp(-a\tau). \quad (11)$$

Подставляя (7) в (11), имеем дифференциальное уравнение [3]

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi}{\partial t} &= -a\pi(t) + a\pi(t - \tau)\exp(-a\tau) = -a\pi(t) + a\exp(-a(t - \tau))(1 + a(t - \tau))\exp(-a\tau) = \\ &= -a\pi(t) + a\exp(-at)(1 + a(t - \tau)) \end{aligned} \quad (12)$$

Согласно (7), начальное условие в точке τ можно определить равенством

$$\pi(\tau) = \exp(-a\tau)(1 + a\tau). \quad (13)$$

Простая проверка позволяет убедиться, что решением уравнения (12) при условии (13) будет функция

$$\pi(t) = \exp(-at) \left(1 + at + \frac{a^2(t - \tau)^2}{2!} \right). \quad (14)$$

Вопросы единственности решения рассмотрены в [3].

Пользуясь методом математической индукции, покажем, что для $(n - 1)\tau \leq t \leq n\tau$ имеет место равенство

$$\pi(t) = \exp(-at) \sum_{k=1}^{k=n} \frac{a^k [t - (k - 1)\tau]^k}{k!}. \quad (14a)$$

$$\text{Пусть } (n - 2)\tau \leq t \leq (n - 1)\tau \text{ и } \pi(t) = \exp(-at) \sum_{k=1}^{k=n-1} \frac{a^k [t - (k - 1)\tau]^k}{k!}. \quad (15)$$

В этом случае при $(n - 1)\tau \leq t \leq n\tau$ аналогично доказываются равенства

$$\begin{aligned} A(0, t + \Delta t) &= A(0, t)B_0(t, t + \Delta t) + A(0, t - \tau)B_0(t - \tau, t)B_1(t, t + \Delta t) + C \\ P(A(0, t + \Delta t)) &= P(A(0, t))P(B_0(t, t + \Delta t)) + P(A(0, t - \tau))P(B_0(t - \tau, t))P(B_1(t, t + \Delta t)) + o(\Delta t), \end{aligned} \quad (16)$$

из которого следует уравнение (11). Подставляя сюда выражение (14), имеем

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi}{\partial t} &= -a\pi(t) + a\pi(t - \tau)\exp(-a\tau) = \\ &= -a\pi(t) + a\exp(-a(t - \tau)) \sum_{k=1}^{k=n-1} \frac{a^k [t - \tau - (k - 1)\tau]^k}{k!} \exp(-a\tau) = \\ &= -a\pi(t) + a\exp(-at) \sum_{k=1}^{k=n-1} \frac{a^k [t - k\tau]^k}{k!} \end{aligned} \quad (17)$$

Согласно (15), начальное условие можно определить равенством

$$\pi((n - 1)\tau) = \exp(-a(n - 1)\tau) \sum_{k=1}^{k=n-1} \frac{a^k [(n - 1)\tau - (k - 1)\tau]^k}{k!} = \exp(-a(n - 1)\tau) \sum_{k=1}^{k=n-1} \frac{a^k [(n - k)\tau]^k}{k!}. \quad (18)$$

Покажем, что функция (14) будет решением уравнения (17) при начальных условиях (18).

Имеем

$$\begin{aligned} \pi^*(t) &= \left(\exp(-at) \sum_{k=1}^{k=n} \frac{a^k [t - (k-1)\tau]^k}{k!} \right)^* = \\ &= -a \exp(-at) \sum_{k=0}^{k=n} \frac{a^k [t - (k-1)\tau]^k}{k!} + a \exp(-at) \sum_{k=1}^{k=n} \frac{ka^{k-1} [t - (k-1)\tau]^{k-1}}{(k-1)!k} = \\ &= -a \exp(-at) \sum_{k=0}^{k=n} \frac{a^k [t - (k-1)\tau]^k}{k!} + a \exp(-at) \sum_{k=0}^{k=n-1} \frac{a^k [t - k\tau]^k}{k!} \end{aligned}$$

и, подставляя в (14) условие $t = (n-1)\tau$, получим

$$\pi((n-1)\tau) = \exp(-a(n-1)\tau) \sum_{k=1}^{k=n} \frac{a^k [(n-1)\tau - (k-1)\tau]^k}{k!} = \exp(-a(n-1)\tau) \sum_{k=1}^{k=n-1} \frac{a^k [(n-k)\tau]^k}{k!},$$

что полностью совпадает с (18). Заметим, что равенство (14) можно переписать в виде

$$\pi(t) = \exp(-at) \sum_{k=1}^{\left[\frac{t}{\tau} \right] + 1} \frac{a^k [t - (k-1)\tau]^k}{k!}, \quad (19)$$

которое уже справедливо для всех $t > 0$, где $[x]$ — целая часть числа x .

Здесь хотелось бы заметить, что если τ — случайная величина, то из (19) следует, что посчитана условная вероятность [4]

$$P(A(0,t) | \tau = s) = \exp(-at) \sum_{k=1}^{\left[\frac{t}{s} \right] + 1} \frac{a^k [t - (k-1)s]^k}{k!} \quad (20)$$

и, следовательно, для случайной величины τ , используя формулу полной вероятности [5], имеем

$$P(A(0,t)) = \int_{\Omega} P(A(0,t) | \tau = s) P(\tau \in ds) = \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-at) \sum_{k=1}^{\left[\frac{t}{s} \right] + 1} \frac{a^k [t - (k-1)s]^k}{k!} f_{\tau}(s) ds,$$

где f_{τ} — функция распределения случайной величины τ . В частном случае, если величина τ имеет нормальное распределение с математическим ожиданием b и среднеквадратичным отклонением σ , то получим формулу

$$P(A(0,t)) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \sum_{k=1}^{\left[\frac{t}{s} \right] + 1} \frac{a^k [t - (k-1)s]^k}{k!} \exp\left(-\frac{(s-b)^2}{2\sigma^2} - at\right) ds, \quad (21)$$

позволяющую вычислить эффективность работы центра обработки информации.

3. Заключение

Итак, поставленная в начале работы важная задача об эффективности работы центра обработки информации, полностью решена. В качестве критерия эффективности работы центра обработки информации взята вероятность того, что контейнер, пришедший в центр обработки информации учтен. Заметим, что формула (21) построена при естественных предположениях, является точной и позволяет решить вопрос о необходимости увеличения мощности сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. — М.: УРСС, 2001. — 375 с.
2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. — М.: Высшая школа, 2004. — 245 с.
3. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. — М.: Высшая школа, 2000. — 235 с.
4. Дуб Дж. Л. Вероятностные процессы. — М.: ИЛ, 1956. — 276 с.
5. Дынкин Е.Б., Юшкевич А.А. Теория вероятностей и марковские процессы. — М.: Физматгиз, 1966. — 376 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Атласов Игорь Викторович. Начальник кафедры автоматизированных информационных систем ОВД. Доктор физико-математических наук, профессор.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: vorhmscl@comch.ru

Россия, 394065, Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 2476-472.

Atlasov Igor Victorovich. Chief the chair of automated information systems.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

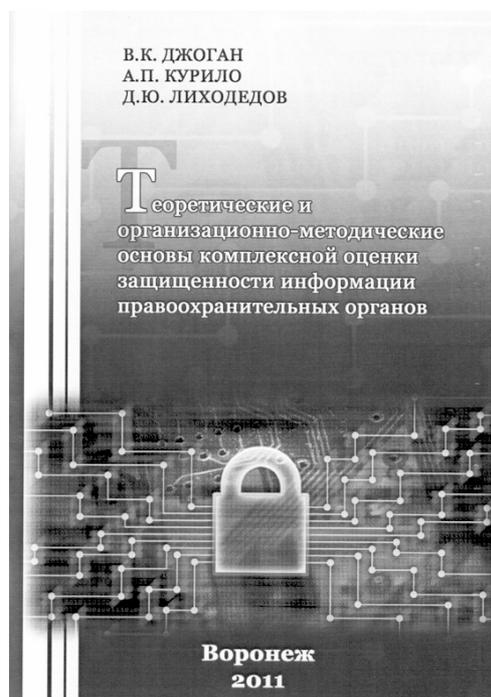
Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 2476-472.

Ключевые слова: дифференциальное уравнение; вероятность; случайная величина.

Key words: differential equation; probability; random variable.

УДК 519.21

ИЗДАНИЯ ВОРОНЕЖСКОГО ИНСТИТУТА МВД РОССИИ



Теоретические и организационно-методические основы комплексной оценки защищенности информации правоохранительных органов: монография / В.К. Джоган, А.П. Курило, Д.Ю. Лиходедов; под научн. ред. С.В. Скрыля. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2011. — 88 с.

В монографии изложены проблемы синтеза системы показателей эффективности защиты компьютерной информации с учетом требований специфики правоохранительной деятельности. Рассматриваются современная постановка проблемы, концептуальные основы синтеза системы показателей для исследования процессов защиты информации в компьютерных системах, приводятся принципы построения математических моделей для оценки характеристик механизмов защиты. Издание рассчитано на научных работников, аспирантов, профессорско-преподавательский состав вузов, а также специалистов в области информационной безопасности.



С.Н. Тростянский,
доктор технических наук, доцент,
Воронежский институт Государственной
противопожарной службы МЧС России

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГОВ АВТОНОМНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ СОЦИОИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

THEORETICAL DETERMINATION OF THE AUTONOMOUS EXISTENCE THRESHOLDS OF THE SOCIOINFORMATION PROCESSES

На основе математического моделирования установлены пороги автономного существования социоинформационных процессов, определяющие пороговый уровень информационной безопасности социальной системы.

On the basis of mathematical modeling the autonomous existence thresholds of the socioinformation processes, which define the threshold level of the social security system, were determined.

Введение

Информационная безопасность государства во многом определяется возможностью корректного прогнозирования происходящих в нем социоинформационных процессов, способностью власти и общества вовремя адаптироваться к этим процессам и предсказуемо влиять на их развитие. Социоинформационные процессы — это социальные процессы во взаимодействии с определяющими их развитие информационными процессами. К таким процессам можно отнести распространение политических [1], экономических [2], технологических [2], криминогенных [3] инноваций. Первоначальное развитие большинства инновационных процессов возможно лишь при внешней информационной поддержке. Однако для целого ряда инноваций эмпирически наблюдается существование порогового уровня, после которого инновационный процесс может продолжать существование и распространение без внешней информационной поддержки [2]. Такой пороговый уровень автономного существования инновационного процесса является пороговым и для информационной безопасности социальной системы. Анализ условий автономного существования социоинформационных процессов возможен на основе рассмотрения моделей диффузии инноваций.

1. Модель диффузии инноваций для динамики социоинформационных процессов

Исследуем динамику распространения инноваций в социальной системе. Рассмотрим сообщество численностью N . Обозначим через y — число индивидов, «зараженных» инновационной идеей «х». Будем считать, что «зараженный» контактирует с n другими индивидами за единичный интервал времени, у каждого из которых вероятность инновационного «заражения» k_1 , при этом $k_1 = k_0 p$, где k_0 — вероятность «заражения» при одном контакте по теме инновации, p — вероятность контакта по теме инновации, то есть актуальность инновации. Иначе говоря, такой индивид «заражает» за единичный интервал времени инновационной идеей «х» $k_1 n$ других индивидов (точнее, $k_1 n$ есть математическое ожидание числа «зараженных»). Вероятность общения «незараженного» члена социальной системы с «зараженным» равна $\frac{y}{N}$, вероятность заражения в результате общения есть произведение этой вероятности на k_1 . Следовательно, вероятность «заражения» хотя бы один раз за n контактов может быть выражена формулой

$$q = 1 - \left(1 - \frac{y}{N} k_1\right)^n.$$

Ввиду малости вероятности k_1 и числа y по сравнению с числом N

$$q \approx k_1 n \frac{y}{N}.$$

При этом ошибка имеет порядок $\frac{k_1^2 y^2}{N}$. Математическое ожидание числа «зараженных» от ранее «заразившихся» за единичный интервал времени равно произведению q на число «незараженных» $g(N-1)$. Кроме такого межличностного «заражения», возможно информационное заражение через средства массовой информации (СМИ). Учтём информационное «заражение» через средства массовой информации. Допустим, что массовость и регулярность информационных сообщений СМИ, пропагандирующих данную инновацию, выражается функцией $M(t)$, вероятность одного сообщения СМИ за единичный интервал времени дойти до аудитории равна k_2 , вероятность воздействия пропагандистского сообщения на «незараженных» членов социальной системы будет соответственно $\left(\frac{N-y}{N}\right)$ и вероятность «заражения» при контакте равна k_3 . Тогда математическое ожидание числа «заразившихся» инновацией за единичный интервал времени под влиянием пропагандистских сообщений СМИ равно $M(t)k_2k_3\frac{(N-y)}{N}$.

Учтём вероятность затухания приверженности инновационной идее «х», за единичный интервал времени, равную g . Тогда математическое ожидание изменения числа «зараженных» за единичный интервал времени можно записать уравнением диффузии инноваций:

$$\frac{dy}{dt} = a \frac{(N-y)}{N} y + M(t)b \frac{(N-y)}{N} - gy, \quad (1)$$

где $a = k_0 p$ — вероятность в единицу времени внутреннего (имитационного) «заражения» через межличностные контакты; $b = k_2 k_3$ — вероятность в единицу времени внешнего (инновационного) заражения под воздействием одного сообщения СМИ.

При анализе уравнения диффузии инновации (1) возможно различное соотношение между вероятностью a «заражения» инновационной идеей и вероятностью её «забывания» g . В частности, в случае, если $M(t) = 0$, то есть процесс имеет чисто имитационный механизм распространения и $a < g$, распространение инновации невозможно. Действительно, для распространения инновации необходимо условие

$$\frac{dy}{dt} = a \frac{(N-y)}{N} y - gy > 0. \quad (2)$$

Таким образом, условие распространения инновации

$$a \left(1 - \frac{y(t)}{N}\right) > g. \quad (3)$$

Следовательно, верхний предел роста инновации определяется неравенством

$$\frac{y(t)}{N} < \frac{a-g}{a}. \quad (4)$$

Следовательно, если $a \leq g$, то инновация не имеет порога выше нулевого значения и распространяться только за счёт имитационного члена $a \frac{(N-y)}{N} y$ не сможет. При этом распространение инновации в социальной системе возможно за счёт инновационного члена $M(t)b \frac{(N-y)}{N}$, если в результате

$$\frac{dy}{dt} = a \frac{(N-y)}{N} y + M(t)b \frac{(N-y)}{N} - gy > 0. \quad (5)$$

Рассмотрим условия, когда после возрастания доли $\frac{y(t)}{N}$ до определённого критического значения (критического порога) $\left(\frac{y(t)}{N}\right)_{кр}$ возможно дальнейшее автономное существование и распространение инновации без дальнейшей информационной поддержки $M(t)$.

2. Порог автономного существования интерактивных инноваций

Распространение целого ряда инноваций в сообществе происходит по интерактивному механизму, то есть, когда значимость инновации возрастает с увеличением числа пользователей данной инновацией. К таким инновациям относятся, например, E-mail, Интернет, сотовая связь [2], предположительно, распространение сленга и других коммуникативных элементов субкультур.

Рассмотрим распространение интерактивных инноваций в сообществе численностью N . Обозначим через y — число индивидов, «заразившихся» интерактивной инновацией. Будем считать что «зараженный» контактирует с n другими индивидами за единичный интервал времени, у каждого из которых вероятность инновационного «заражения» $k_1(y)$, при этом $k_1(y) = k_0 p(y)$, где k_0 — вероятность «заражения» при одном контакте по теме инновации, $p(y)$ — вероятность контакта по теме инновации при од-

ном общении, то есть актуальность инновации. Для интерактивных инноваций $p(y) = p_0 \frac{y}{N}$, где p_0 — вероятность контакта по теме инновации при условии $y = N$.

Тогда для интерактивных инноваций, с учётом механизма «заражения» инновацией через СМИ, математическое ожидание изменения числа принявших интерактивную инновацию за единичный интервал времени можно записать уравнением

$$\frac{dy}{dt} = a \cdot y \cdot \left(\frac{y}{N}\right) \cdot \frac{(N-y)}{N} + M(t) \cdot b \cdot \frac{(N-y)}{N} - g \cdot y, \quad (6)$$

где соответственно $a = k_0 p_0$.

Критический порог интерактивной инновации $\left(\frac{y}{N}\right)_{\text{инт_кр}}$ можно определить из условия, что при отсутствии инновационных воздействий $M(t) = 0$ будет происходить рост доли членов сообщества, принявших инновацию, то есть $\frac{dy}{dt} > 0$. Соответственно, из уравнения (6) при условии $M(t) = 0$ можно получить значения критического порога интерактивного процесса $\left(\frac{y}{N}\right)_{\text{инт_кр}}$ и порога насыщения интерактивного процесса $\left(\frac{y}{N}\right)_{\text{инт_насыщ}}$

$$\left(\frac{y}{N}\right)_{\text{инт_кр}} = 1/2 - 1/2 \cdot \sqrt{1 - \frac{4 \cdot g}{a}}; \quad (7)$$

$$\left(\frac{y}{N}\right)_{\text{инт_насыщ}} = 1/2 + 1/2 \cdot \sqrt{1 - \frac{4 \cdot g}{a}}. \quad (8)$$

Таким образом, при условии $a > 4 \cdot g$ при достижении доли членов сообщества, принявших инновацию, до уровня $\frac{y}{N} > \left(\frac{y}{N}\right)_{\text{инт_кр}}$ будет происходить самоподдерживающийся рост доли принявших инновацию до уровня $\left(\frac{y}{N}\right)_{\text{инт_насыщ}}$, не требующий вложений в информационную поддержку и происходящий только за счёт имитационного распространения инновации.

3. Порог автономного существования не интерактивных инноваций

В монографии [2], по эмпирическим данным, отмечалось существование порога автономности ряда инновационных процессов, не являющихся интерактивными. При оценке факторов информационной безопасности социальной системы актуальную задачу представляет аналитическое определение критического уровня распространения на некоторой территории (регион, город, район) соответствующих видов криминальных процессов или экстремистской идеологии. Превышение этого уровня приводит к устойчивому автономному (без внешней поддержки) распространению деструктивной инновации на данной территории.

На основе рассмотрения модели диффузии инноваций в социальной системе наличие порога автономности не интерактивных инновационных процессов предполагает эффект изменения соотношений величин вероятностей «заражения» и «забывания» при распространении таких инноваций. Порог автономности инновации означает, что в уравнении (1) после достижения определённого критического порога $\left(\frac{y}{N}\right)_{\text{кр}}$ производная

$\frac{dy(t)}{dt} > 0$ даже при дальнейшем прекращении внешней информационной поддержки инновации, когда $M(t) = 0$. Если порог автономности инновации появляется только при некотором значении $\left(\frac{y}{N}\right)_{кр}$, то первоначальное соотношение вероятностей «заражения» и «забывания» в единицу времени соответствует условию $a < g$. Изменение соотношения между вероятностями a и g при увеличении доли $\left(\frac{y}{N}\right)$ индивидов, «заражённых» соответствующей инновацией, можно рассмотреть с учётом структурирования социальной системы на группы постоянного общения, то есть группы, в которых общение между индивидами, входящими в такие группы, происходит существенно чаще, чем с другими членами социальной системы. Такими группами постоянного общения могут быть семья, рабочий коллектив и т.д. Существенно, что в такие группы, как правило, входит небольшое количество индивидов. Пусть среднестатистическое число членов в такой группе постоянного общения составляет n индивидов. Предположим, что при наличии в группе постоянного общения 2 или более индивидов «заражённых» определённой инновацией, вероятность «забывания» инновации (назовём её вероятностью коллективного забывания) g_k становится значительно меньше, чем для одиночного носителя инновации g_1 , так что можно приближённо считать $g_k = 0$. Долю индивидов с вероятностью «забывания» g_k и с вероятностью «забывания» g_1 можно рассчитать, воспользовавшись формулой Бернулли [4] о вероятности $P_n(k)$ того, что в n испытаниях событие наступит не менее k раз:

$$P_n(k) = C_n^k p^k (1-p)^{n-k} = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k (1-p)^{n-k}, \text{ где } p = \frac{y}{N}.$$

Тогда вероятность того, что в группе из n индивидов только один является носителем инновации с вероятностью «забывания» g_1 , при условии, что p — общая доля носителей инновации, определяется формулой

$$P_n^1 = n \cdot p \cdot (1-p)^{n-1}.$$

При этом число одиночных носителей инновации составит $\frac{N}{n} \cdot P_n^1 = y \cdot \left(1 - \frac{y}{N}\right)^{n-1}$.

В приближении $g_k = 0$ уравнение динамики диффузии инноваций с учётом структурирования на группы постоянного общения можно записать в виде

$$\frac{dy}{dt} = a \cdot y \cdot \left(1 - \frac{y}{N}\right) - g_1 \cdot y \cdot \left(1 - \frac{y}{N}\right)^{n-1}. \quad (9)$$

Из условия распространения инновации $\frac{dy}{dt} > 0$ можно найти критический порог распространения инновации:

$$\left(\frac{y}{N}\right)_{кр} > 1 - \sqrt[n-2]{\frac{a}{g_1}}. \quad (10)$$

Естественно, если $a > g_1$, инновация будет автономна при любом значении $\frac{y}{N}$, соответствующем доле носителей инновации в социальной системе.

4. Моделирование динамики распространения инновационных идей через социальные сети

В условиях, когда в современном мире определяющую роль в распространении информации приобретает Интернет, а межличностное общение всё активнее переносится в социальные сети, интернет-технологии становятся орудием эффективного влияния на политические процессы. Понимание механизмов, определяющих распространение идеологии через Интернет и социальные сети, даёт информацию, необходимую для обеспечения безопасности политических процессов от возможного деструктивного влияния внешних политических сил. Рассмотрим на основе модели диффузии инноваций, при учёте структурирования на группы постоянного общения, распространение некоторой инновационной идеи «х» в социальной Интернет-сети. Как следует из этой модели, коэффициент «забывания» распространяемой в сети идеи «х» стремится к нулю при наличии в группе постоянного сетевого общения «единомышленника» по этой идее. Динамика распространения идеи «х» в Интернет-сети описывается уравнением

$$\frac{dy}{dt} = a \cdot y \cdot \left(1 - \frac{y}{N}\right) + M(t) \cdot b \cdot \left(1 - \frac{y}{N}\right) - g_1 \cdot y \cdot \left(1 - \frac{y}{N}\right)^{n-1}, \quad (11)$$

где N — количество пользователей социальной сети, способных «заразиться» идеей «х»; y — количество пользователей социальной сети, заразившихся идеей «х»; a — коэффициент имитационного заражения пользователей в социальной сети; $M(t)$ — количество сообщений интернет-СМИ, веб-сайтов, пропагандирующих идею «х»; b — коэффициент инновационного заражения пользователей в социальной сети; g_1 — коэффициент «забывания» идеи «х»; n — число членов в группе постоянного сетевого общения.

Рассмотрим роль координирующего распространение идеи «х» блога. Такой блог играет не столько информационную роль, которую выполняют обычные СМИ (эту роль в социальной сети эффективно выполняют сами «зараженные» идеей «х» пользователи), сколько «напоминающую» и координирующую роль для уже «заражённых». При этом блогер «координирующего» блога становится членом группы постоянного сетевого общения для всех ранее «заражённых» пользователей, обеспечивая, согласно модели диффузии инноваций с учётом группы постоянного общения, условие равенства нулю коэффициента «забывания» g идеи «х» для ранее «заразившихся». С учётом этих положений уравнение динамики количества пользователей, «заражённых» идеей «х» со свойством взаимной «координации», определяется уравнением

$$\frac{dy_c}{dt} = ay_c \left(1 - \frac{y_c}{N}\right) + b_c \left(1 - \frac{y_c}{N}\right) \approx ay_c \left(1 - \frac{y_c}{N}\right), \quad (12)$$

где y_c — количество «заражённых» со свойством взаимной «координации» пользователей социальной сети; a — коэффициент взаимного заражения пользователей социальной сети; b_c — коэффициент «заражения» через «координирующий» блог.

Решение $y_c(t)$ для (12) имеет вид S-образной логистической кривой

$$y_c(t) = \frac{N}{1 + \frac{N - y_0}{y_0} \exp(-at)}, \quad (13)$$

где $y(0) = y_0$ — число пользователей социальной сети, входящих в «группу поддержки» идеи «х» в начале её «раскрутки». Надо заметить, что для уравнения (12) следует

наличие нулевого порога ($y_{кр} = 0$) для количества «заражённых» пользователей, необходимого для незатухающего роста $y_c(t)$. Таким образом, для незатухающего распространения идеи «х» среди пользователей социальной сети достаточно первоначального наличия только самого блога-«координатора», инициирующего процесс первоначального информационного «заражения» и дальнейшей координации пользователей социальной сети.

При отсутствии «координирующего» блога порог стихийного незатухающего распространения идеи «х» через Интернет и социальные сети определяется из уравнения (11) при $M(t) = 0$, что приводит к уравнению (9). Из условия распространения инновации $\frac{dy}{dt} > 0$ при $a < g_1$ порог незатухающего распространения инновации определяется из (10):

$$\left(\frac{y}{N}\right)_{кр} > 1 - \sqrt[n-2]{\frac{a}{g_1}},$$

где n — среднее число пользователей социальной сети в группах постоянного общения, коррелирующее со средним числом сетевых «друзей» у пользователей.

Заключение

На основе моделей диффузии инноваций для динамики распространения социоинформационных процессов получены пороговые уровни автономного существования интерактивных и не интерактивных инноваций, определяющие пороговые уровни информационной безопасности социальной системы. В частности, проведён теоретический анализ динамики распространения инновационных идей через Интернет и социальные сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тростянский С.Н. Моделирование динамики электоральных процессов на основе уравнений диффузии инноваций // Системы управления и информационные технологии. — 2007.— №3.2(29). — С.302—306.
2. Rogers E. Diffusion of Innovations. 4 ed. N.Y.: Free Press, 1995.
3. Тростянский С.Н., Скрьль С.В. Моделирование процессов, определяющих информационную безопасность социальной системы // Безопасность информационных технологий. — 2005.— №1(45).— С.67—71.
4. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов. — М.: Высш. шк., 1997.— 479 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Тростянский Сергей Николаевич. Профессор кафедры физики. Доктор технических наук, доцент.

Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России.

E-mail: vptu@mail.ru

Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознамённая, 231. Тел. (473) 236-33-05

Trostyanskii Sergey Nikolaevich. Professor of the chair of Physics. Doctor of technical sciences, assistant professor.

Voronezh Institute of State Fire Service (GPS) at the Ministry of Emergency Situation of Russia.

Work address: Russia 394052, Voronezh, Krasnoznamennaya Str., 231. Tel. (473) 236-33-05.

Ключевые слова: информация; безопасность; инновация; распространение; моделирование.

Key words: information; safety; innovation; distribution; modelling.

УДК 621.39

ИЗДАНИЯ ВОРОНЕЖСКОГО ИНСТИТУТА МВД РОССИИ



Оптимизация временных характеристик информационных систем: монография / В.В. Меньших, Е.Ю. Никулина. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2011. — 127 с.

В монографии рассматриваются информационные системы органов внутренних дел. Обосновывается необходимость нахождения временных характеристик для оптимизации выбора вариантов модернизации существующих информационных систем, приведена структурно-параметрическая модель информационной системы и разработаны математические методы и алгоритмы оценки временных характеристик информационной системы в жестких временных ограничениях, при заданных временных ограничениях и без временных ограничений. Описано использование методов оптимизации временных характеристик для обоснования выбора варианта модернизации информационных систем. Издание рассчитано на научных работников, аспирантов, профессорско-преподавательский состав вузов, а также специалистов в области информационных технологий.



В.С. Дунин,
*Дальневосточный
юридический институт
МВД России*



О.И. Бокова,
*доктор технических наук,
профессор*



Н.С. Хохлов,
*доктор технических наук,
профессор*

АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОДЕЛИ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «БЕЗОПАСНЫЙ ГОРОД»

ALGORITHM OF THE MODEL OF ADAPTIVE SYSTEM OF INFORMATION SECURITY OF THE INTEGRATED AUTOMATED INTELLECTUAL SYSTEM “SAFE CITY”

Представлен алгоритм функционирования модели адаптивной интеллектуальной инфокоммуникационной системы защиты информации КАИС «Безопасный город».

Adaptive algorithm of functioning of the model of system of protection of intellectual information as integrated automated intellectual system “Safe city” is presented.

Динамичный характер поля угроз указывает на необходимость создания системы защиты информации, обладающей свойством адаптивности и возможности реализации накопленного опыта. В то же время нецелесообразно на объекте информатизации использовать всевозможные механизмы защиты или ограничиваться минимальным комплектом, достаточным для отражения угроз, обозначенным в спецификации на проектирование информационно-телекоммуникационных систем, например, таких как комплексная автоматизированная интеллектуальная система (КАИС) «Безопасный город».

Для придания необходимых качеств современной системе управления информационной безопасностью в ряде работ предложено создавать интеллектуальные системы защиты информации, основывающиеся на свойствах нейронных сетей и нечетких систем, связанных с адаптивностью, обучаемостью, возможностью представления опыта специалистов информационной безопасности в виде системы нечетких правил, доступных для анализа [8].

В основном готовые решения и публикации о применении интеллектуальных систем защиты информации посвящены системам обнаружения атак, в качестве интеллектуального инструмента в которых, как правило, используются нейронные сети (НС), нечеткие модели и сети (НМС) и экспертные системы (ЭС).

Однако для нечетких продукционных моделей характерны определенные недостатки:

исходный набор нечетких правил формируется экспертом и может оказаться неполным или противоречивым;

субъективность в выборе вида и параметров функций принадлежности в нечетких высказываниях;

отсутствует возможность автоматического приобретения знаний.

Основным недостатком НС считают «непрозрачность» формирования результатов анализа.

Объединение же обоих подходов (нечеткой логики и нейронных сетей) позволяет, с одной стороны, привнести способность к обучению и вычислительную мощность нейронных сетей в системы с нечеткой логикой, а с другой стороны — усилить интеллектуальные возможности нейронных сетей свойственными «человеческому» способу мышления нечеткими правилами выработки решений.

Использование гибридных нечетких нейронных или нейро-нечетких систем позволяет отразить в структуре НС (нечеткой сети) систему нечетких продукционных правил, которые автоматически корректируются в процессе обучения и позволяют не только решать отдельно взятые задачи идентификации угроз, сопоставления поведения пользователей с имеющимися в системе шаблонами, но и автоматически формировать новые правила при изменении поля угроз [10].

Построение такой структуры было показано на примере разработанной адаптивной интеллектуальной иерархической модели СЗИ КАИС «Безопасный город», в соответствии с которой предложена трехуровневая схема построения СЗИ, учитывающая многоуровневую, эшелонированную линию обороны [3].

Модель адаптивной защиты в интеллектуальных системах управления характеризуется следующими атрибутами: система защиты информации (СЗИ) — это многоуровневая иерархическая модель, которая использует экспертные оценки для привнесения априорного опыта в СЗИ в виде системы нечетких продукционных правил; эволюционный характер СЗИ обеспечивается, прежде всего, адаптивными свойствами нечетких нейронных или нейро-нечетких сетей, реализующими систему нечетких продукционных правил [7].

Рассматривая указанную модель, потребуется определить механизм формирования нечетких продукционных правил, структуру СЗИ для классификации угроз по признакам атак и механизмов защиты на поле угроз, а также оценку эффективности самой модели защиты и защищенность КАИС. Для демонстрации алгоритма функционирования модели и оценки эффективности СЗИ покажем построение блочной структуры алгоритма адаптивной модели (рис.1).

Как видно из рисунка, функционирование данной модели представляется шестью блоками, каждый из которых реализует свой этап действий по формированию цикла управления системой. Опишем назначение блоков, составляющих структуру адаптивной модели.

Блок 1. Происходит задание исходных данных, учитывающих показания агентов и сенсоров информационного контроля состояния информационной безопасности (сис-

темы обнаружения вторжение и аномалий, SNMP-агенты), а также количество уровней механизмов защиты, рубежей и эшелонов безопасности.



Рис.1. Блочный алгоритм построения адаптивной модели

Блок 2. При использовании в качестве нечетких посылок векторы входных признаков атак (исходные данные) внизу иерархии СЗИ, реализуется механизм построения системы нечетких продукционных правил для идентификации угроз.

Формирование нечетких правил продукции осуществляется по лингвистическим термам «число событий ИБ», «число соединений», «число запущенных в процессе потоков», «число угроз безопасности на хосте, рубеже, периметре», где в качестве системы формирования нечеткого вывода применяется алгоритм Такаги — Сугено нечеткой нейронной продукционной сети ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System). Предлагаемая нечеткая нейронная продукционная сеть на нижнем уровне может одновременно формировать нечеткие правила и адаптировать функции принадлежности путем модификации весов связей в процессе обучения и — что самое важное — для этого применяется классический алгоритм обратного распространения ошибки [5]. Для проведения вычислительного эксперимента и получения первичных результатов оценки используются существующие возможности программного продукта Matlab Fuzzy Toolbox.

Блок 3. В данном блоке происходит формирование экспертных оценок признаков атак, а также начальной базы знаний модели, отображаемой матрицей, — строится обучающая выборка.

Блок 4. Реализует верхний уровень иерархии защиты для каждого эшелона многоуровневой СЗИ. Здесь решается задача классификации механизмов защиты (нечеткие заключения) по вектору нечетких признаков угроз, для нейтрализации последствий которых данные механизмы защиты предназначены [7]. Нейронная сеть данного уровня СЗИ представляет собой гибридную нейронную нечеткую сеть (HFNN — Hybrid Fuzzy Neural Networks), являющуюся универсальным аппроксиматором для разных функций принадлежности входных и выходных данных к нечеткому полю множеств [6]. После

обучения классическим методом обратного распространения ошибки, схожим с методом обучения сети ANFIS, она будет отражать достоверность нейтрализации заданного в отдельном правиле набора угроз соответствующим механизмом защиты (механизм системного уничтожения программ, механизм блокирования доступа к ресурсу, механизм понижения приоритета пользователя, механизм идентификации и аутентификации и т.д.) определенного эшелона многоуровневой СЗИ.

Блок 5. В данном блоке происходит формирование экспертных оценок угроз, где для каждого эшелона многоуровневой СЗИ оценивается достоверность нейтрализации угроз механизмами защиты с последующим формированием матрицы достоверности «механизм защиты-угрозы» *MT* и матрицы достоверности «угрозы-эшелоны» *TE*. Уровень потенциального ущерба оценивается формированием матрицы «эшелоны-ущерб» *ET* и матрицы «ущерб-механизм защиты» *TM*. Экспертные оценки в виде системы нечетких продукционных правил отображаются в структуре HFNN-сети.

Блок 6. Обеспечивает создание системы оценки защищенности КАИС «Безопасный город» на основе предложенного метода парных сравнений (метод Саати) для оценки показателей защищенности и показателей потенциального ущерба вследствие реализации угроз [3]. Метод основан на обработке матрицы оценок, отражающих мнение эксперта об относительной принадлежности элементов множеству или степени выраженности у них некоторого оцениваемого свойства.

В процессе адаптации ANFIS и HFNN сетей на обучающей выборке, соответствующей некоторому подмножеству поля известных угроз, производится автоматическая коррекция системы нечетких продукционных правил, а также показателей потенциального ущерба и достоверности (истинности) нейтрализации набора угроз соответствующим эшелоном или механизмом защиты многоуровневой СЗИ. Корректность исходных экспертных оценок может быть проверена сопоставлением интегральных оценок защищенности до и после процесса обучения сетей [10].

Интегральные оценки защищенности получают в результате операций над матрицами (см. рис.2).

Получаемые при этом промежуточные оценки в виде строки

$$x_j = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m me_{ij}}, j = 1 \dots n \quad (1)$$

и столбца

$$x_i = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n me_{ij}}, i = 1 \dots m \quad (2)$$

интегральных показателей характеризуют активность использования отдельного механизма защиты либо отдельного эшелона в рамках многоуровневой СЗИ, а также позволяют оценить потенциальный ущерб в разрезе механизмов защиты и эшелонов системы информационной безопасности.

Сопоставление интегральных показателей в пределах строки позволяет выявить наиболее задействованные эшелоны в многоуровневой модели СЗИ по нейтрализации поля действующих на систему угроз, а сопоставление интегральных показателей в пределах столбца позволяет выявить наиболее задействованные механизмы защиты в многоуровневой СЗИ [9].

Дальнейшие операции над матрицами ME и EM дают возможность обобщить в диагональных элементах итоговой матрицы как показатель достоверности активации механизма защиты в результате атаки, так и потенциального ущерба от ее реализации.

В качестве обобщающего показателя выступает вектор достоверности распределения потенциального ущерба по механизмам защиты СЗИ

$$P_{1xm} = (p_1, p_2, \dots, p_m), \quad (3)$$

и вектор достоверности распределения ущерба по эшелонам СЗИ

$$D_{1xn} = (d_1, d_2, \dots, d_n). \quad (4)$$

В качестве интегральных оценок защищенности инфокоммуникационной системы КАИС «Безопасный город» в разрезе механизмов защиты применяется рейтинговый показатель R_M — длина m -мерного вектора P_{1xm}

$$R_M = |P_{1xm}| = \sqrt{\sum_{i=1}^m p_i^2}, \quad i = 1, \dots, m, \quad (5)$$

а в разрезе эшелонов СЗИ — рейтинговый показатель R_E — длина n -мерного вектора D_{1xn}

$$R_E = |D_{1xn}| = \sqrt{\sum_{i=1}^n d_i^2}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (6)$$

Текущую эффективность интеллектуальной СЗИ оценивают в относительных величинах, используя в качестве пороговых значений максимальные значения рейтинговых показателей R_{Mmax} и R_{Emax} , учитывающие достоверную активацию во всех эшелонах многоуровневой СЗИ только активированных механизмов защиты, предотвращающих по каждому из механизмов защиты нанесение ущерба, равного максимально допустимому.

$$z_M = \frac{R_M}{R_{Mmax}}, \quad (7)$$

$$z_E = \frac{R_E}{R_{Emax}}. \quad (8)$$

Рассмотренная структура блочного алгоритма модели адаптивной интеллектуальной системы защиты информации КАИС «Безопасный город» показывает функциональное назначение каждого блока в процессе формирования и построения нечетких продукционных правил, систем оценки защищенности КАИС и эффективности СЗИ, обучения сетей, корректировки исходных данных.

Для более полного представления и понимания этапов взаимодействия между блоками модели предлагается структурно-функциональная схема алгоритма формирования модели адаптивной интеллектуальной системы защиты информации КАИС «Безопасный город» и оценки ее эффективности (см. рис. 2).

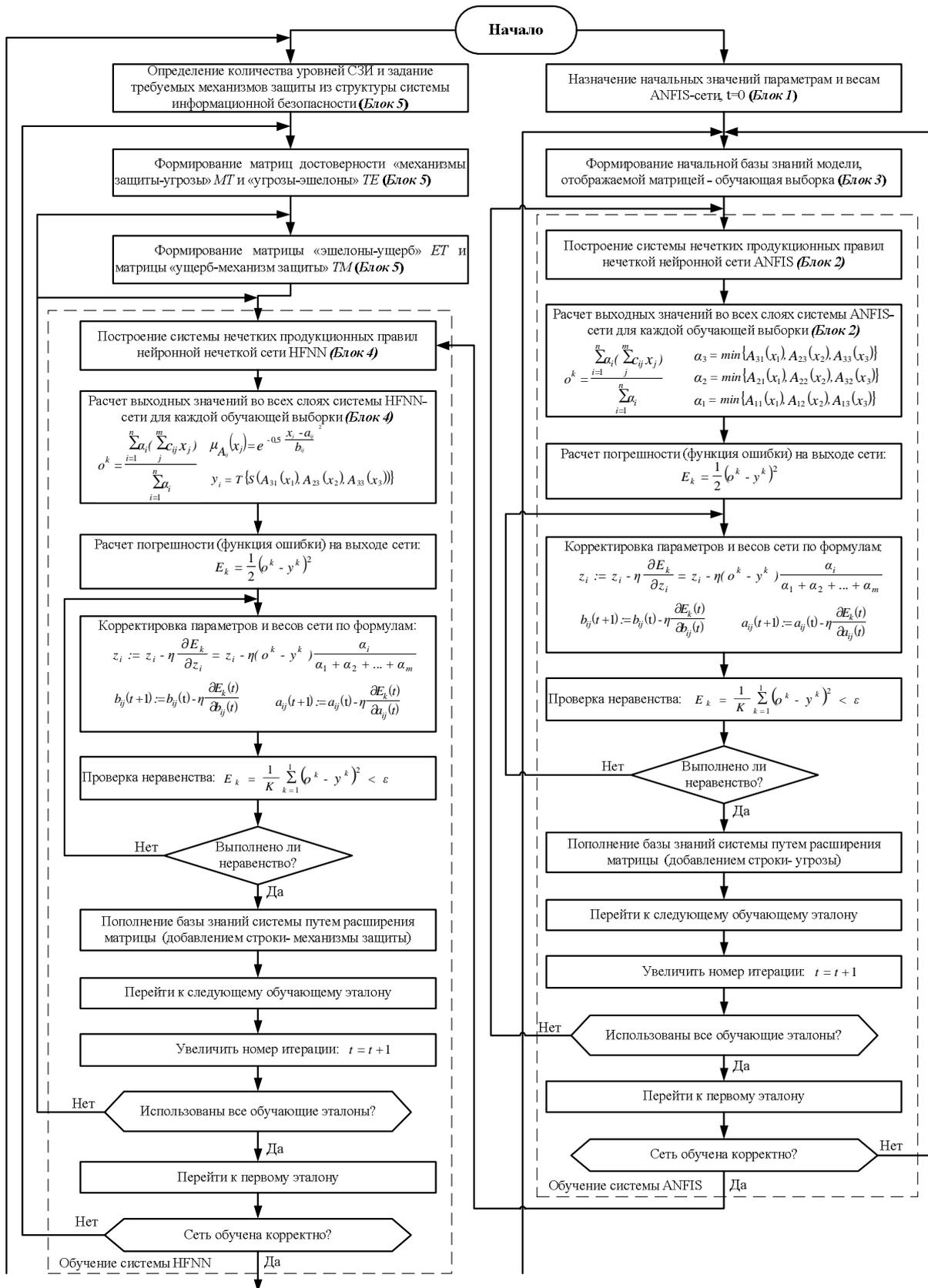


Рис. 2. Алгоритм функционирования модели и оценки эффективности СЗИ КАИС «Безопасный город»

Предложенный в данной статье алгоритм функционирования модели и оценки эффективности системы интеллектуального управления защитой информации, учитывающий показатели защищенности (1), (2), (5), (6) инфокоммуникационной системы «Безопасный город», демонстрирует комплексный характер оценивания событий информационной безопасности и показывает действительную загруженность механизмов защиты по нейтрализации последствий атак, возможность адаптации СЗИ к изменению поля угроз, изменение структуры многоуровневой СЗИ, где в качестве инструмента математического построения оценки, выступает аппарат нейро-нечеткого формирования правил заключений и обучения, как нечеткой нейронной продукционной сети (ANFIS), так и гибридной нейронной нечеткой сети (HFNN) рассматриваемой модели.

На вход **Блок 5**

На вход **Блок 3**

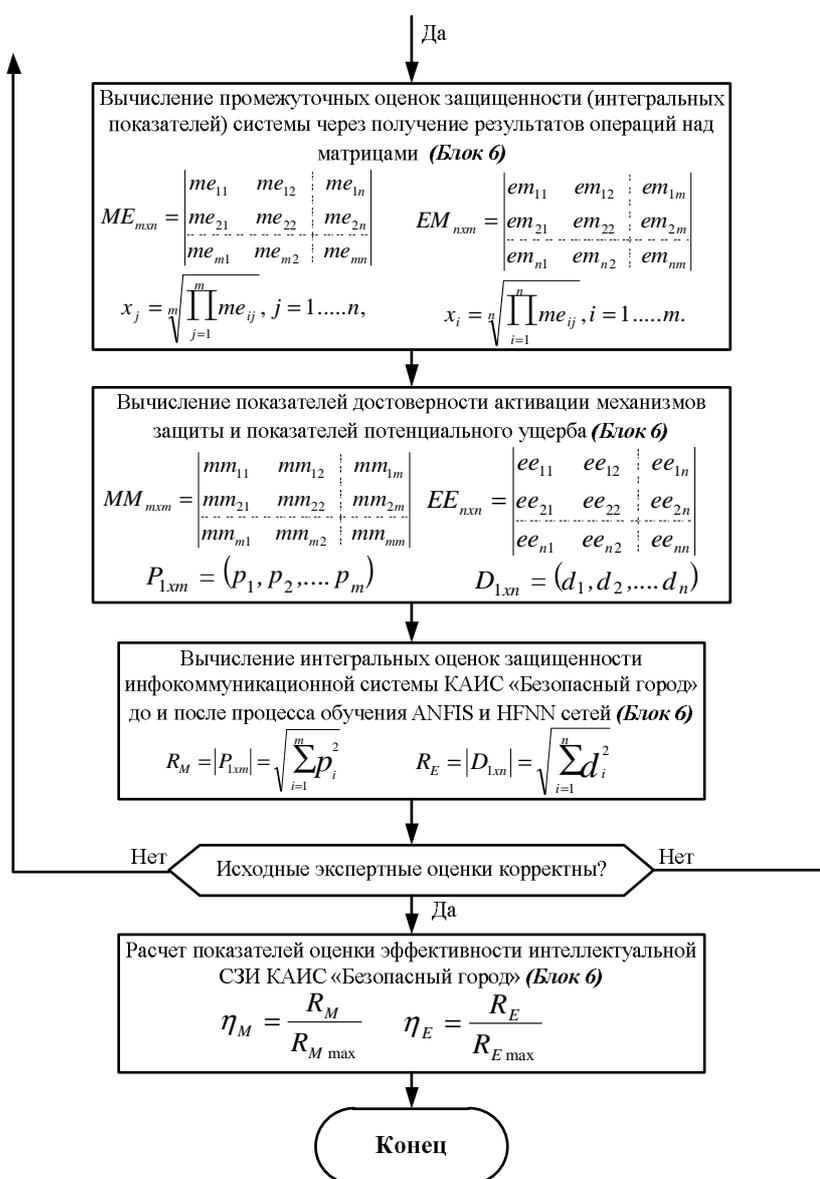


Рис. 3 Алгоритм функционирования модели и оценки эффективности СЗИ КАИС «Безопасный город»

ЛИТЕРАТУРА

1. Дунин В.С., Бокова О.И., Хохлов Н.С. Построение модели интеллектуальной системы управления безопасностью объекта информатизации ОВД на основе нечеткой нейронной продукционной сети // Вестник Воронежского института МВД России. — 2011. — №2. — С. 48—58.
2. Дунин В.С. К вопросу о построении модели управления подсистемы защиты информации комплексной автоматизированной интеллектуальной системы «Безопасный город» // Актуальные вопросы эксплуатации систем охраны и защищенных телекоммуникационных систем: материалы Всероссийской научно-практической конференции курсантов, слушателей, студентов, адъюнктов и молодых специалистов. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2011. — С. 91 — 92.
3. Дунин В.С., Бокова О.И. Оценка эффективности системы интеллектуального управления защитой информации в инфокоммуникационных системах ОВД // Вестник Воронежского института МВД России. — 2011. — №4. — С. 62—73.
4. Машкина И.В., Гузаиров М.Б. Интеллектуальная поддержка принятия решений по управлению защитой информации в критически важных сегментах информационных систем // Приложение к журналу «Информационные технологии». — 2008. — №7. — С.32.
5. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / пер. с польск. И.Д. Рудинского. — М.: Горячая линия — Телеком, 2008. — 452 с., ил.
6. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 284 с., ил.
7. Нестерук Г.Ф., Куприянов М.С., Елизаров С.И. К решению задачи нейро-нечеткой классификации // Сб. докл. VI меж. конф. SCM-2003. — СПб.: СПГЭТУ, 2003. Т. 1. — С. 244 — 246.
8. Адаптивные средства обеспечения безопасности информационных систем / Ф.Г. Нестерук [и др.]. — СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского политехнического университета, 2008.
9. Суханов А.В. Оценки защищенности информационных систем // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. — 2008. — №4.
10. Повышение избыточности информационных полей адаптивных классификаторов системы информационной безопасности / Г.Ф. Нестерук [и др.] // Специальная техника. — 2006. — №1.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Дунин Вадим Сергеевич. Преподаватель кафедры информационного и технического обеспечения ОВД. Адъюнкт заочной формы обучения кафедры инфокоммуникационных систем и технологий Воронежского института МВД России.

Дальневосточный юридический институт МВД России.

E-mail: dvs_82@mail.ru

Россия, 680052, Хабаровск, переулок Казарменный, 15. Тел. (4212) 29-47-86.

Бокова Оксана Игоревна. Начальник кафедры инфокоммуникационных систем и технологий. Доктор технических наук, профессор.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: OVoikova@pochta.ru

Россия, 394065, Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 262-33-85.

Хохлов Николай Степанович. Профессор кафедры инфокоммуникационных систем и технологий. Доктор технических наук, профессор. Академик РАЕН.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: nikolayhohlov@rambler.ru

Россия, 394065, Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 262-33-85.

Dunin Vadim Sergeevich. The lecturer of the chair of Information and Technical Maintenance of the Ministry of the Interior of Russia. The post-graduate cadet of correspondence form education of the chair of Infocommunication Systems and Technologies of Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Far East Law Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 680052, Khabarovsk, Kazarmenny lane, 15. Tel. (4212) 29-47-86.

Bokova Oksana Igorevna. The chief of the chair of Infocommunication Systems and Technologies. Doctor of technical sciences, professor.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 262-33-85.

Khokhlov Nikolay Stepanovich. Professor of the chair of Infocommunication Systems and Technologies. Doctor of technical sciences, professor. Academician of the Russian Academy of Natural Sciences.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 262-33-85.

Ключевые слова: нечеткая нейронная продукционная сеть; нейро-нечеткая классификация; адаптивная система защиты информации; алгоритм функционирования.

Key words: rule-based fuzzy neural network; neuro-fuzzy classification; adaptive system of information protection; functioning of the algorithm.

УДК 621.391



Л.Е. Мистров,
доктор технических наук, доцент,
Центрального филиала ГОУ ВПО
«Российская академия правосудия»



О.В. Литвинов,
отделение профилактики пожаров
пожарной части №10 по охране
Левобережного района

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИНТЕЗА СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

BASES TO METHODOLOGIES OF THE SYNTHESSES OF THE SYSTEMS FIREMAN TO SAFETY

Предлагаются научный подход, принципы, физическая и математическая постановка задачи синтеза и структура метода исследования эффективности систем пожарной безопасности различного типа объектов. Основы разработаны на основе теорий анализа и синтеза сложных систем, принятия решений, оптимального распределения ресурсов и информационных технологий

They are offered scientific approach, principles, physical and mathematical statement of the problem the syntheses and structure of the method of the study to efficiency of the systems fireman to safety of the different type object. Bases is designed on base theory analysis and syntheses of the complex systems, decision making, optimum distribution resource and information technology

1. Общие положения

В условиях возрастания в обществе социально-экономической напряженности актуальной является задача обеспечения безопасности различного типа элементарных, площадных и пространственно-распределенных объектов от различного вида пожаров. Это обуславливает необходимость повышения эффективности пожарной безопасности объектов на основе повышения качества пожарной техники, оперативного управления пожарными организациями, профессионального уровня сотрудников пожарной службы, улучшения надзорно-профилактической противопожарной деятельности, внедрения автоматических систем пожарной сигнализации и тушения пожаров.

Любая пожарная организация представляет собой совокупность средств управления, добывания (сбора, анализа и обобщения) информации и исполнения — пожаротушения, организационно объединенных в различного уровня элементы: часть, караулы, отделения и расчеты. Она применяется, в основном, для решения одной или нескольких задач пожаротушения сложных (площадных, пространственно-распределенных) объектов. Особенность ее функционирования состоит в выполнении задач

по детерминированным алгоритмам функционирования для стохастических условий пожарной обстановки, характеризуемых случайными параметрами возгорания, возникновения и развития различного вида пожаров на объектах, способами их функционирования и характеристиками внешней среды.

В настоящее время одной из приоритетных задач является проблема разрешения объективного противоречия между требованиями пожарной безопасности (ПБ) к различному типу объектов, формируемых и контролируемых службой пожарной безопасности, и возможными способами их пожаротушения существующими методами и средствами ПБ. Её разрешение предполагает исследование возможностей любой пожарной организации по тушению пожара различного типа объектов, проведение сопоставительного анализа полученных результатов с требованиями ПБ к объектам и принятие решения по устранению, если оно существует, данного противоречия.

Для исследования возможности разрешения данного противоречия необходимо, в соответствии с положениями системного подхода, на первом этапе любую пожарную организацию представить в виде системы с характерными для неё связями (отношениями) по управлению (подчиненности), информационному обеспечению и взаимодействию.

В общем случае пожарная организация по совокупности системоопределяющих свойств (элементы работают по частным показателям эффективности, а их результирующая эффективность агрегируется в интегральный показатель организации) представляет организационно-техническую систему пожарной безопасности (СПБ), для которой характерно выполнение поставленных целей с заданной эффективностью, жесткая централизованная структура и динамическое управление ограниченным ресурсом средств ПБ в динамически изменяющихся условиях. СПБ включает в свой состав объединенную единством управления совокупность организационно-технических меньшего уровня систем и комплексов ПБ, предназначенную для выполнения с заданной эффективностью задач пожаротушения различного типа объектов. Сопоставительный анализ пространственно-временных характеристик различного типа объектов пожаротушения и потенциально используемых для их пожаротушения средств ПБ позволяет всю номенклатуру сил и средств ПБ в соответствии с [1] классифицировать на:

средства ПБ — решают задачу тушения одной специфической составляющей пожара;

комплексы индивидуальной ПБ (КИПБ) — тушение пожара элементарного объекта на основе индивидуальных (различного типа огнетушителей) и подручных средств пожаротушения;

комплексы групповой ПБ (КГПБ) — используются для пожаротушения групп элементов площадного объекта;

комплексы объектовой ПБ (КОПБ) — предназначены для пожаротушения пространственно-распределённых объектов; входят в состав СПБ, осуществляющей сбор и обобщение информации об объекте пожаротушения, силах и средствах ПБ и непосредственное управление ими на основе оптимального распределения ресурсов ПБ по элементам (участкам) объекта.

Организационная структура СПБ формируется, как правило, на основе нескольких иерархических уровней элементов: нулевой уровень — СПБ (уровень пожарной части и выше для обеспечения ПБ пространственно-распределённых объектов); первый уровень — системы ПБ уровня караулов (СПК) для обеспечения ПБ площадных объектов, второй — системы ПБ уровня отделений (СПО) для обеспечения ПБ элементарных объектов и последний — пожарные расчеты. При этом уровень СПБ состоит из организационно объединенных единством цели нескольких СПК. В качестве основы СПК используются комплексы ПБ, решающие одну или несколько простейших задач по добычанию информации и исполнению — реализацию определенного типа пожарных действий. Структура комплексов СПО, в свою очередь, базируется на технически объединенной единством цели совокупности средств ПБ. На данном уровне производится

формирование различного рода средств и алгоритмов функционирования, определяющие характеристики и способы применения комплексов ПБ.

Основными особенностями применения СПБ являются: а) неполнота, недостоверность и неточность информации об объекте пожаротушения (до прибытия на пожар отсутствует точная информация об интенсивности процесса горения, источниках и факторах, масштабе охвата площади объекта, нахождение на объекте людей, возможном материальном ущербе и т.д.); б) динамично изменяются условия ведения пожарных действий; в) решения по тушению пожара объекта принимаются на основе алгоритмических схем с обратной связью за счет постоянного контроля за исполнением принятых решений; г) недостаток времени для анализа текущей обстановки на всех стадиях тушения пожара и ликвидации его последствий; д) существование риска принятия неадекватного реальной пожарной обстановке управленческого решения; е) большое число участников пожаротушения, вовлеченных в процесс его подготовки и реализацию; ж) необходимость привлечения дополнительных сил, выполняющих по своим профессиональным функциям другой круг вопросов и з) уникальность возникающих ситуаций во время тушения пожара каждого конкретного объекта.

В настоящее время синтез СПБ проводится раздельно и практически сведен, абстрагируясь от заданных задач ПБ, ограничений и типов объектов пожаротушения, к задачам технического синтеза на основе неформальных методов поиска оптимальных решений по частным информационным и информационно-интегральным показателям эффективности. Методология синтеза СПБ ориентируется на детальный анализ, растущую декомпозицию задач и направлена, в основном, на обоснование видов и характеристик специальных воздействий на различные виды пожара и реализующих их средств пожаротушения при известных законах распределения случайных характеристик, алгоритмов функционирования и технических мер (средств) ПБ объектов. Эффективность СПБ гарантируется только для определенных типов, характеристик и условий применения объектов и быстро снижается при их изменении. При таком подходе к синтезу СПБ возникает ряд проблем, связанных с тем, что их разработка проводится по частным показателям эффективности и отсутствует взаимосвязанная система методов оценки эффективности СПБ по частным и интегральным показателям, не позволяющим учесть новые системные эффекты в условиях совместного применения разнотипных сил и средств. Существующие противоречие и основные особенности применения СПБ, а также недостаточность развития методологии её синтеза предопределили цель статьи — разработку методологических основ синтеза СПБ в виде научных подходов, принципов и постановки задачи обоснования её облика на множестве условий применения.

2. Постановка задачи

В соответствии с теорией исследования операций [2] методы исследования эффективности СПБ предполагают наличие уровней исследования:

средств ПБ по информационным показателям;

комплексов ПБ по информационно-интегральным показателям;

различного уровня СПБ по интегральным показателям, учитывающим их целевое предназначение.

Это обуславливает обоснование облика СПБ проводить по интегральным показателям эффективности на основе методологии синтеза сложных систем [3], в соответствии с которой решение подобного рода задач предполагает разработку методов исследования эффективности СПБ путем выбора и реализации оптимальных составов, структуры и алгоритмов функционирования её средств управления, добывания (сбора, анализа и обобщения) информации и исполнения. Методы разрабатываются, как правило, для анализа стратегий действий СПБ и парирования неопределенности исходных данных (типа и характеристик объекта пожаротушения, возможных способов пожаротушения, степени информированности и т.п.). Траектория синтеза СПБ представляет возвратно-поступательный процесс принятия решений в виде совокупности формализованных процедур с обратной связью, позволяющий создать конструктивные матема-

тические методы синтеза элементов и системы в целом. Она базируется на последовательном решении задач:

- уточнения постановки задачи на синтез СПБ путем декомпозиции цели синтеза на систему задач допустимой сложности;
- разработки описательной модели применения СПБ в виде взаимосвязанных пространственно-временных условий её применения;
- определения типовых объектов пожаротушения;
- обоснования ограничений, критерия и показателей эффективности;
- генерации вариантов облика СПБ, конкурирующих по эффективности с учетом достижимого уровня технических характеристик средств ПБ;
- формирования физической и математической постановки задачи;
- разработки методов исследования эффективности в виде набора варьируемых параметров, составляющих структурно-параметрическую модель исследования эффективности СПБ, и иерархической системы моделей функционирования её элементов;
- формализации задачи синтеза, т.е. получение строгой математической модели, обеспечивающей формирование области поиска устойчивого решения и учет принципов оптимальности при выборе предпочтительного варианта СПБ.

Облик СПБ формируется на основе общих и специальных принципов. К общим принципам относятся принципы «целое — часть», «право вмешательства верхнего уровня в решения нижних уровней» и «зависимость решения верхнего уровня от решений нижних уровней». Использование принципа «целое — часть» позволяет общую задачу синтеза СПБ представить в виде системы взаимосвязанных частных задач синтеза элементов ПБ. «Право вмешательства верхнего уровня» предполагает определение на верхнем уровне СПБ для задач нижних уровней иерархии соответствующих целей, ресурсов, ограничений и условий применения элементов ПБ. «Зависимость верхнего уровня от нижних уровней» реализуется путем передачи на верхний уровень иерархии СПБ результатов решений задач нижних уровней и предложений по корректировке целей, ресурсов, ограничений и условий, определяемых верхним уровнем для задач нижних уровней, поскольку реальными физическими переменными управляет нижний уровень, а верхний согласовывает обобщенные характеристики. Учет этих принципов позволяет структуру СПБ представить в виде системы взаимоупорядоченных отношений по управлению, информации и использованию ее элементов, совместное применение которых является решением поставленной задачи.

К специальным относятся принципы:

- заданной или максимальной эффективности применения СПБ для пожаротушения типовых объектов при минимизации потерь людских, материальных и других ресурсов;
 - оптимального управления выделенным ресурсом сил и средств ПБ для пожаротушения сложных объектов;
 - выбора эффективных средств и способов ПБ для тушения конкретных видов пожара;
 - выбора эффективных средств и способов ПБ для пожаротушения конкретных типов объектов;
 - децентрализации управления силами и средствами ПБ при пожаротушении сложных объектов;
 - максимального использования вспомогательных средств тушения пожара;
 - эффективное управление применением приданных сил и средств ПБ.
- Совокупность общих и специальных принципов обеспечивает формирование допустимой области решений по оптимальному облику СПБ для её последовательного анализа и выбора предпочтительного варианта облика.

В общем случае синтез СПБ проводится на основе корректного учета внешне-системного и внутрисистемного факторов информационного процесса синтеза. Внешнесистемные факторы (W) определяют место СПБ в структуре сложного объекта или

отдельной пожарной организации на основе учета отношений по управлению ($У$), информационному обеспечению ($И$) и взаимодействию ($В$). Внутренние же факторы характеризуют состав образующих ее элементов, параметры, способы их взаимосвязи и функционирование во времени и пространстве. Синтез СПБ заключается в обосновании такой системы, которая в экстремальных пожарных ситуациях обеспечивает выполнение поставленных задач с заданной эффективностью. Выполнение внешнесистемных требований и обоснование внутрисистемных характеристик составляет цель и содержание структуры синтеза СПБ.

Цель применения СПБ состоит в оптимизации ограниченных ресурсов средств ПБ, КИПБ, КГПБ и КОПБ для реализации эффективных действий по обеспечению ПБ отдельных, площадных и пространственно-распределенных различного типа объектов. Учет данных факторов обуславливает необходимость решения задачи синтеза СПБ на основе принципа «эффективность-стоимость», реализация которого обеспечивает получение максимальной эффективности пожаротушения объектов на множестве способов применения СПБ в условиях наличия априорной информации об элементах и структуре объекта, вариантах состава, характеристик, алгоритмов функционирования и способов применения СПБ. Это обуславливает использование в качестве критерия эффективности СПБ максимального / заданного значения вероятности выполнения ею поставленной задачи определенным вариантом облика (состав, характеристики и алгоритмы функционирования) СПБ при минимизации затрат на тушение пожара типовых объектов при существующей априорной информационной неопределенности о причинах возникновения, виде и параметрах пожара на объекте и условиях внешней среды. При этом синтез вариантов СПБ проводится применительно к возможным вариантам состава и способов применения по оптимальным, заранее определенным характеристикам составляющих средств ПБ. Эти варианты формируются эвристически, основываясь на методах раздельного и комплексного применения различных средств ПБ с учетом заданных ограничений на применение, возможности технической реализации и конструктивных особенностей СПБ.

Исходя из этого, постановка задачи синтеза СПБ формулируется в следующем виде.

Требуется при заданных:

типе, составе и пространственном расположении элементов типовых объектов пожаротушения;

типе, составе, характеристиках и способах применения типовых объектов пожаротушения;

составе, структуре и алгоритмах функционирования СПБ;

связях (отношениях) элементов ПБ по управлению ($У$), информационному обеспечению ($И$) и взаимодействию ($В$) в структуре СПБ;

номенклатуре, характеристиках и эффективности средств КИПБ типовых элементарных объектов, U_m^* , $m = \overline{1, M}$;

составе, структуре A_g , $g = \overline{1, G}$, $g \neq k$ и эффективности (U_g^*) КГПБ групп элементов типовых площадных объектов;

составе, структуре и эффективности привлекаемых СПБ по обеспечению пожаротушения типовых пространственно-распределенных объектов из множества возможных вариантов Ω определить множество k -х допустимых вариантов Ω_k СПБ $\{A_k = \{\bar{A}_k, A_k, \tilde{A}_k\}\}$ (состав (\bar{A}_k), характеристики (\hat{A}_k) и способы применения (\tilde{A}_k)), которые обеспечивают заданную / максимальную вероятность выполнения поставленной задачи по тушению пожара типовых объектов (U_k) не менее заданной $U_{\text{зад}}$, и выбрать из него k^* -й предпочтительный вариант, обладающий минимальной стоимостью (C_k^*).

То есть, из множества возможных вариантов Ω при заданных в структуре СПБ внешнесистемных отношениях по ($У$) управлению, ($И$) информационному обеспечению и ($В$) взаимодействию ($У, И, В \in W$) требуется определить множество допустимых Ω_k , $\Omega_k \in \Omega$ вариантов, обеспечивающих заданную / максимальную вероятность ($U_{\text{зад}}$) пожаротушения типовых объектов

$$\Omega_k = \{k : k = \text{Arg} \max_{A_k \in \Omega_A^k} U_k(A_k, A_g, A_m, U_g, U_m, B_k) \geq U_{\text{зад}}\} \quad (1)$$

и из него выбрать предпочтительный вариант (k^*), обладающий минимальной стоимостью

$$k^* = \text{Arg} \min_{k \in \Omega_k} C_k, \quad (2)$$

при $\Omega_A^k = \{\bar{\Omega}_A^k, \hat{\Omega}_A^k, \check{\Omega}_A^k\}; \quad \bar{\Omega}_A^k = \{M_{kl} : \sum_{l=1}^{L_k} M_{kl} q_{kl} \leq Q_k\}; \quad \hat{\Omega}_A^k \in \hat{\Omega}_A^{k*}; \quad \check{\Omega}_A^k \in \check{\Omega}_A^{k*}; \quad (3)$

$$k = \overline{1, K}; \quad g = \overline{1, G}; \quad m = \overline{1, M}; \quad n = \overline{1, N}; \quad r = \overline{1, R}; \quad s = \overline{1, S}; \quad l = \overline{1, L},$$

где $U_k(A_k, A_g, A_m, U_g, U_m, B_k)$ — вероятность выполнения поставленной задачи k -м вариантом облика СПБ при $B_k = \{\bar{B}_k, B_k, \check{B}_k\}$ -м составе (\bar{B}_k), характеристиках (B_k) и алгоритмах функционирования (\check{B}_k) объекта в составе n -го, $n = \overline{1, N}$, количества элементов,

$$\text{равного } U_k(A_k, A_g, A_m, U_g, U_m, B_k) = \sum_{n=1}^N P_{nrs}^k(A_k, v_{nrs}^k);$$

$U_{\text{зад}}$ — заданная вероятность выполнения поставленной задачи пожаротушения СПБ типовых объектов;

$\bar{\Omega}_A^k, \hat{\Omega}_A^k, \check{\Omega}_A^k$ — множество составов, характеристик и способов применения k -го варианта СПБ, соответственно;

$\bar{\Omega}_B^k, \hat{\Omega}_B^k, \check{\Omega}_B^k$ — множество параметров, характеризующих состав, характеристики и способы применения типовых объектов, учитываемых в k -м варианте СПБ, соответственно;

M_{kl} — количество средств ПБ l -го типа в k -м варианте СПБ;

q_{kl} — массогабаритные характеристики l -го средства ПБ k -го варианта СПБ;

Q_k — массогабаритные ограничения на размещение k -го варианта СПБ;

Ω_A^{k*} — множество реализуемых технических характеристик l -х средств ПБ, включаемых в состав k -го варианта СПБ;

$\Omega_A^{k*} = \|\|t_l^{k*}, d_l^{k*}\|$ — вектор параметров, характеризующий временные (t_l^{k*}) и пространственные (d_l^{k*}) условия (ограничения) на применение l -х средств ПБ в k -м варианте СПБ;

R_s — количество элементов s -го типа в структуре типовых объектов;

r — номер элемента в структуре типового объекта;

v_{nrsl}^k — число воздействий на i -й элемент k -го варианта СПБ s -го типа вида пожара r -го элемента типовых объектов, $i = \overline{1, I}$;

γ_{nrsl}^r — число возможных воздействий на i -й элемент k -го варианта СПБ s -го вида пожара r -х элементов типового объекта, равное

$$v_{nrsl}^k = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й элемент СПБ подвержен воздействию } s\text{-го вида пожара} \\ & r\text{-го элемента типового объекта;} \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (5)$$

$P_{nrsl}^k(A_k, v_{nrsl}^k)$ — средняя вероятность пожаротушения типовых объектов k -м вариантом СПБ в условиях воздействия на её i -й элемент s -го вида пожара r -го элемента объекта;

M — число вариантов средств КИПБ, используемых для обеспечения пожаротушения пожара типовых элементарных объектов;

C_k — стоимость k -го варианта СПБ.

Задача (1) — (4) является многопараметрической оптимизационной задачей с нелинейной целевой функцией, связанными переменными и взаимозависимыми ограничениями и представляет последовательность задач дискретного программирования, соответствующих многоуровневости принятия решений в структуре СПБ. Ее решение может быть получено за счет декомпозиции на частные задачи допустимой сложности, решение которых возможно с использованием известных математических методов. При этом задача определения максимального значения критерия эффективности осуществляется отдельно для каждого варианта СПБ с постепенным наращиванием сложности ее структуры от индивидуальных до групповых комплексов ПБ. Включение в состав СПБ приданных КОПБ и / или сил и средств ПБ $N_q(A_k)$ основывается на проведении предварительного анализа условий выполнения требований по заданной эффективности применения с помощью индивидуальных и групповых комплексов ПБ

$$U_k(A_k, B_k, N_m, N_g) \leq U_{\text{зад}}. \quad (6)$$

При невыполнении данных условий рассматривается задача о привлечении СПБ дополнительного ресурса КОПБ и / или сил и средств ПБ (N_d) для пожаротушения наиболее важных элементов объекта при

$$N_m(A_k) \oplus N_q(A_k) = N_m(A_k) \cap N_g(A_k) \cap N_d(A_k) \geq U_{\text{зад}}, \quad (7)$$

после чего проводится новая итерация процедуры синтеза СПБ.

3. Структура метода исследования эффективности

Сложность задачи синтеза СПБ, с одной стороны, и необходимость исследования эффективности её средств ПБ и способов их применения, то есть необходимость детального анализа, с другой — предопределили применение для исследования СПБ в виде (1) — (4) методов математического моделирования. На их выбор определяющее влияние оказывают особенности исследуемого процесса, к основным из которых относятся множество учитываемых параметров и степень неопределенности протекающих информационных процессов; иерархическая структура СПБ и нелинейность связей между её элементами; нелинейный и вероятностный характер исследуемых процессов (обнаружение пожара, распознавание пожарной ситуации, принятие решение, применение средств ПБ и т.д.). Все это затрудняет аналитическое представление исследуемого процесса.

Как известно, для представления аналогичных процессов используются имитационные методы в двух вариантах: аналитические и стохастические. Опыт разработки таких методов показывает, что для исследовательских целей приемлемы как те, так и другие. Вместе с тем, стохастические методы имеют ряд недостатков, связанных с необходимостью набора статистики и расчета большого количества реализаций процессов; для аналитического же метода требуется формальное представление исследуемого процесса. Поэтому для получения зависимостей интегрального показателя эффективности вариантов СПБ целесообразно рассмотрение смешанного аналитико-стохастического метода моделирования.

Сущность аналитико-стохастического метода исследования эффективности применения СПБ состоит в следующем. Временной непрерывный процесс применения

СПБ заменяется дискретным процессом. При этом используются два типа процесса: дискретный с постоянным шагом и дискретный с переменным шагом. Модель с постоянным шагом (или циклом) используется для формирования пространства состояний элементов и исследования вариантов СПБ. Процесс функционирования отдельных элементов СПБ моделируется с переменным шагом, соответствующим длительности пребывания этих элементов в том или ином состоянии.

Расчет моментов и вероятностей перехода элементов СПБ из одного особого состояния в другое, а также свертка вероятностей по этапам функционирования и уровням принятия решений в элементах и системе в целом осуществляется с использованием аналитических функций, которые являются статистическими эквивалентами эффективности её элементов. Эти аналитические функции зависят от обстановки, которая формируется всякий раз к рассматриваемому дискретному особому («узловому») моменту времени. Таким образом, просматривается взаимосвязь значений интегрального показателя эффективности СПБ от изменяющейся во времени обстановки на объекте пожаротушения.

Вследствие физической последовательности применения СПБ по этапам пожарных действий представляется возможным декомпозировать общую задачу исследования её эффективности на ряд частных.

В общем виде структуру процесса исследования эффективности СПБ можно представить трехуровневой иерархической аналитико-стохастической моделью анализа пространственно-временной динамики процесса пожаротушения объекта. Она состоит из системы взаимосвязанных и согласованных по показателям эффективности, входной и выходной информации частных методов и методик, позволяющих рассчитать значение выбранного показателя.

Построение модели осуществляется на основе реализации системных принципов моделирования, полученных модификацией метода узловых точек [4].

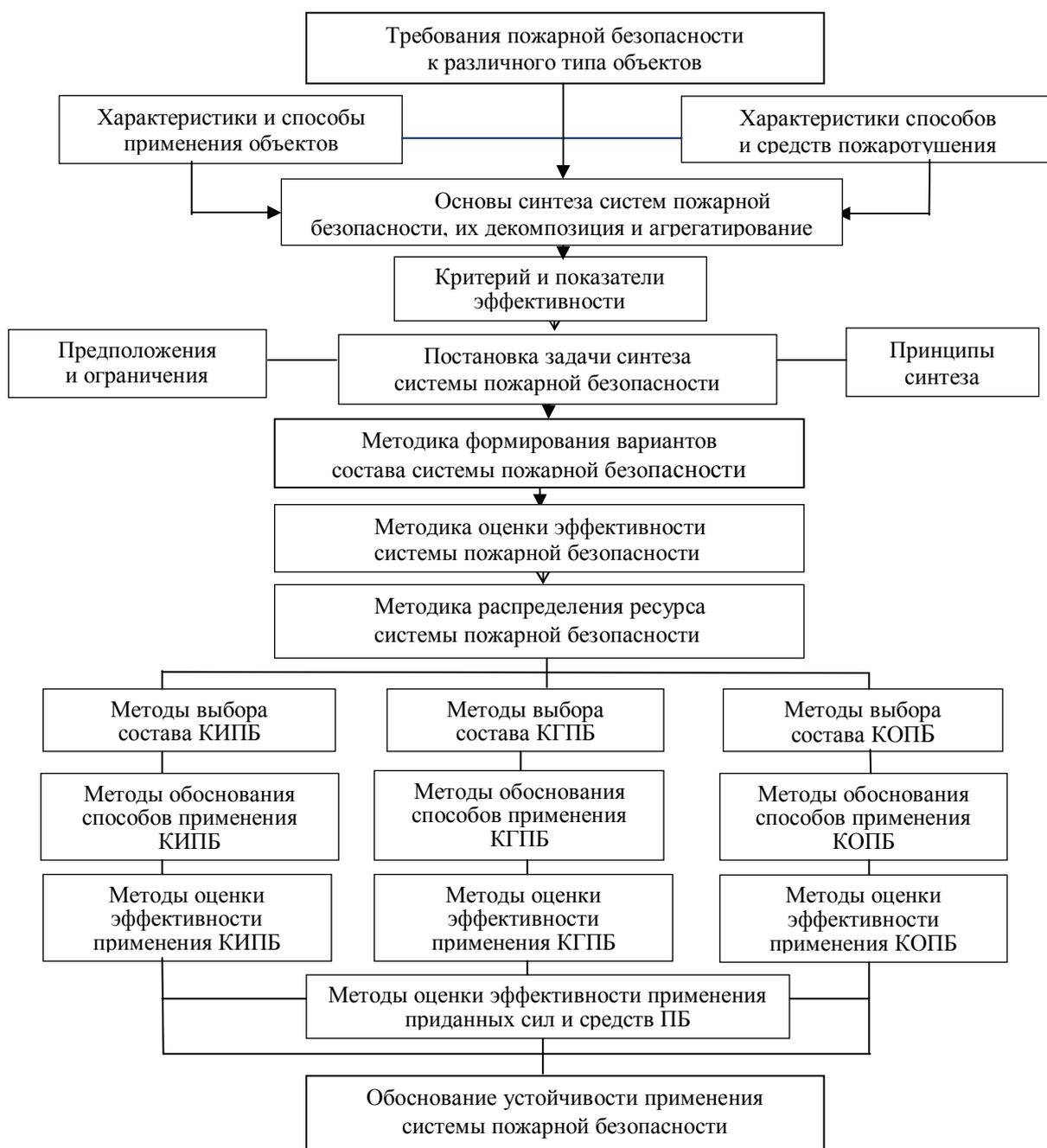
Каждая подсистема и комплексы СПБ структурируются на типовые элементы, функционирование которых должно найти отражение в методике.

Каждому выбранному типовому элементу СПБ ставится в соответствие множество этапов применения, в которых он может пребывать при функционировании (этап получения информации, этап оценки обстановки и т.д.), и ряд переменных величин, которые в зависимости от эффективности рассматриваемого и других элементов СПБ характеризуют возможность выполнения тех или иных функциональных задач. Каждый этап характеризуется принятием некоторого решения (задача выполнена — задача не выполнена и т.д.). Принятие каждого решения соответствует переходу элемента в особое состояние. Переходы могут быть детерминированными и вероятностными.

Длительность пребывания, моменты и вероятности перехода элементов из состояния в состояние определяют временной процесс применения рассматриваемого элемента СПБ. Применение подсистем (комплексов) ПБ рассматривается как взаимосвязанное функционирование их элементов, которое выражается в последовательном обобщении вероятностей переходов из состояния в состояние. Длительности пребывания в состояниях и моменты перехода определяют временную структуру эффективности применения элементов и СПБ в целом. Непосредственно следующий момент абсолютного времени СПБ определяется как ближайший из всех будущих моментов перехода из состояния в состояние составляющих её элементов.

Количественная оценка эффективности вариантов облика СПБ осуществляется по интегральному показателю эффективности, определяющему основные направления исследования её характеристик для выполнения поставленных задач. Внутреннее строение структуры СПБ определяет также из данного принципа и взаимообусловленную структуру её частных показателей эффективности на уровнях средств ПБ, СПК, СПО и собственно СПБ (спуск по иерархическим уровням обеспечивает детальное раскрытие системы; подъем обеспечивает раскрытие её содержания и назначения). Данным иерархическим показателям ставятся в соответствие информационные, информационно-системные и интегральный показатели эффективности. В основу их расчета положено сопоставление временного

баланса, располагаемого соответственно средством, комплексом, подсистемой и СПБ в целом с требуемым для эффективного решения декомпозированной задачи по тушению пожара на типовом объекте. Это позволяет, исходя из анализа возможности построения и исследования эффективности протекающих физических процессов, структуру модели исследования эффективности СПБ представить в виде иерархической системы связанных по входной и выходной информации (показателям эффективности) математических методик оценки эффективности средств и способов ПБ (см. рисунок).



Структурная схема модели исследования эффективности СПБ

Структура модели исследования эффективности СПБ отражает состав методов и методик исследования её эффективности при пожаротушении различного типа объектов и дает целостное представление о направлении и траектории исследований.

Таким образом, предложенные основы методологии синтеза СПБ позволяют сформировать траекторию исследований для анализа, обоснования и выбора оптимального варианта её облика с учетом технической реализуемости и совокупности противоречивых требований к составляющим её средств ПБ различного типа объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мистров Л.Е. Методика типизации условий применения организационно-технической системы // *Машиностроитель*. — 2004. — №12. — С. 11—19.
2. Исследование операций. Методологические основы и математические методы. Т.1 / Под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. — М.: Мир, 1981.
3. Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения. — Л.: Машиностроение, 1985.
4. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. — М.: Наука, 1968.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Мистров Леонид Евгеньевич. Профессор кафедры правовой информатики, информационного права и естественнонаучных дисциплин Центрального филиала ГОУ ВПО «Российская академия правосудия». Доктор технических наук, доцент.

Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 95. Тел. (473) 236-78-36.

Литвинов Олег Викторович. Инспектор отделения профилактики пожаров пожарной части №10 по охране Левобережного района.

Россия, 394074, г. Воронеж, Ростовская, 41. Тел. (473) 244-57-14.

Mistrov Leonid Evgenievich. The professor of the chair of the legal informatics, information right and naturally-scientific disciplines of the Central branch GOU VPO "Russian Academy of the Justice". The Doctor of the technical sciences, the assistant professor.

Work address: 394006, Voronezh, 20 Anniversary of October Str., 95. Tel. (473) 2236-78-36.

Litvinov Oleg Viktorovich.

The surveyor of the division of the preventive maintenance fire PCH 10 on Levoberezhny region guard.

Work address: 394074, Voronezh, Rostovskaya Str., 41. Tel. (473) 244-57-14.

Ключевые слова: объект; пожарная безопасность; средство; комплекс и система пожарной безопасности; метод; критерий; эффективность; методология; анализ; синтез; предпочтительный вариант.

Key words: object; fireman safety; facility; complex and system fireman to safety; method; criterion; efficiency; methodology; analysis; syntheses; preferred variant.

УДК 519.856



В.Г. Зарубский,
кандидат технических наук,
Пермский институт ФСИН России



А.П. Рыбаков,
доктор физико-математических наук,
профессор, Пермский национальный
исследовательский политехнический
университет

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА АДАПТАЦИИ
УПРАВЛЯЮЩЕГО КОМПЬЮТЕРА ИНТЕГРИРОВАННОЙ
СИСТЕМЫ ОХРАНЫ К ТЕКУЩЕМУ
ФУНКЦИОНАЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ**

**MATHEMATICAL MODEL OF PROCESS OF ADAPTATION
OF THE OPERATING COMPUTER
OF THE INTEGRATED SYSTEM OF PROTECTION
TO THE CURRENT TO FUNCTIONAL CONDITION**

Представлена математическая модель процесса адаптации управляющего компьютера интегрированной системы охраны, используемой для обеспечения безопасности объектов уголовно-исполнительной системы. Адаптация управляющего компьютера к текущему функциональному состоянию достигается применением теории структурно-устойчивых вычислительных систем, использующих для восстановления готовности функционально избыточные уровни архитектуры.

The mathematical model of process of adaptation of the operating computer of the integrated system of protection used for safety of objects of criminally-executive system is presented. Adaptation of the operating computer to a current functional condition is reached by use of the theory of the structurally-steady computing systems using for restoration of readiness functionally superfluous levels of architecture.

Процесс реформирования уголовно-исполнительной системы (УИС), осуществляемый в настоящее время в Российской Федерации, предполагает широкое внедрение в её деятельность современных технических систем, в том числе интегрированных систем охраны (ИСО).

В общем смысле под ИСО понимается реализация системной концепции обеспечения безопасности объекта, в которой параллельно (интегрированы) решены задачи автоматизации управления широкой гаммой систем жизнеобеспечения объекта, таких как: охранно-пожарная сигнализация, тревожная сигнализация, системы контроля и управления доступом, системы видеонаблюдения, системы оповещения, энергоснабжение, вентиляция, системы активного пожаротушения и т.п. [1].

Ядром подобных систем является управляющий компьютер (УК), который служит основой для интеграции всей системы в целом. Таким образом, становится очевидно, что выход из строя управляющего компьютера приведет к выводу из строя всей системы. Это недопустимо, поскольку объекты охраны УИС являются объектами повышенной опасности.

Причинами выхода из строя управляющего компьютера могут служить и преднамеренное воздействие (например, использование вредоносных программ), и неквалифицированные действия сотрудников, и иные факторы.

В этих условиях, наряду с известными методами построения УК с развитым свойством живучести, интенсивно разрабатывается теория структурно устойчивых вычислительных систем [2, 3], использующих для восстановления готовности функционально избыточные уровни архитектуры. Многочисленные исследования в данной области подтверждают принципиальную возможность обеспечения на этой основе способности УК к алгоритмической компенсации стохастически возникающих функциональных отказов (ф-отказов), приводящих к постепенной деградации вычислительных возможностей аппаратуры. Однако проникновение функционального подхода в конструкторскую область создания высоконадежных структурно-устойчивых УК сдерживается отсутствием научных разработок в области организации эффективных процессов их адаптации к текущему функциональному состоянию (ф-состоянию).

Отсюда возникает задача разработки обобщенной математической модели процесса адаптации УК к текущему функциональному состоянию и выяснению определяющих факторов восстановления готовности его как структурно устойчивой системы.

Пусть $F = \{f_i; i = \overline{1, |F|}\}$ — функциональное представление УК с развитой архитектурой, что означает существование на множестве функциональных состояний — $\Pi(F) = \Pi_F = \{\rho^F; |\Pi_F| = 2^{|F|}\}$, т.е. подмножеств ρ^F исходной функциональной системы F , класса функционально полных состояний $\Pi'_F \subseteq \Pi_F$. Отношением эквивалентности для этого класса может служить предикат

$$(\forall \rho^F \in \Pi'_F)(\forall a \in A)p(a_F \rightarrow a_{\rho^F}), \quad (1)$$

где A — заданное множество вычислимых функций; a_F и a_{ρ^F} — алгоритмы их реализации как композиции функций управляющего компьютера: $a_F \in (F)^*$, $a_{\rho^F} \in (\rho^F)^*$, или слова в соответствующих алфавитах F и ρ^F .

Представим множество функциональных состояний частично упорядоченным булеаном (рис.1)

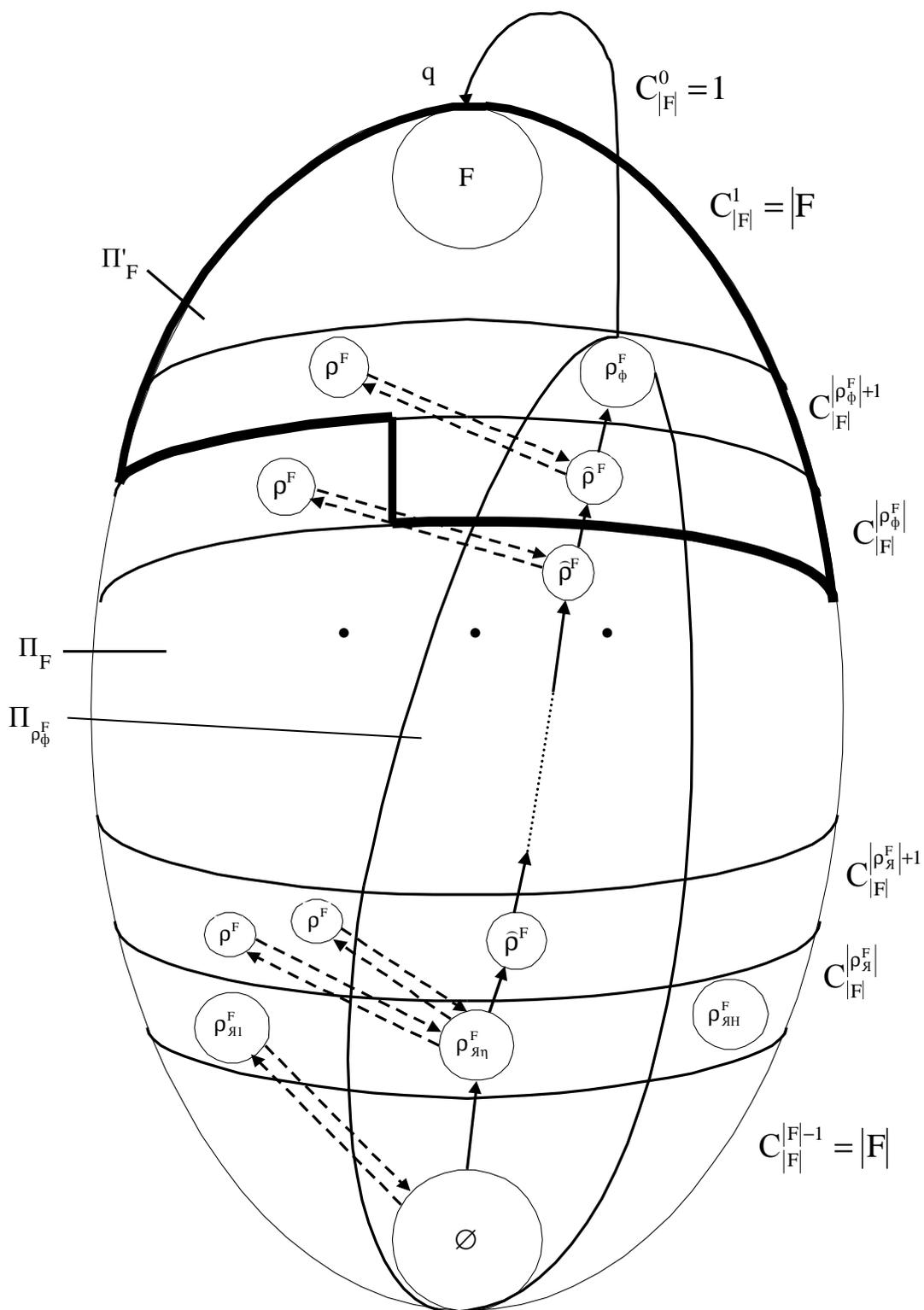


Рис. 1. Теоретико-множественная интерпретация процесса адаптации

$$\Pi_F = \bigcup_{i=0}^{|\mathbb{F}|} \Pi_F^i, \quad \Pi_F^{i_1} \cap \Pi_F^{i_2} = \emptyset, \quad (2)$$

где i выступает отношением $\Pi_F^i, i = 0, \overline{|F|}$ и отношением эквивалентности внутри этих подмножеств. Действительно, если в каждое подмножество Π_F^i включить все функциональные состояния мощности $|F| - i$, т.е. недосчитывающие ровно i функций УК:

$$(\forall \rho^F \in \Pi_F^i) p(|\rho^F| = |F| - i \mid |F \setminus \rho^F| = i), \quad (3)$$

то i будет служить характеристикой мощности функционального отказа $\bar{\rho}^F$ на этом подмножестве ф-состояний:

$$\dot{\rho}^F = F \setminus \rho^F, \rho^F \in \Pi_F^i. \quad (4)$$

С другой стороны, из $i_1 > i_2$ следует

$$(\forall \rho_{j_1}^F \in \Pi_F^{i_1})(\forall \rho_{j_2}^F \in \Pi_F^{i_2}) p(|F \setminus \rho_{j_1}^F| > |F \setminus \rho_{j_2}^F|). \quad (5)$$

Мощность упорядоченных подмножеств $\Pi_F^i, i = 0, \overline{|F|}$ определится следующим образом:

$$|\Pi_F^i| = C_{|F|}^{|F|-i} = C_{|F|}^i. \quad (6)$$

Естественно, что отношение (2) приводит к отношению

$$\sum_{i=0}^{|F|} C_{|F|}^i = 2^{|F|}. \quad (7)$$

Если фактическое ф-состояние $\rho_\phi^F \in \Pi_F$, $\rho_\phi^F \subseteq F$ структурно устойчивого УК может быть дополнено алгоритмами эмуляции L до конфигурации (логического представления восстановленной ф-системы)

$$q = \rho_\phi^F \cup L = \rho^F, q \in \Pi_F \quad (8)$$

$$|q| \leq |F|, \quad (9)$$

$$\text{где } (\forall \ell \in L)(\exists! f \in F \setminus \rho_\phi^F) p(\ell \sim f) \quad (10)$$

либо алгоритм $a_{\rho^F} \in A$ может быть приведен к ф-состоянию ρ_ϕ^F

$$a_{\rho^F} \rightarrow a_{\rho_\phi^F}, \quad (11)$$

то можно говорить о восстановлении готовности УК относительно a_{ρ^F} .

В любом случае необходимо определить фактическое ф-состояние ρ_ϕ^F , т.е. провести функциональное диагностирование (ф-диагностирование). При отсутствии специальных диагностических средств оно определяется в ходе самопроверки, на которую кроме традиционного определения вида технического состояния «исправен — неисправен» возлагается новая задача — перечисление элементов множества ρ_ϕ^F , или $\bar{\rho}_\phi^F$, что, по сути, одно и то же.

Обычная структура самопроверки по р-технологии (рис. 2) осуществляется по принципу «раскрутки», т.е. начинается с места, базирующегося на минимальном наборе команд («ядре») $\hat{\rho}_1^F$ с постепенным подключением в последующих тестах остальных. При первом же факте непрохождения теста по норме фиксируется снятие готовности ($\overline{\text{Гот}}$), самопроверка прекращается, при нормальном прохождении всех тестов — готовность (Гот). $N_1, N_2, \dots, N_{|\theta|}$ — нормы проверки команд, $\bar{N}_1, \bar{N}_2, \dots, \bar{N}_{|\theta|}$ — ненормы.

$\hat{\rho}^F = \hat{\rho}_1^F | \hat{\rho}_2^F | \dots | F$ — наращиваемое в случае положительного решения теста подмножество исправных команд.

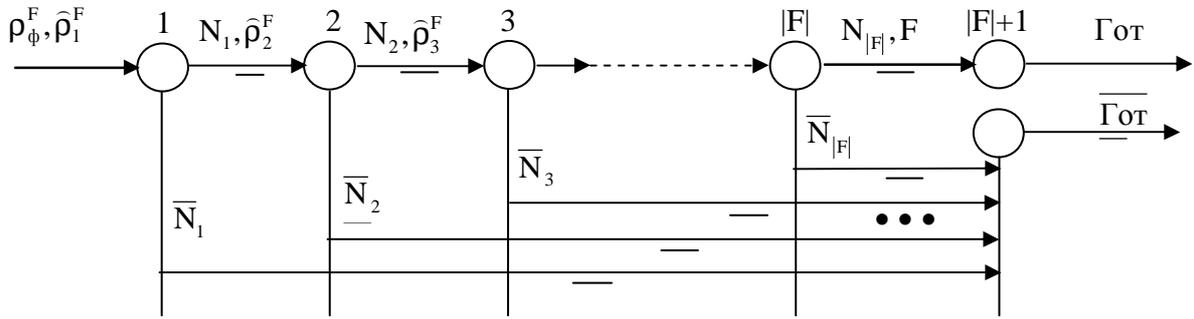


Рис. 2. Р-схема обычной программы самопроверки УК ИСО

Программа ф-диагностирования (рис.3) должна учитывать следующие особенности:

1) наличие нескольких непересекающихся «ядер» $\rho_{я1}^F, \dots, \rho_{я\eta}^F, \dots, \rho_{яH}^F$,

$$H = i_{\max} + 1, \tag{12}$$

$$\Pi_F^{i_{\max}} \cap \Pi'_F \neq \emptyset, \tag{13}$$

$$\Pi_F^{i_{\max}+1} \cap \Pi'_F = \emptyset, \tag{14}$$

что соответствует максимальной мощности ф-отказа, принадлежащего области структурной устойчивости Π'_F ;

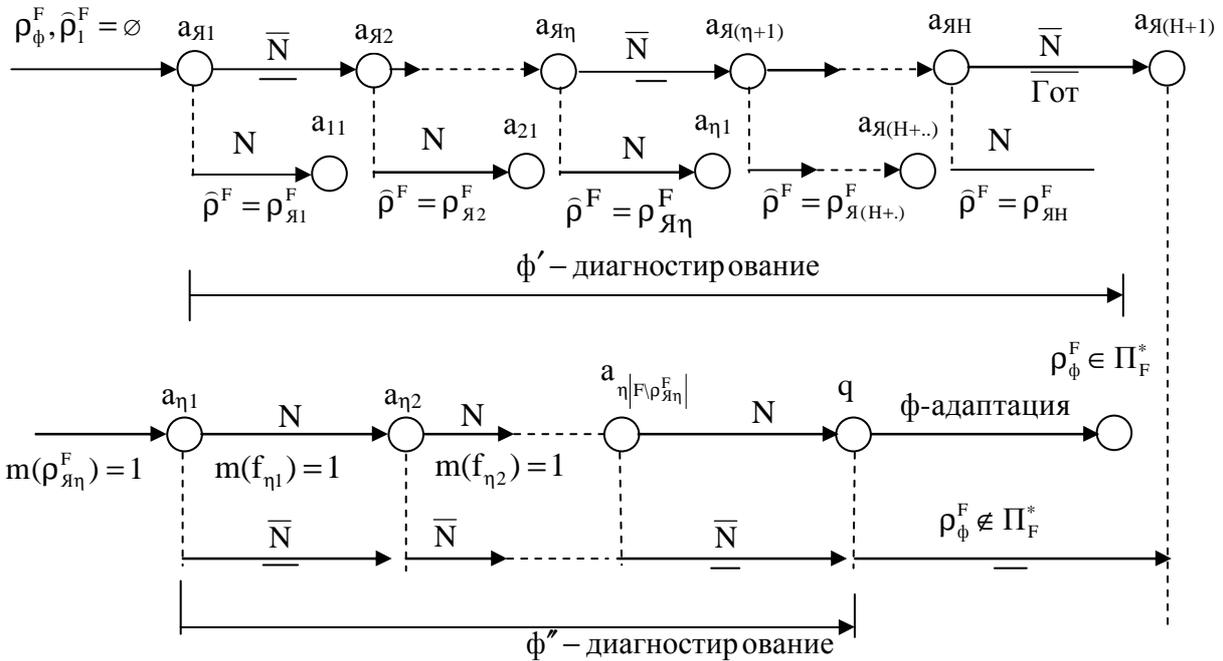


Рис. 3. Р-схема ф-диагностирования и ф-адаптации структурно устойчивого УК ИСО

2) достаточную достоверность проверки готовности «ядер» и процесса поиска «исправного ядра»:

$$\hat{\rho}^F := \rho_{я\eta}^F; \tag{15}$$

3) достаточную достоверность процедуры идентификации фактического ф-состояния ρ_ϕ^F , строящейся по принципу «раскрутки» методом «проб и ошибок» в условиях неисправности априорно неисправного подмножества функций УК $F \setminus \rho_\phi^F$;

4) возможность конфигурации (8) и/или перепрограммирования алгоритмов (11);

5) возможность А-адаптации.

Процесс функционального диагностирования можно отобразить траекторией, имеющей достаточно прозрачную теоретико-множественную интерпретацию (рис. 4).

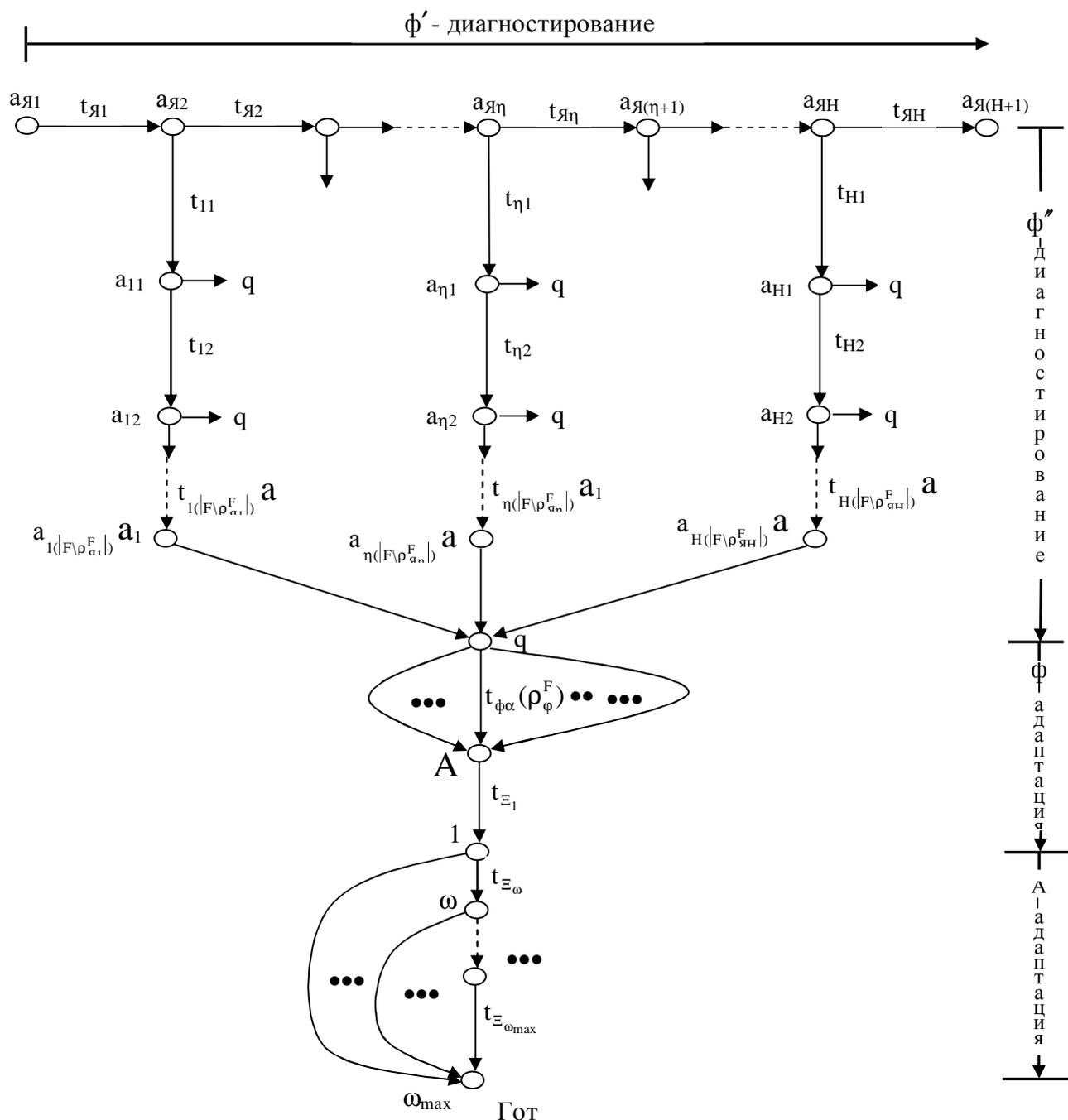


Рис. 4. Граф временных реализаций алгоритма адаптации

Действительно, любое фактическое ф-состояние ρ_{ϕ}^F посредством оператора булеана $\Pi(\dots)$ образует подмножество состояний $\Pi_{\rho_{\phi}^F} \subset \Pi_F$, отличающееся рядом особенностей, из которых складывается стратегия ф-диагностирования: наращиваемое на каждом шаге процедуры ф-диагностирования подмножество исправных состояний УК, начиная с «ядра» и заканчивая итоговым результатом, должно удерживаться на множестве $\Pi_{\rho_{\phi}^F}$.

Для удобства интерпретируем множество ф-состояний УК $|F|$ разрядным двоичным счетчиком m , в котором 1 в i -м разряде ($m(f_i) = 1$) означает достоверно исправную, а 0 ($m(f_i) = 0$) — неисправную либо еще не проверенную функцию f_i . Тогда первый этап диагностирования (ф'-диагностирования), завершившийся нахождением исправного «ядра», установит

$$m(\rho_{\text{ял}}^F) = 1, \quad (16)$$

т.е. расстановкой «единиц» в разрядах интерпретирующих это «ядро». На каждом шаге второго этапа диагностирования (ф''-диагностирования) в разряде проверяемой команды фиксируется положительный результат. Этот этап всегда содержит $|F \setminus \rho_{\text{ял}}^F|$ шагов.

По результатам ф-диагностирования решается один из двух вариантов ф-адаптации (8) или (11), если

$$\rho_{\phi}^F \in \Pi_F^* \subseteq \Pi'_F, \quad (17)$$

т.е. текущее ф-состояние соответствует области структурной устойчивости, строящейся на области функционально полных ф-состояний по принципу достаточного быстрогодействия. Так, для ранжированного по важности ряда наборов алгоритмов $A_1, \dots, A_{\omega}, \dots$ следствием А-адаптации должен стать выбор A_{ω} , если выполняется следующее условие

$$t_{A_{\omega-1}} < t_{\Xi} \leq t_{A_{\omega}}, \quad (18)$$

где t_{Ξ} — время решения контрольной смеси Ξ , восстановленного УК, а $t_{A_{\omega-1}}$ и $t_{A_{\omega}}$ — приведенное к Ξ время решения алгоритмов $t_{A_{\omega-1}}$, $t_{A_{\omega}}$, соответственно.

Общее время $t_{\text{ад}}$ адаптации сложится из четырех составляющих:

$$t_{\text{ад}} = t'_{\text{фл}} + t''_{\text{фл}} + t_{\text{фа}} + t_{\text{Аа}}, \quad (19)$$

где перечислены времена ф', ф'' — диагностирования, ф-адаптации, А-адаптации. Для применения в системах охраны УИС общее время адаптации $t_{\text{ад}}$ является весьма критичным параметром, однако оно может потерять всякий смысл без учета фактора достоверности процесса адаптации.

Разработанная теоретико-множественная модель позволяет непосредственно перейти к математической постановке научной задачи, которую предстоит решить в ходе дальнейших исследований по созданию высоконадежных УК ИСО для нужд уголовно-исполнительной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Магауенов Р.Г. Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения: учебное пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Горячая линия — Телеком, 2008. — 496 с.
2. Моделирование вычислительного процесса в структурно устойчивых вычислительных системах в дискретно-векторном пространстве состояний / В.А. Харитонов, А.Ю.Беляков, С.Ф.Тюрин, В.Г.Зарубский // Научно-технический сборник ГосНИИУМС. Вып. 45. Пермь, 1996. — С. 124—132.
3. Формальная система в задаче синтеза средств организации эмуляционных процессов в управляющих вычислительных системах с адаптивными интерпретаторами / В.А. Харитонов, А.Ю.Беляков, В.Г.Зарубский, Р.Л. Сабиржанов // Сборник научных трудов ГосНИИУМС. Вып. 47. — Пермь, 1998. — С. 131—141.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Зарубский Владимир Георгиевич. Доцент кафедры организации охраны и конвоирования в уголовно-исполнительной системе. Кандидат технических наук.

Пермский институт ФСИН России.

E-mail: volen3030@rambler.ru

Россия, 614012, Пермь, Карпинского, 125. Тел. (342) 228-65-04 (169).

Рыбаков Анатолий Петрович. Профессор кафедры общей физики. Доктор физико-математических наук, профессор.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

E-mail: anatryb@yandex.ru

Россия, 614990, Пермь, Комсомольский проспект, 29. Тел. (342) 219-82-12.

Zarubsky Vladimir Georgievich. Assistant professor of the chair of Organization of Guard and Escort in Penal System. Candidate of technical science.

Perm Institute of the Federal Penal Service.

Russia, 614012, Perm, Karpinsky Str., 125. Tel.: (342) 228-65-04 (169)

Rybakov Anatoly Petrovich. Professor of the chair of General Physics. Doctor of Physics and Mathematics, professor.

Perm State National Research Polytechnical University.

Russia, 614990, Perm, Komsomolsky Avenue, 29. Tel. (342) 219-82-12.

Ключевые слова: интегрированная система охраны; структурно-устойчивый управляющий компьютер; функциональный отказ; функциональное состояние; функциональная система; функциональное диагностирование; функциональная адаптация.

Key words: the integrated system of the protection; the structurally-steady operating computer; functional refusal; functional condition; functional system; functional diagnosing; functional adaptation.

УДК 343.8



В.В. Навоев,
кандидат технических
наук, Управление вневедомственной охраны
по Свердловской области



А.В. Мельников,
кандидат технических наук



Д.А. Волков,
Управление вневедомственной охраны
по Свердловской области

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТНО-ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ВНЕВЕДОМСТВЕННОЙ ОХРАНЫ

ABOUT USE OF HARDWARE-EXPERT ESTIMATION IN AN INFORMATION CONTROL SYSTEM OF PRIVATE SECURITY

Предлагается на основе математического анализа функциональных матриц формировать согласованные группы экспертов. Проведена верификация метода при принятии управленческих решений в деятельности подразделений полиции вневедомственной охраны по оптимальной расстановке сил и средств, решению организационно-штатных и иных вопросов.

It is offered to form the coordinated commissions of experts on the basis of the mathematical analysis of functional matrixes. Method verification at acceptance of administrative decisions in activity of divisions of private security police on optimum alignment of forces and means, to the decision of organizational-regular and other questions is spent.

Полиция в соответствии с п.25 ст. 12 Федерального закона от 07.02.2011 года №3-ФЗ «О полиции» обязана «охранять на договорной основе имущество граждан и организаций...».

Реализация задачи по государственной охране объектов, а также охране имущества граждан и организаций в соответствии с Указом Президента Российской Федерации 01.03.2011 года №250 «Вопросы организации полиции» возложена на подразделения, входящие в состав полиции.

Подразделения вневедомственной охраны полиции, осуществляющие на договорной основе защиту имущества собственников в пределах своей компетенции, не

только обеспечивают охрану имущества и оказывают другие услуги, предусмотренные договорами с собственниками, но и в пределах своей компетенции организуют и проводят научные исследования, опытно-конструкторские и иные работы в области создания и применения средств охранной сигнализации [1].

Решая задачу проведения на территории России единой технической политики в области создания средств охранной сигнализации, их промышленного освоения, контроля за качеством, тактики применения, внедрения и эксплуатации, подразделения вневедомственной охраны в современных условиях действуют в сложной социальной среде, характеризующейся, с одной стороны, позитивной динамикой конкуренции на рынке охранных услуг, а с другой — стабильно высоким количеством противоправных посягательств на охраняемые объекты.

В этой ситуации многократно возрастает важность объективной оценки оперативной обстановки, складывающейся в конкретном регионе, выбора адекватного ей варианта управления всеми ресурсами — информационными, материальными, человеческими и т.д. В связи с этим трудно переоценить важность проблемы кадрового обеспечения данной деятельности и, в частности, привлечения экспертов. Именно от эффективности экспертных оценок зависит заблаговременное исследование типовых вариантов — моделей принятия управленческих решений при проектировании организационно-штатных структур, решения широкого комплекса проблем, стоящих перед подразделениями полиции в общем и вневедомственной охраны в частности.

При этом разнообразная и многоплановая деятельность органов внутренних дел по борьбе с преступностью, обеспечению общественного порядка и общественной безопасности нуждается в заблаговременном, упреждающем, перспективном конструировании типовых вариантов-моделей, что требует серьезной, научно обоснованной работы с экспертами.

Причем репрезентативность выборки экспертов — необходимое, но уже не достаточное условие профессиональной деятельности группы экспертов. Для разработки новых положений и нормативов, адекватных современным условиям, нужно создавать группы экспертов нового типа — с повышенной согласованностью мнений по вопросам, для решения которых создана группа. Необходимость анализа однородности коллектива экспертов связана с конечной целью экспертного опроса — формированием группового заключения на основе совокупности индивидуальных оценок.

Для выявления групп экспертов, внутри которых согласованность мнений высока и экспертов с оригинальной точкой зрения существует большое количество методов [3,4]. Отметим три основных: 1) перебор коэффициентов конкордации путем последовательного исключения из совокупности экспертов; 2) вычисление коэффициентов парной ранговой корреляции; 3) построение и анализ поверхности в $(n+1)$ -мерном пространстве, рельеф которой отражает распределение мнений всех экспертов (графический метод).

Коэффициент конкордации W рассчитывается по формуле [2]:

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^n d_j^2}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{i=1}^m T_i}, \quad (1)$$

где n — количество направлений исследований; d_j — фактически встречающееся отклонение суммы рангов по j -му направлению исследований от среднего арифметиче-

ского сумм рангов по n направлениям исследований; T_i — показатель равных (связанных) рангов; $T_i = \sum_{l=1}^L (t_l^3 - t_l)$; L — число групп равных рангов в оценках i -го эксперта, $i = 1, 2, \dots, m$; $l = 1, 2, \dots, L$; t_l — число равных рангов в l -й группе.

Степень достоверности результатов расчета и значимости W при больших n устанавливаются при помощи критерия χ^2 (критерий Пирсона).

Коэффициент конкордации может принимать значения в пределах от 0 до 1, что соответствует увеличению степени согласованности мнений экспертов. Если $W = 1$, то это говорит о полной согласованности мнений экспертов (что на практике почти невозможно).

Небольшое значение коэффициента конкордации свидетельствует о слабой согласованности мнений экспертов и может являться следствием таких причин: 1) в рассматриваемой совокупности экспертов действительно отсутствует согласованность; 2) внутри рассматриваемой совокупности экспертов существуют группы с высокой согласованностью мнений, но обобщенные мнения этих групп противоположны. Отсутствие согласованности мнений ($W=0$) является необходимым, но недостаточным условием того, что внутри рассматриваемой совокупности нет групп, характеризующихся высокой согласованностью мнений. Реализация такого предельного случая на практике встречается достаточно часто и представляет значительный интерес с точки зрения выявления групп единомышленников и возможных альтернативных путей дальнейшего развития ситуации.

В данной работе мы предлагаем новый подход к обработке информации, получаемой в процессе общения заинтересованного лица с группой экспертов. Мы получим ряд функциональных критериев, оценим их и проведем сравнение с традиционным в математической статистике коэффициентом конкордации — коэффициентом Кендэла. В отличие от коэффициента Кендэла, имеющего дискретный характер, математические инструменты, полученные в данной работе, основаны на элементах математического анализа функциональных матриц и способны оценивать динамику изменения ситуации.

Представим мнение i -го эксперта вектором его оценок $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}]$, паре векторов x_l, x_s ($l, s = 1, \dots, m$) поставим в соответствие евклидову метрику

$$\rho(x_l, x_s) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{li} - x_{si})^2}. \quad (2)$$

Нашей задачей является оценка согласованности всего коллектива экспертов (совокупности) экспертов. Будем исследовать тесноту связи, опираясь на матрицу, состоящую из метрик (2) для различных пар экспертов. Эта матрица симметричная, т.к. $\rho(x_l, x_s) = \rho(x_s, x_l)$, она характеризует тесноту связи всех экспертов и имеет вид:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & \rho(x_1, x_2) & \dots & \rho(x_1, x_m) \\ \rho(x_2, x_1) & 0 & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \rho(x_m, x_1) & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Введенную матрицу будем использовать для определения новых характеристик согласованности групп экспертов. Для этой цели введем метрику на множестве матриц (3) и будем использовать норму матрицы, определяя ее различным образом:

$$\|A\|_1 = \frac{\sum_{l \neq s} \rho(x_l, x_s)}{m(m-1) \max_{l,s} \rho(x_l, x_s)}, \quad (4)$$

$$\|A\|_2 = \frac{\left\{ \sum_{l \neq s} \{\rho(x_l, x_s)\}^2 \right\}^{\frac{1}{2}}}{2\sqrt{m} \left(\sum_{k=1}^m \|x_k\|^2 \right)^{\frac{1}{2}}}, \quad (5)$$

$$\|A\|_3 = \frac{\max \rho(x_l, x_s)}{2 \max_k \|x_k\|}, \quad (6)$$

где $\|x_k\|$ и $\|x_r\|$ — нормы соответствующих векторов в пространстве l_2^n :

$$\|x_k\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ki})^2}.$$

Несложно доказать, что $\|A\|_1 \leq 1$. Из неравенства Коши и неравенства треугольника имеем $\|A\|_2 \leq 1$ и $\|A\|_3 \leq 1$. Действительно,

$$\begin{aligned} \left\{ \sum_{l \neq s} (\rho(x_l, x_s))^2 \right\}^{\frac{1}{2}} &\leq \left\{ \sum_{l \neq s} (\|x_l\| + \|x_s\|)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \leq \left\{ \sum_{l \neq s} (\|x_l\|)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} + \left\{ \sum_{l \neq s} (\|x_s\|)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = \\ &= \sqrt{m} \left(\left\{ \sum_{l=1}^m (\|x_l\|)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} + \left\{ \sum_{s=1}^m (\|x_s\|)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \right) = 2\sqrt{m} \left\{ \sum_{k=1}^m (\|x_k\|)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}. \end{aligned}$$

Полученные неравенства обосновывают принципиальную возможность использования их в качестве инструментов исследования структуры однородности совокупности мнений группы экспертов. Формулы (4) и (5) сравним с традиционным коэффициентом Кендэла. Формула (6) может быть использована для выявления крайних мнений среди экспертов.

С целью выявления доминирующих факторов, оказывающих влияние на количество ложных срабатываний ПЦО, был проведен опрос по следующим направлениям: 1) по вине охранно-пожарной сигнализации; 2) из-за отключения электроэнергии; 3) по вине хозоргана; 4) по вине систем передачи извещений; 5) по вине дежурного пульта управления; 6) из-за климатических условий; 7) по вине городской телефонной сети.

Результаты опроса после ранжирования приведены в табл. 1. По результатам опроса было проведено сравнение числовых значений коэффициента $\|A\|_1$ и коэффициента конкордации. Для удобства анализа характеристик согласованности мнений экспертов вместо $\|A\|_1$ рассматривался коэффициент близости, рассчитываемый по формуле:

$$K_{\bar{6}} = 1 - \|A\|_1. \tag{7}$$

Таблица 1

Факторы	Эксперты						Сумма рангов
	1	2	3	4	5	6	
1	5	4	4	4	6	6	29
2	6	7	5	6	5	7	36
3	4	5	6	5	4	3	27
4	3	3	2	3	3	2	16
5	2	2	1	1	2	4	12
6	7	6	3	7	7	5	35
7	1	1	7	2	1	1	13

Коэффициент конкордации и коэффициент близости (7) для всей совокупности равны соответственно 0,623 и 0,441. Анализируя значения в табл. 2 и 3, заметим, что образованы следующие компактные группы: 1-й и 5-й эксперты, 2-й и 4-й эксперты (здесь r_{ij} — расстояние между парой экспертов, рассчитываемое по (2)). После обработки результатов заметим, что первого, второго, четвертого и пятого экспертов можно объединить в одну компактную группу. Также следует отметить, что третий эксперт имеет оригинальную точку зрения на поставленную задачу.

Таблица 2

r_{ij}	1	2	3	4	5	6
1	0	2	$\sqrt{68}$	2	$\sqrt{2}$	$\sqrt{12}$
2	2	0	$\sqrt{54}$	2	$\sqrt{10}$	$\sqrt{11}$
3	$\sqrt{68}$	$\sqrt{54}$	0	$\sqrt{48}$	$\sqrt{74}$	$\sqrt{78}$
4	2	2	$\sqrt{48}$	0	$\sqrt{8}$	$\sqrt{24}$
5	$\sqrt{2}$	$\sqrt{10}$	$\sqrt{74}$	$\sqrt{8}$	0	$\sqrt{14}$
6	$\sqrt{12}$	$\sqrt{11}$	$\sqrt{78}$	$\sqrt{24}$	$\sqrt{14}$	0

Таблица 3

Этап	Значение K_b					
1	$K_{12345}=0,579$	$K_{1234}=0,55$	$K_{1235}=0,515$	$K_{1245}=0,789$	$K_{125}=0,793$	$K_{15}=0,87$
2	$K_{2346}=0,475$	$K_{234}=0,487$	$K_{23}=0,305$	$K_{24}=0,81$	$K_{34}=0,345$	
3	$K_{36}=0,16$					

Рассматривая компактную совокупность из первого, второго, четвертого и пятого экспертов, видим, что доминирующее воздействие оказывают второй и шестой факторы.

Значительный интерес в рассматриваемом вопросе представляет третий эксперт, мнение которого существенно отличается от мнения большинства.

Было проведено сравнение разработанного способа со способом выявления высоко согласованных групп экспертов путем перебора и сравнения коэффициентов конкордации.

Таблица 4

Этап	Значение W					
1	$W_{12345}=0,642$	$W_{1234}=0,625$	$W_{1235}=0,575$	$W_{1245}=0,9$	$W_{125}=0,93$	$W_{15}=0,98$
2	$W_{2346}=0,5446$	$W_{234}=0,603$	$W_{23}=0,5357$	$W_{24}=0,964$	$W_{34}=0,607$	
3	$W_{36}=0,4107$					

Как видно из табл. 4, первая компактная группа сформирована из первого и пятого экспертов, вторая — из второго и четвертого, третья — из третьего и шестого.

В ходе анализа установлено, что доминирующее влияние на систему оказывают второй и шестой факторы, при этом мнения третьего и шестого экспертов по оценке значимости шестого фактора отличны от мнения большинства.

Результаты сравнения показывают, что нормы оценки согласованности мнений, основанные на коэффициенте Кендэла и на норме (5), эквивалентны. Новая характеристика может заменять формулу для стандартного коэффициента конкордации Кендэла, но в отличие от него она непрерывна и обладает всеми свойствами метрики.

Таким образом, предложенная методика формирования высоко согласованных групп экспертов и экспертов с оригинальной точкой зрения позволяет, на наш взгляд, сделать вывод о том, что она вполне может быть использована в процессе принятия управленческих решений в деятельности подразделений полиции вневедомственной охраны по оптимальной расстановке сил и средств, решению организационно-штатных и иных вопросов, требующих использования математических подходов и построения экспертных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Положение о вневедомственной охране при органах внутренних дел Российской Федерации. Утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 14.08.1992 г. №589 // САПП РФ. — 1992. — № 8. — С.507.
2. Кендэл М. Дж. Ранговые корреляции. — М.: Статистика, 1975. — 214 с.
3. Навоев В.В. Анализ методов обработки данных по критерию «оценка относительной важности» // Вестник Воронежского института МВД России. — 2002. — №1. — С. 208—211.
4. Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании / Г.М. Добров [и др.]; под ред. В.С.Михалевича. — Киев: Наук. думка, 1974. — 160 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Навоев Виктор Владимирович. Начальник Управления вневедомственной охраны Главного управления МВД России по Свердловской области. Кандидат технических наук.

Управление вневедомственной охраны Главного управления МВД России по Свердловской области.

v.navoev@mail.ru

Россия, 620142, г. Екатеринбург, ул. Чапаева, 12а. Тел. (343) 257-62-50.

Мельников Александр Владимирович. Старший преподаватель кафедры огневой подготовки. Кандидат технических наук.

Воронежский институт МВД России.

meln78@mail.ru

Россия, 394065, г. Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 2623-397.

Волков Дмитрий Александрович. Заместитель начальника отдела Управления вневедомственной охраны Главного управления МВД России по Свердловской области.

Управление вневедомственной охраны Главного управления МВД России по Свердловской области.

volfmvd@rambler.ru

Россия, 620142, г. Екатеринбург, ул. Чапаева, 12а. Тел. (343) 257-62-50.

Navoev Victor Vladimirovich. The head of Department of private security of Central administrative board of the Ministry of the Interior of Russia on Sverdlovsk area. Candidate of technical sciences.

Work address: Russia, 620142, Ekaterinburg, Chapaev Str., 12a. Tel. (343) 257-62-50.

Melnikov Alexander Vladimirovich. Senior lecturer of the chair of Range Practice. Candidate of technical sciences.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 2623-397.

Wolkov Dmitry Alexandrovich. The deputy chief of division of Department of private security of Central administrative board of the Ministry of the Interior of Russia on Sverdlovsk area.

Work address: Russia, 620142, Ekaterinburg, Chapaev Str., 12a. Tel. (343) 257-62-50.

Ключевые слова: согласованность оценок экспертов; методы функционального анализа; деятельность подразделений полиции вневедомственной охраны.

Key words: coordination of estimations of experts; methods of the functional analysis; activity of divisions of private security police.

УДК 657



И.Г. Дровникова,
доктор технических наук, доцент

ПОСТРОЕНИЕ МИКРОВРЕМЕННОЙ МОДЕЛИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ОРГАНОВ ВНУТРЕННИХ ДЕЛ

CONSTRUCTION OF EDUCATIONAL PROCESS' MICROTOME MODEL IN EXPERTS' TRAINING SYSTEM FOR LAW-ENFORCEMENT BODIES

Предложена микровременная модель образовательного процесса. Доказано утверждение об условии реализации эффективного процесса подготовки специалистов для органов внутренних дел при наличии контроля и быстрого восстановления знаний, умений и навыков курсантов (слушателей).

The microtime model of educational process is offered. The statement about effective process realization of experts' training for law-enforcement bodies in the presence of control and fast cadets' knowledge, skills restoration is proved.

Введение

Решение сложных задач управления в системе профессиональной подготовки кадров для органов внутренних дел (ОВД) в настоящее время практически невозможно без предварительного математического моделирования образовательного процесса [1—3]. Этому способствует широкое применение современной компьютерной техники в образовательных учреждениях МВД России, позволяющее в оперативном режиме решать задачи управления образовательным процессом на основе разработанных математических моделей различного вида [4—7].

Теоретический анализ

Как показано в [8], обученность, являясь наиболее значимым комплексным динамическим показателем качества профессиональной подготовки, может рассматриваться как основной параметр, характеризующий процесс подготовки специалистов для ОВД [9]. При этом влияние на обученность других показателей может быть учтено через изменение интенсивности усвоения знаний, умений и навыков (ЗУН) в образовательном процессе. Следовательно, совершенствование подготовки специалистов для ОВД требует глубокого теоретического анализа количественных и качественных изме-

нений обученности в образовательном процессе. Поэтому для её аналитической оценки целесообразно применять метод математического моделирования с использованием аналитических моделей, которые при их практической реализации обеспечат совершенствование образовательного процесса за счёт повышения уровня обученности курсантов (слушателей) [10—12].

Современная теория выделяет микро- и макровременные модели образовательного процесса, отличающиеся длительностью его протекания.

Макромодели, как правило, охватывают долговременные периоды изучения крупных разделов, всей дисциплины или цикла учебных дисциплин — от недель, месяцев до нескольких лет [13].

Микромодели охватывают кратковременные периоды образовательного процесса — одно или несколько занятий. Это существенно затрудняет их построение, поскольку на небольших временных интервалах надо учитывать особенности нервной системы человека, значительное влияние лабильности на характеристики запоминания и забывания, реминисценцию в запоминании и другие факторы [12, 14].

Однако для ряда задач, например при сравнении эффективности различных методов профессиональной подготовки, эти факторы могут не учитываться, что приводит к значительному упрощению микромодели.

Предположим, что образовательный процесс за короткий промежуток времени характеризуется равномерным законом распределения вероятности получения ЗУН, а их забыванием можно пренебречь.

С учётом этого запишем выражение для вероятности получения ЗУН как функции времени $P_n(t)$ в виде:

$$P_n(t) = \gamma_n t, \quad (1)$$

где γ_n характеризует интенсивность получения ЗУН в течение времени t .

Аналогично, вероятность восстановления ЗУН (если оно реализуется) с интенсивностью γ_b будет выражаться формулой:

$$P_b(t) = \gamma_b t. \quad (2)$$

Для заданных условий будем считать γ_n , γ_b величинами постоянными, не зависящими от времени.

Пусть учебное занятие проводится по графику, представленному на рисунке.

Во временном интервале от t_0 до t_1 осуществляется контроль ЗУН (с восстановлением или без него), а в интервале времени от t_1 до t_k — собственно обучение.

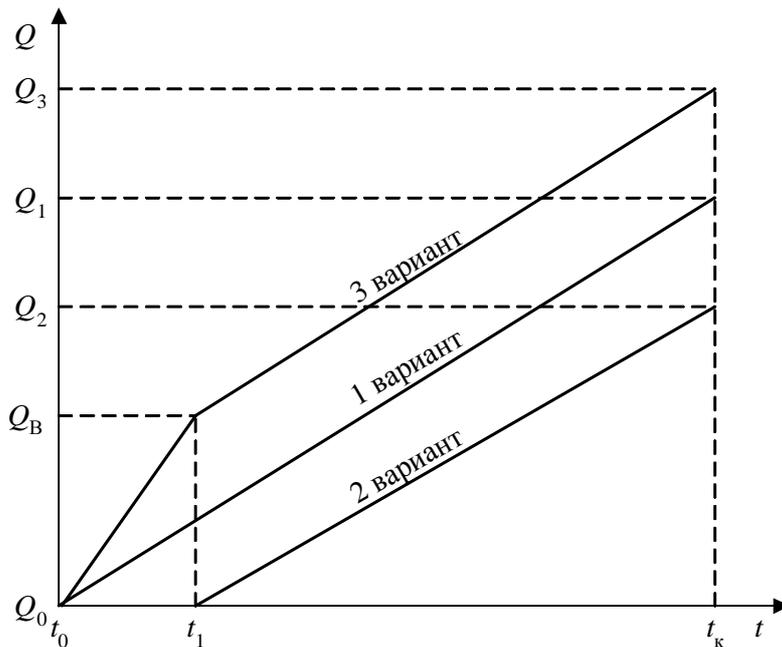
С учётом статистического определения вероятности получим временную зависимость объёма усвоенных ЗУН (уровня обученности Q) в течение занятия в общем виде:

$$Q(e) = Q_0 + \begin{cases} Q_0 & \text{при } t < t_0; \\ \gamma_b e & \text{при } e_1 > e \geq e_0; \\ Q_0 + \gamma_b (t_1 - t_0) + \gamma_n (t - t_1 - t_0) & \text{при } t \geq t_k, \end{cases} \quad (3)$$

где Q_0 — начальный уровень обученности, имеющейся по изучаемой дисциплине (объём ЗУН по дисциплине, полученных ранее).

Рассмотрим три варианта проведения учебного занятия, считая $t_0 = 0$:

1) без контроля и восстановления ЗУН.



Динамика изменения уровня обученности в процессе учебного занятия:

- 1-й вариант — без контроля и восстановления ЗУН;
- 2-й вариант — с контролем, но без восстановления ЗУН;
- 3-й вариант — с контролем и восстановлением ЗУН

Для этого варианта значение $Q(t) = Q_1$ в конце занятия (при $t = t_k$) будет выражаться формулой:

$$Q_1 = Q_0 + \gamma_{\text{п}} t_k; \quad (4)$$

2) с контролем, но без восстановления ЗУН.

Для данного варианта значение $Q(t) = Q_2$ будет рассчитываться по формуле:

$$Q_2 = Q_0 + \gamma_{\text{п}} (t_k - t_1); \quad (5)$$

3) с контролем и восстановлением ЗУН.

Для этого варианта $Q(t) = Q_3$ будет определяться выражением:

$$Q_3 = Q_0 + \gamma_{\text{в}} t_1 + \gamma_{\text{п}} (t_k - t_1). \quad (6)$$

Результаты

Введём понятие эффективного образовательного процесса.

Определение.

Эффективным называется образовательный процесс, при котором происходит увеличение уровня обученности курсанта (слушателя) относительно начального с учётом полностью восстановленных ЗУН к началу учебного занятия.

Из данного определения следует, что занятие тем более эффективно, чем более высокий уровень обученности достигнут к его окончанию.

Осуществим выбор наиболее эффективного варианта реализации образовательного процесса из трёх вариантов проведения учебного занятия, предложенных выше. Сравним попарно выражения (4) и (5), (5) и (6), получим, что при равных значениях параметров Q_0 , $\gamma_{\text{п}}$, t_k , t_1 и при любом $\gamma_{\text{в}} > 0$ всегда выполняются неравенства:

$$Q_3 > Q_2; \quad (7)$$

$$Q_1 > Q_2. \quad (8)$$

Докажем утверждение, определяющее условие выбора варианта реализации образовательного процесса из оставшихся предложенных, обладающего наибольшей эффективностью.

Утверждение: Для реализации эффективного образовательного процесса при наличии контроля и восстановления ЗУН в соответствии с разработанной микро-временной моделью интенсивность восстановления ЗУН должна быть больше, чем интенсивность их получения.

Доказательство.

Рассмотрим, при каком условии третий вариант проведения учебного занятия будет более эффективным, чем первый, то есть будет выполняться неравенство:

$$Q_3 > Q_1. \quad (9)$$

Подставляя выражения (4) и (6) в неравенство (9), получим:

$$Q_0 + \gamma_v t_1 + \gamma_n t_k - \gamma_n t_1 > Q_0 + \gamma_n t_k. \quad (10)$$

После ряда простых преобразований неравенство (10) примет вид:

$$\gamma_v > \gamma_n. \quad (11)$$

Что и требовалось доказать.

Отметим, что t_1 не может превышать времени, необходимого для полного восстановления ЗУН, полученных ранее, то есть для третьего варианта реализации образовательного процесса должно быть справедливо неравенство:

$$0 < t_1 \leq \frac{Q_v}{\gamma_v}. \quad (12)$$

Заключение

Сформулированное условие может быть практически реализовано в процессе подготовки специалистов для ОВД в образовательных учреждениях МВД России на основе применения современных методов и компьютерных средств обучения с использованием специально разработанных контрольно-обучающих программ [15, 16].

ЛИТЕРАТУРА

1. Голобоков В. Современная модель образования и проблема личности // Высшее образование в России. — 2004. — № 10. — С. 150—151.
2. Орлов П.А., Дровникова И.Г. Методы математического моделирования процесса обучения // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». — 2009. — Вып. № 1 (февраль). — URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
3. Сыгодина М.В. Моделирование процесса обучения в высшем учебном заведении: дис. ... канд. тех. наук / М.В. Сыгодина. — М., 2005. — 160 с.
4. Моделирование процесса обучения специалистов для систем безопасности / И.Г. Дровникова [и др.] // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2009. — № 1. — С. 116—126.
5. Свиридов А.П., Шалобина И.А. Сетевые модели динамики знаний / под ред. Ю.Н. Мельникова. — М.: Изд-во МЭИ, 1992. — 88 с.

6. Членов А.Н., Дровникова И.Г., Орлов П.А. Математическая модель процесса коллективного обучения // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — М., 2009. — № 4. — С.121—125.
7. Дровникова И.Г. Модель адаптивного управления процессом подготовки специалистов для систем безопасности на основе компьютерных средств // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2009. — № 1. — С. 105—114.
8. Дровникова И.Г. Методы и алгоритмы управления подготовкой специалистов для систем охранной безопасности: дис. ... д-ра техн. наук / И.Г. Дровникова. — М., 2010. — 429 с.
9. Дровникова И.Г., Членов А.Н. Комплексный показатель качества обучения при подготовке специалистов вневедомственной охраны в образовательных учреждениях МВД России // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». — 2008. — Вып. № 1 (февраль). — URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
10. Дровникова И.Г., Орлов П.А. Новый подход к построению аналитической модели процесса обучения курсантов (слушателей) в образовательных учреждениях МВД России // Обеспечение законности и правопорядка в странах СНГ: сб. матер. междунар. науч.-практич. конф. Ч. 1. — Воронеж, 2009. — С. 76—79.
11. Членов А.Н., Орлов П.А. Статистическая динамическая модель процесса обучения / А.Н. Членов, П.А. Орлов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — М., 2009. — №3. — С. 128—133.
12. Дровникова И.Г. Микровременная модель процесса обучения // Информатизация и информационная безопасность правоохранительных органов: сб. тр. XVIII Междунар. конф. 19—20 мая 2009 г. — М., 2009. — С. 115—117.
13. Орлов П.А., Дровникова И.Г. Анализ методов математического моделирования процесса обучения // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». — 2009. — Вып. №1 (январь). — URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
14. Свиридов А.П. Основы статистической теории обучения и контроля знаний: методич. пособие. — М.: Высш. школа, 1981. — 263 с., ил.
15. Буцынская Т.А., Орлов П.А. Основные направления применения современных компьютерных информационных технологий для повышения эффективности процесса обучения // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». — 2008. — Вып. №1 (январь). — URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
16. Дровникова И.Г., Буцынская Т.А., Шакирова А.Ф. Компьютерная контрольно-обучающая программа для подготовки специалистов в области систем безопасности // Вестник Воронежского института МВД России. — 2009. — №2. — С. 66—70.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Дровникова Ирина Григорьевна. Профессор кафедры автоматизированных информационных систем ОВД. Доктор технических наук, доцент.
Воронежский институт МВД России.
Россия, 394065, г. Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. 8(473)247-64-70.

Drovnikova Irina Grigoryevna. Professor of the chair of Automatic Information Systems. Doctor of technical sciences, assistant professor.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. 8(473) 247-64-70.

Ключевые слова: математическое моделирование; образовательный процесс; микровременная модель образовательного процесса; уровень обученности; интенсивность получения знаний, умений и навыков; интенсивность восстановления знаний, умений и навыков.

Key words: mathematical modelling; educational process; educational process micro-time model; educational level; intensity of receiving knowledge and skills; intensity of knowledge and skills restoration.

УДК 517:81

ИЗДАНИЯ ВОРОНЕЖСКОГО ИНСТИТУТА МВД РОССИИ



Защита персональных данных в информационных системах органов внутренних дел: учебное пособие / Д.Ю. Лиходедов, Н.В. Филипова. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2012. — 88 с.

В учебном пособии изложены основные положения организации защиты персональных данных в органах внутренних дел: приведено понятие и содержание персональных данных, основные положения законодательства в области организации защиты персональных данных, освещены вопросы классификации информационных систем персональных данных, организации работ по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах, а также оценки соответствия принятых мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах требованиям безопасности информации.

Издание рассчитано на курсантов и студентов, специалистов информационных центров, подразделений технической защиты информации в органах внутренних дел.



И.В. Атласов,
*доктор физико-математических наук,
профессор*

НАХОЖДЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ НАЛИЧИИ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

FINDING THE IMPLEMENTATION OF PERFORMANCE INDICATORS INFORMATION PROCESSES IN THE PRESENCE OF INFORMATION SECURITY THREATS

На информационный центр проходят оперативные команды, требующие немедленного выполнения в строго отведенные временные нормативы. Если в нормативы не удастся уложиться, то считается, что центр работает неэффективно. Это происходит, если появляются угрозы информационной безопасности. Цель работы — оценить, насколько эффективно работает информационный центр.

At the information center are operational commands that require run in strictly designated time standards. If the standards can not meet, it is considered that the center is not working effectively. This happens when there are threats to information security. The purpose of the work, to assess how effective the information center.

1. Введение

Рассматривается работа информационного центра в условиях существования угроз информационной безопасности центра. Пусть на некоторый информационный центр проходят оперативные команды, которые требуют немедленного выполнения. При выполнении команды, если нет угроз информационной безопасности, удастся уложиться во временные нормативы. Если угроза существует, то уложиться удастся не всегда. Ставится очень актуальная задача — оценить, насколько эффективно работает этот центр.

Центром обработки информации могут быть вычислительный центр, интернет-магазин, центр оказания услуг через Интернет, которые при наличии угроз информационной безопасности не могут эффективно выполнять свои функции.

Естественно, возникает очень важная задача об эффективности работы центра обработки информации, решением которой и займемся. Критериев построено достаточно много, но вопрос точности критерия и возможности его практического использования остается открытым. Это возникает из-за наличия бесконечных рядов, неберущихся интегралов и так далее. Покажем, как, при довольно общих предположениях, строится критерий и как вычислить значение этой функции с любой степенью точности. В качестве критерия берется вероятность того, что все задачи будут выполнены вовремя.

2. Построение критерия эффективности работы информационного центра

Пусть существует m принципиально различных оперативных ситуаций, каждая из которых происходит независимо от других и для каждой есть нормативное время принятия решения $t_{(l)}$, $l = 1, \dots, m$. Требуемое время $t_{(l)}$ реализации информационных процессов в центре определяется нормативным временем выполнения информационных процедур и имеет для каждой оперативной ситуации конкретное значение.

Предположим, что временной интервал от момента t_n начала до момента t_o окончания реализации информационных процессов значительно превосходит время существования угрозы. Допустим, что случайное распределение моментов воздействия угроз информационной безопасности на временном интервале длиной $t_o - t_n$ удовлетворяет следующим условиям [1]:

- вероятность воздействия зависит только от длины временного интервала и не зависит от его положения на временной оси, из чего следует, что моменты возникновения имеют одинаковую среднюю плотность;
- моменты воздействия распределяются на временной оси независимо друг от друга;
- одновременное появление двух угроз и более маловероятно.

Это означает, что вероятность появления за время $t_o - t_n$ ровно n угроз типа l вычисляется согласно закону Пуассона [2]:

$$P(K_{(l)} = n) = \frac{[\lambda_l \cdot (t_o - t_n)]^n}{n!} e^{-\lambda_l \cdot (t_o - t_n)}.$$

Пусть t_{ipk}^1 — время реализации информационного процесса в информационном центре, инициированного l -й, $l = 1, 2, \dots, m$ оперативной ситуацией, происшедшей во время t_k на интервале $[t_n, t_o]$;

$K_{(l)}$ — общее число оперативных ситуаций l -го типа, возникших в течение интервала времени $[t_n, t_o]$ в компьютерной системе информационного центра.

Информационный процесс, протекающий на промежутке времени $[t_o - t_n]$ в информационном центре, считается реализованным своевременно, если для всех угроз на промежутке времени $[t_o - t_n]$ время t_{ipk}^1 не превышает требуемой величины $t_{(l)}$ для всех $l = 1, \dots, m$ и $k = 0, 1, 2, \dots$. Обозначим

$$A = \left\{ t_{ip_k}^1 \leq t_{(t)_l}, l=1, \dots, m, k=0, 1, 2 \right\} = \bigcap_{l=1, 2, \dots, m} \left(\bigcap_{k=0, 2, \dots, K_{(l)}} \left(t_{(ip)_k}^1 \leq t_{(t)_l} \right) \right). \quad (1)$$

Цель нашей работы — нахождение величины $P(A)$, которая и будет нашим показателем эффективности.

Так как события $\left(t_{(ip)_k}^1 \leq t_{(t)_l} \right)$ и случайные величины $K_{(l)}$ при различных $l=1, \dots, m$ независимы, то события $\left(\bigcap_{k=0, 2, \dots, K_{(l)}} \left(t_{(ip)_k}^1 \leq t_{(t)_l} \right) \right)$ также независимы. Поэтому по формуле умножения для независимых событий имеем

$$P(A) = P \left(\bigcap_{l=1, 2, \dots, m} \left(\bigcap_{k=0, 2, \dots, K_{(l)}} \left(t_{(ip)_k}^1 \leq t_{(t)_l} \right) \right) \right) = \prod_{l=1}^m P \left(\bigcap_{k=0, 2, \dots, K_{(l)}} \left(t_{(ip)_k}^1 \leq t_{(t)_l} \right) \right).$$

Далее, по формуле полной вероятности, имеем

$$\begin{aligned} \prod_{l=1}^m P \left(\bigcap_{k=0, 2, \dots, K_{(l)}} \left(t_{(ip)_k}^1 \leq t_{(t)_l} \right) \right) &= \prod_{l=1}^m \left(\sum_{n=1}^{\infty} P \left(\left(\bigcap_{k=0, 2, \dots, K_{(l)}} \left(t_{(ip)_k}^1 \leq t_{(t)_l} \right) \right) K_{(l)} = n \right) P(K_{(l)} = n) \right) = \\ &= \prod_{l=1}^m \left(\sum_{n=1}^{\infty} P \left(\bigcap_{k=0, 2, \dots, n} \left(t_{(ip)_k}^1 \leq t_{(t)_l} \right) \right) P(K_{(l)} = n) \right). \end{aligned}$$

По условию задачи, при фиксированном l и n события $\left(\bigcap_{k=0, 2, \dots, n} \left(t_{(ip)_k}^1 \leq t_{(t)_l} \right) \right)$ независимы при различных k . Поэтому по формуле умножения для независимых событий имеем

$$\prod_{l=1}^m \left(\sum_{n=1}^{\infty} P \left(\left(\bigcap_{k=0, 2, \dots, n} \left(t_{(ip)_k}^1 \leq t_{(t)_l} \right) \right) P(K_{(l)} = n) \right) \right) = \prod_{l=1}^m \left(\sum_{n=1}^{\infty} \left(\prod_{k=0}^n P \left(t_{(ip)_k}^1 \leq t_{(t)_l} \right) P(K_{(l)} = n) \right) \right).$$

В данном случае можно считать, что функция распределения случайной величины $t_{(un)_l}$, которая является временем реализации информационного процесса при условии, что возникла l ситуация, распределена по нормальному закону [3] с математическим ожиданием $a_1 = M(t_{(un)_l})$ и среднеквадратичным отклонением

$$\sigma_1 = \sqrt{M(t_{(un)_l}^2) - M^2(t_{(un)_l})}$$

$$P(t_{(ip)_k}^1 \leq x) = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-a_1)^2}{2\sigma_1^2}} dt.$$

Подставляя эту функцию в описанную выше формулу, имеем

$$\begin{aligned} & \prod_{l=1}^{l=m} \left(\sum_{n=1}^{n=\infty} \left(\prod_{k=0}^{k=n} P(t_{(ip)_k}^1 \leq t_{(t_l)}) P(K_{(l)} = n) \right) \right) = \\ & = \prod_{l=1}^{l=m} \left(\sum_{n=1}^{n=\infty} \left(\prod_{k=0}^{k=n} \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \left(\int_{-\infty}^{t_{(t_l)}} \exp\left(-\frac{(t-a)^2}{2\sigma_1^2}\right) dt \right) \frac{[\lambda_1 \cdot (t_{(o)} - t_{(H)})]^n}{n!} e^{-\lambda_1(t_{(o)} - t_{(H)})} \right) \right) = \\ & = \prod_{l=1}^{l=m} \left(\sum_{n=1}^{n=\infty} \left(\frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \left(\int_{-\infty}^{t_{(t_l)}} \exp\left(-\frac{(t-a)^2}{2\sigma_1^2}\right) dt \right) \frac{[\lambda_1 \cdot (t_{(o)} - t_{(H)})]^n}{n!} e^{-\lambda_1(t_{(o)} - t_{(H)})} \right)^n \right). \end{aligned}$$

Окончательно имеем

$$P(A) = \prod_{l=1}^{l=m} \left(\sum_{n=1}^{n=\infty} \left(\frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \left(\int_{-\infty}^{t_{(t_l)}} \exp\left(-\frac{(t-a_1)^2}{2\sigma_1^2}\right) dt \right) \frac{[\lambda_1 \cdot (t_{(o)} - t_{(H)})]^n}{n!} e^{-\lambda_1(t_{(o)} - t_{(H)})} \right)^n \right). \quad (1)$$

Рассмотрим вопрос о вычислении $P(A)$. Обозначим

$$b_n = \frac{[\lambda_1 \cdot (t_{(o)} - t_{(H)})]^n}{n!}, \quad q = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{t_{(t_l)}} \exp\left(-\frac{(t-a_1)^2}{2\sigma_1^2}\right) e^{-\lambda_1(t_{(o)} - t_{(H)})} dt.$$

В этом случае

$$\sum_{n=1}^{n=\infty} \left(\frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \left(\int_{-\infty}^{t_{(t_l)}} \exp\left(-\frac{(t-a_1)^2}{2\sigma_1^2}\right) dt \right) \frac{[\lambda_1 \cdot (t_{(o)} - t_{(H)})]^n}{n!} e^{-\lambda_1(t_{(o)} - t_{(H)})} \right)^n = \sum_{n=1}^{n=\infty} (b_n q)^n \leq 1.$$

Отсюда следует, что все члены $(b_n q)^n < 1$ и в частности $g = b_1 q < 1$. Так как последовательность b_n монотонно убывает, стремясь к нулю, то для всех $n = 1, 2, 3, \dots$ справедливо неравенство $b_n \leq b_1$. Следовательно,

$$\sum_{n=k}^{n=\infty} \left(\frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \left(\int_{-\infty}^{t_{(t_l)}} \exp\left(-\frac{(t-a_1)^2}{2\sigma_1^2}\right) dt \right) \frac{[\lambda_1 \cdot (t_{(o)} - t_{(H)})]^n}{n!} e^{-\lambda_1(t_{(o)} - t_{(H)})} \right)^n = \sum_{n=k}^{n=\infty} (b_n q)^n \leq \sum_{n=k}^{n=\infty} (b_1 q)^n = \frac{g^k}{1-g}.$$

Отсюда следует, что для любого $0 < \varepsilon < 1$ можно взять номер

$$k_l > \left[\frac{\ln \varepsilon_1 + \ln(1-g)}{\ln g} \right] + 1, \text{ такой что}$$

$$\sum_{n=k_l}^{n=\infty} \left(\frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \left(\int_{-\infty}^{t_{(t_l)}} \exp\left(-\frac{(t-a_1)^2}{2\sigma_1^2}\right) dt \right) \frac{[\lambda_1 \cdot (t_{(o)} - t_{(H)})]^n}{n!} e^{-\lambda_1(t_{(o)} - t_{(H)})} \right)^n = \frac{g^k}{1-g} < \varepsilon_1 = \frac{\varepsilon}{2m!} < \frac{1}{2}.$$

В этом случае

$$\varepsilon_1 < \frac{1}{2}, \quad -\varepsilon_1 > -\frac{1}{2}, \quad 1 - \varepsilon_1 > 1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}, \quad \frac{1}{1 - \varepsilon_1} < 2.$$

Обозначим

$$S_{k_1} = \sum_{n=1}^{n=k_1-1} \left(\frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \left(\int_{-\infty}^{t_{(l)}} \exp \left(-\frac{(t-a_1)^2}{2\sigma_1^2} \right) dt \right) \frac{[\lambda_1 \cdot (t_{(o)} - t_{(H)})]^n}{n!} e^{-\lambda_1(t_{(o)} - t_{(H)})} \right)^n,$$

$$R_{k_1} = \sum_{n=k_1}^{n=\infty} \left(\frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \left(\int_{-\infty}^{t_{(l)}} \exp \left(-\frac{(t-a_1)^2}{2\sigma_1^2} \right) dt \right) \frac{[\lambda_1 \cdot (t_{(o)} - t_{(H)})]^n}{n!} e^{-\lambda_1(t_{(o)} - t_{(H)})} \right)^n.$$

В этом случае

$$\begin{aligned} \prod_{l=1}^{l=m} S_{k_l} &< P(A) = \prod_{l=1}^{l=m} (S_{k_l} + R_{k_l}) = \\ &= \prod_{l=1}^{l=m} S_{k_l} + \sum_{p=1}^{p=m} R_{k_p} \prod_{p \neq l}^{l=1, \dots, m} S_{k_l} + \sum_{p,t=1}^{p,t=m} R_{k_p} R_{k_t} \prod_{p,t \neq l}^{l=1, \dots, m} S_{k_l} + \dots + \prod_{l=1}^{l=m} R_{k_l} \leq \\ &\leq \prod_{l=1}^{l=m} S_{k_l} + \sum_{p=1}^{p=m} R_{k_p} + \sum_{p,t=1}^{p,t=m} R_{k_p} R_{k_t} + \dots + \prod_{l=1}^{l=m} R_{k_l} < \prod_{l=1}^{l=m} S_{k_l} + m!(\varepsilon_1 + \varepsilon_1^2 + \dots) < \\ &< \prod_{l=1}^{l=m} S_{k_l} + m! \frac{\varepsilon_1}{1 - \varepsilon_1} < \prod_{l=1}^{l=m} S_{k_l} + 2m! \varepsilon_1 = \prod_{l=1}^{l=m} S_{k_l} + \varepsilon. \end{aligned}$$

Из этого неравенства следует, что

$$\left| P(A) - \prod_{l=1}^{l=m} S_{k_l} \right| < \varepsilon.$$

Итак, доказано, что для достаточно малого ε можно выбрать k_l , как показано выше, и посчитать произведение конечных сумм $\prod_{l=1}^{l=m} S_{k_l}$, которые будут отличаться от $P(A)$ всего лишь на сколь угодно малое ε .

Рассмотрим вопрос о конкретном вычислении S_{k_l} . Зафиксировали l . Для нахождения чисел a_l и σ_l воспользуемся статистическими методами обработки данных [4]. Пусть n_l — объем выборки для случайной величины $t_{(ip)_k}^1$ за время $[t_n, t_o]$. Рассмотрим значения, которые принимает случайная величина $t_{(ip)_k}^1$. Пусть это числа x_l^i , которые появляются n_l^i раз, $\sum_{k=1}^{k=l} n_l^k = n_l$. Обозначим

$$\bar{x}_l = \frac{\sum_{k=1}^{k=l} x_l^k n_l^k}{\sum_{k=1}^{k=l} n_l^k}, \quad s_l = \frac{\sum_{k=1}^{k=l} (x_l^k - \bar{x}_l)^2 n_l^k}{\sum_{k=1}^{k=l} n_l^k - 1}.$$

Величину \bar{x}_l называют выборочной средней, а величину s_l — «исправленным» среднеквадратичным отклонением; γ — надежность, которую мы взяли равной 0,95.

Пусть t_γ^l — коэффициент, который ищется из распределения Стьюдента

$$\int_0^{t_\gamma^l} \frac{G\left(\frac{n}{2}\right)}{\sqrt{\pi(n-1)}G\left(\frac{(n-1)}{2}\right)} \left(1 + \frac{t^2}{n-1}\right)^{-\frac{n}{2}} dt = \frac{\gamma}{2}$$

по соответствующим таблицам, где $G(x) = \int_0^x t^{x-1} \exp(-t) dt$ — гамма-функция.

Пусть q_γ^l — коэффициент, который ищется из распределения χ^2

$$\int_{\frac{\sqrt{n-1}}{1+q_\gamma^l}}^{\frac{\sqrt{n-1}}{1+q_\gamma^l}} \frac{t^{n-2} e^{-t^2/2}}{2^{n-3/2} G\left(\frac{(n-1)}{2}\right)} dt = \gamma$$

по соответствующим таблицам.

Для нахождения доверительного интервала для оценки неизвестного математического ожидания a_l воспользуемся формулой

$$P\left(\bar{x}_l - t_\gamma^l \frac{s_l}{\sqrt{n_l}} < a_l < \bar{x}_l + t_\gamma^l \frac{s_l}{\sqrt{n_l}}\right) = \gamma.$$

Для нахождения доверительного интервала для оценки неизвестной дисперсии σ_l^2 воспользуемся формулой

$$P(s_l(1 - q_\gamma^l) < \sigma_l < s_l(1 + q_\gamma^l)) = \gamma.$$

Далее возьмем числа a_l и σ_l , наиболее удобные для дальнейших вычислений, например, не более 2 или 3 отличных от нуля цифр после запятой.

Рассмотрим вопрос о нахождении λ_l для фиксированного l . Разобьем временной интервал $[t_n, t_o]$ на v интервалов одинаковой длины. Пусть n_k — число появлений l угрозы на интервале времени $\left[t_n + (k-1)\frac{t_n - t_o}{v}, t_n + k\frac{t_n - t_o}{v}\right]$, $k = 1, \dots, v$. Воспользуемся методом наибольшего правдоподобия [5]. Составим функцию правдоподобия. Обозначим $\lambda = \lambda_l \cdot (t_{(o)} - t_{(n)})$. Тогда имеем

$$L = \frac{\lambda^{n_1}}{n_1!} e^{-\lambda} \dots \frac{\lambda^{n_v}}{n_v!} e^{-\lambda} = \frac{\lambda^{\sum_{k=1}^v n_k}}{n_1! \dots n_v!} e^{-v\lambda}.$$

Найдем логарифмическую функцию правдоподобия

$$\ln(L) = \left(\sum_{k=1}^v n_k\right) \ln(\lambda) - v(\lambda) - \ln(n_1! \dots n_v!).$$

Найдем первую и вторую производные по λ

$$\frac{d \ln L}{d \lambda} = \frac{\sum_{k=1}^v n_k}{\lambda} - v, \quad \frac{d^2 \ln L}{d \lambda^2} = -\frac{\sum_{k=1}^v n_k}{\lambda^2} < 0.$$

Приравняем первую производную к нулю и найдем λ .

$$\frac{d \ln L}{d\lambda} = \frac{\sum_{k=1}^{k=v} n_k}{\lambda} - v = 0, \quad \lambda = \frac{\sum_{k=1}^{k=v} n_k}{v} = \bar{x}_B^l.$$

Так как вторая производная отрицательна, то $\lambda = \bar{x}_B^l$ — точка максимума и в качестве наибольшего правдоподобия параметра λ следует взять

$$\lambda = \lambda_l \cdot (t_{(o)} - t_{(n)}) = \frac{\sum_{k=1}^{k=v} n_k}{v} = \bar{x}_B^l \quad \lambda_l = \frac{\sum_{k=1}^{k=v} n_k}{v(t_{(o)} - t_{(n)})} = \frac{\bar{x}_B^l}{t_{(o)} - t_{(n)}}.$$

3. Вывод

Итак, построен точный критерий эффективности работы центра обработки информации. Этим критерием является вероятность своевременной реализации информационного процесса. Причем показано, как вычислить эту вероятность с заранее заданной степенью точности, что крайне важно при практическом использовании критерия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. — М.: УРСС, 2001. — 375 с.
2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. — М.: Высшая школа, 2004. — 245 с.
3. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. — М.: Высшая школа, 2000. — 235 с.
4. Дуб Дж. Л. Вероятностные процессы. — М.: ИЛ, 1956. — 276 с.
5. Дынкин Е.Б., Юшкевич А.А. Теория вероятностей и марковские процессы. — М.: Физматгиз, 1966. — 376 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Атласов Игорь Викторович. Начальник кафедры автоматизированных информационных систем ОВД. Доктор физико-математических наук, профессор.
Воронежский институт МВД России.
E-mail: vorhmscl@comch.ru
Россия, 394065, Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 2476-472

Atlasov Igor Victorovich. Chief of the chair of automated information systems.
Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.
Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 2476-472.

Ключевые слова: информационная безопасность; вероятность; доверительный интервал.

Key words: information security; probability; confidence interval.

УДК 519.21



В.В. Алексеев,
доктор технических наук,
профессор, Военный
авиационный инженерный
университет (г. Воронеж)



В.В. Лебедев,
кандидат технических наук,
Военный авиационный
инженерный университет
(г. Воронеж)



А.А. Плиплин,
Военный авиационный
инженерный университет
(г. Воронеж)

ЗАДАЧА ПРИЦЕЛИВАНИЯ ПРИ ПАРАШЮТНОМ ДЕСАНТИРОВАНИИ ГРУЗОВ

THE TASK OF AIMING AT A PARACHUTE LANDING OF CARGO

Основным показателем, определяющим эффективность авиационного комплекса транспортной авиации МЧС, МВД и др., является точность приземления системы «груз-парашют». В работе рассмотрена задача прицеливания при десантировании грузов с самолетов транспортной авиации как задача управления конечным состоянием многоступенчатой динамической системы «воздушное судно — система «груз-парашют» — центр площадки приземления».

The basic indicator defining efficiency of an aviation complex of transport aircraft of the Ministry of Emergency Measures, the Ministry of Internal Affairs, etc., is accuracy of a landing of system «cargo-parachute». In work the aiming problem is considered at dropping of cargoes from planes of transport aircraft as a management problem by a final condition of multistage dynamic system «the aircraft — system «cargo-parachute» — the centre of a platform of a landing».

Введение

Примером прицельно-навигационного комплекса (ПНК), обеспечивающего решение задачи десантирования, является ПНК «Купол». При этом в ходе решения задачи прицеливания на борту воздушного судна (ВС) производится расчет баллистических характеристик десантируемого объекта, вектора средней скорости ветра. Результатом расчета является определение точки начала выброски (ТНВ), в которой должно произойти отделение объекта от ВС. В ПНК непрерывно вычисляется расстояние, оставшееся до ТНВ.

Основные недостатки комплекса «Купол», влияющие на точность выполнения задачи прицеливания при десантировании:

большое количество баллистических таблиц, используемых штурманом при вводе исходных данных в бортовой вычислитель комплекса, что может привести к ошибкам определения баллистических характеристик системы «груз-парашют» (СГП);

формульные зависимости в алгоритме прицеливания ПНК «Купол» лишь формально отражают физические явления, протекающие при снижении груза на различных этапах;

при проведении баллистических расчетов не учитывается изменение плотности воздуха в слое снижения СГП.

Недооценка точности десантирования грузов на заданные площадки имела место в ряде воздушно-десантных операций. Так на крупномасштабных учениях в 2007 году при десантировании дивизии Воздушно-десантных войск (ВДВ) две «машины» приземлились в лесном массиве на большом удалении от заданного центра площадки приземления (ЦПП), что свидетельствует о недостаточной точности ПНК самолетов транспортной авиации, обеспечивающих прицеливание при десантировании грузов.

Перечисленные недостатки предопределяют необходимость дальнейшего совершенствования алгоритмического обеспечения ПНК самолетов транспортной авиации.

Постановка задачи

Задача прицеливания при десантировании грузов с самолетов транспортной авиации представляет собой задачу управления ВС с целью достижения состояния, при котором обеспечивается приземление грузов в ЦПП.

Особенностью задачи прицеливания при десантировании грузов является то, что параметром управления ВС является будущее положение СГП в плоскости рассеивания, по отношению к ЦПП, т.е. промах до производства десантирования. Таким образом, прицеливание — это управление в настоящем времени будущим конечным состоянием многоступенчатой динамической системы «воздушное судно — система «груз-парашют» — центр площадки приземления» (ВС — СГП — ЦПП) по отношению к ЦПП.

При решении задачи прицеливания при десантировании грузов возникает необходимость применения теории оптимального управления ВС и методов теории многоступенчатой динамической системы, какой и является система «ВС — СГП — ЦПП», для оптимизации решения задачи оптимального прицеливания.

Решение

Точность приземления СГП определяется вектором промаха приземления СГП относительно ЦПП [1]. Для повышения точности десантирования необходимо, чтобы ошибка вектора промаха $\Delta_{ош}$ была минимальной и удовлетворяла условию:

$$\Delta_{ош} = \sqrt{(X(T) - X_0)^2 + (Y(T) - Y_0)^2} \Rightarrow \min, \quad (1)$$

где $X(T), Y(T)$ — координаты точки приземления десантируемого груза;

X_0, Y_0 — координаты ЦПП.

Рассмотрим математическую формулировку задачи прицеливания при десантировании груза как задачу управления конечным состоянием многоступенчатой динамической системы «воздушное судно — «система груз-парашют» — центр площадки приземления» [2].

Уравнения первой динамической ступени «ВС — ЦПП» включают: уравнение движения ВС, выполняющего десантирование,

$$\frac{d\vec{V}_d(t_1)}{dt_1} = \vec{f}_{V_d}(\vec{V}_d, \vec{r}_d, \vec{U}_d, \vec{\xi}_{V_d}, t_1), \quad \vec{V}_d(t_{10}) = \vec{V}_{d_0}, \quad (2)$$

уравнение движения ВС относительно ЦПП

$$\frac{d\vec{D}}{dt_1} = \vec{V}(t_1), \quad \vec{D}(t_{10}) = \vec{D}_0. \quad (3)$$

Движение СГП в воздухе включает следующие этапы: вытягивание парашютной системы (ПС), раскрытие дополнительного вытяжного парашюта, наполнение куполов до площади ограниченной рифовкой, снижение на зарифованной ПС, наполнение ПС после разрифовки, снижение на раскрытой ПС.

Уравнения второй динамической ступени «1-я ступень СГП — ЦПП»:

уравнение движения 1-ой ступени СГП

$$\frac{d\vec{V}_{C1}(t_2)}{dt_2} = \vec{f}_{V_{C1}} \vec{V}_{C1}, \vec{r}_{C1}, \vec{U}_{C1}(\vec{Y}_2, \vec{v}_{C1}, t_2), \vec{\xi}_{V_{C1}}, t_2), \quad \vec{V}_{C1}(t_{20}) = \vec{V}_D(t_{1k}), \quad (4)$$

уравнение движения 1-й ступени СГП относительно ЦПП

$$\frac{d\vec{\Delta}_1(t_2)}{dt_2} = \vec{V}_{\vec{N}_1}(t_2), \quad \vec{\Delta}_1(t_{10}) = \vec{\Delta}_{10} = \vec{D}(t_{1k}). \quad (5)$$

Уравнения m-й динамической ступени «m-1 ступень СГП — ЦПП»:

уравнение движения m-1 ступени СГП относительно ЦПП

$$\frac{d\vec{\Delta}_m(t_m)}{dt_m} = \vec{V}_{C_{m-1}}(t_m), \quad \vec{\Delta}_m(t_{m0}) = \vec{\Delta}_{m0} = \vec{\Delta}_{m-1}(t_{m-1k}), \quad (6)$$

уравнение движения m-1 ступени СГП

$$\frac{d\vec{V}_{C_{m-1}}(t_m)}{dt_m} = \vec{f}_{V_{C_{m-1}}}(\vec{V}_{C_{m-1}}, \vec{r}_{C_{m-1}}, \vec{U}_{C_{m-1}}(\vec{Y}_m, \vec{v}_{C_{m-1}}, t_m), \vec{\xi}_{V_{m-1}}, t_m), \quad (7)$$

$$\vec{V}_{C_{m-1}}(t_{m0}) = \vec{V}_{C_{m-1}}(t_{m-1}) + \vec{V}_{C_{m-1}},$$

уравнение движения m-1 ступени СГП относительно ЦПП

$$\frac{d\vec{\Delta}_m(t_m)}{dt_m} = \vec{V}_{\vec{N}_{m-1}}(t_m), \quad \vec{\Delta}_m(t_{m0}) = \vec{\Delta}_{m0} = \vec{D}(t_{m-1k}). \quad (8)$$

В вышеприведенных уравнениях введены следующие обозначения:

\vec{D} — вектор дальности;

\vec{V}_D — вектор абсолютной скорости ВС, выполняющего десантирование;

\vec{r}_D — вектор геометрических координат ВС;

\vec{U}_D — вектор управления ВС;

$\vec{\xi}_{V_D}, \vec{\xi}_{r_D}$ — векторы случайных возмущений, действующих на ВС;

\vec{V}_{C_j} — вектор абсолютной скорости j-й ступени СГП ($j = 1, m-1$);

$\vec{V}_{C_{j0}}$ — вектор начальной относительной скорости j-й ступени СГП ($j = 1, m-1$);

\vec{r}_{C_j} — вектор геометрических координат j-й ступени СГП ($j = 1, m-1$);

\vec{U}_{C_j} — вектор управления j-й ступени СГП ($j = 1, m-1$);

$\vec{\Delta}$ — параметр прицеливания ($\vec{\Delta} = \vec{D}_{Тек} - \vec{D}_{Тр}$, где $\vec{D}_{Тр}$ — требуемая дальность,

$\vec{D}_{Тек}$ — текущая дальность);

t_i — время продолжительности i -й ступени;

\vec{Y}_i — вектор состояния i -й ступени многоступенчатой динамической системы «ВС — СГП — ЦПП» ($i = 1, m$), включающий векторы, характеризующие движение (в том числе и относительное) ВС, СГП на этапе функционирования i -й ступени.

Предполагается, что законы управления ступенями СГП заданы и допускают настройку на борту ВС, выполняющего задачу на десантирование, с помощью векторов параметров настройки \vec{v}_j . В частном случае ступени СГП могут быть неуправляемыми.

Условия переключения ступеней в общем случае могут определяться выражениями:

$$q_i = (\vec{Y}_i, d\vec{Y}_i / dt_i, l_i, t_i) = 0 \quad (i = 2, m), \quad (8)$$

где \vec{l}_i — вектор настройки параметров переключения ступеней.

При $i = m$ вышеприведенное условие является условием окончания последней ступени и, следовательно, всей многоступенчатой динамической системы «ВС — СГП — ЦПП».

Применительно к задаче исследования система дифференциальных уравнений движения СГП в воздухе:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= g \sin \theta - \frac{F\rho}{2m} V^2, \\ \frac{d\theta}{dt} &= \frac{g}{V} \cos \theta \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

где m — масса системы, кг;

V — скорость центра масс системы, м/с²;

θ_1 — угол наклона траектории, рад;

F — эффективная площадь сопротивления груза, м².

В случае использования рифовки эффективная площадь сопротивления от времени наполнения зарифованного парашюта будет иметь вид:

$$F_F(t) = F_F \left(\frac{t}{\tau_F} \right)^k \quad 0 < t < \tau_F. \quad (10)$$

Эффективная площадь сопротивления от времени наполнения после разрифовки парашюта будет иметь вид:

$$F(t) = (F_{\max} - F_F) \left(\frac{t}{\tau} \right) + F_F, \quad 0 < t < \tau, \quad (11)$$

где F_{\max} — эффективная площадь сопротивления парашюта;

τ — время наполнения парашюта после разрифовки;

F_F — эффективная площадь сопротивления зарифованного парашюта;

τ_F — время наполнения зарифованного парашюта, k — постоянная наполнения ПС.

Параметры F_{\max} , τ , F_F , τ_F , k для каждой ПС получают экспериментальным путем и вносят значения этих параметров в штурманские таблицы.

Для последней ступени СГП и всей многоступенчатой динамической системы «ВС — СГП — ЦПП», когда $i = m$, определяется время полета последней ступени СГП до момента приземления.

В качестве начальных условий дифференциальных уравнений динамики конечного состояния многоступенчатой динамической системы «ВС — СГП — ЦПП» может быть вектор расчетного промаха СГП по отношению к ЦПП $\vec{\Delta}_{\Pi}(t)$ или вектор требуемой дальности до ЦПП $\vec{D}_{TP}(t)$, вычисленные на текущий момент времени $t = t_1$ полета ВС.

Для того чтобы вычислить вектор требуемой дальности ЦПП и затем ее требуемые угловые координаты, на значения которых должна быть отклонена прицельная марка, отображаемая на прицельном индикаторе, необходимо по результатам решения задачи внешней баллистики СГП определять время полета СГП и вектор расчетного промаха.

Условие для определения времени снижения СГП:

$$q = H_{Ц}(t_c) - H_C(t_c) = \Delta_{yg}(t_c) = 0, \quad (12)$$

где $H_{Ц}$ — высота ЦПП; H_C — высота СГП.

Эти равенства определяют время снижения СГП. Момент выполнения равенств определяется путем контроля значений левых частей в процессе интегрирования вышеприведенных уравнений.

В момент выполнения этих равенств радиус-вектор $\vec{\Delta}_{(n)}(t_c = T)$ принимает значение промаха.

Вектор требуемой дальности ЦПП в момент t определяется по формуле:

$$\vec{D}_{TP(n)}(t) = \vec{D}_{(n)}(t) - \vec{\Delta}_{(n)}(t, T). \quad (13)$$

Требуемые угловые координаты ЦПП, в соответствии со значениями которых строится прицельная марка на прицельном индикаторе [2], определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{TPr} &= \arcsin\left(\frac{D_{TPz}}{D_{TP}}\right) \\ \varphi_{TPB} &= \arcsin\left(\frac{D_{TPz}}{D_{TP}}\right) \\ D_{TP} &= \sqrt{D_{TPx}^2 + D_{TPy}^2 + D_{TPz}^2} \end{aligned} \right\}, \quad (14)$$

где $\begin{bmatrix} D_{TPx}(t) \\ D_{TPy}(t) \\ D_{TPz}(t) \end{bmatrix} = A_{1,n}(t)\vec{D}_{TP(n)}(t)$; $A_{1,n} = (A_{n,1})^T$ — матрица перехода от произвольной к связанной системе координат.

Результаты математического моделирования

В результате математического моделирования прицеливания при парашютном десантировании грузов была оценена вероятность приземления грузов на площадки различных размеров. При моделировании считалось, что ошибки рассеивания точки приземления груза подчинены нормальному закону, а погрешность вычисления координат ТНВ и погрешность автоматического выхода в эту точку независимы друг от друга. Было рассмотрено два случая десантирования бесплатформенной парашютной системы П-260М, масса системы «груз-парашют» $m = 20000$ кг, начальная скорость десантирования $V_0 = 101$ м/с; высота десантирования $H_0 = 3876$ м; угол наклона траектории СГП в момент отделения от самолета $\theta_0 = 0$ рад; эффективная площадь сопро-

тивления груза $F_z = 16 \text{ м}^2$; эффективная площадь сопротивления зарифованного парашюта $F_F = 786 \text{ м}^2$; эффективная площадь сопротивления ПС $F_{\max} = 4900 \text{ м}^2$.

В первом случае координаты точки приземления груза вычислялись с помощью штатного алгоритма, во втором случае прицеливания при десантировании рассматривалось как управление многоступенчатой динамической системой «ВС — СГП — ЦПП».

В таблице приведены результаты расчета вероятности приземления груза на парашютной системе П-260М.

Вероятность приземления груза на площадки, имеющие различные размеры

Тип алгоритма	Размеры площадки приземления, км				
	3,5×2,5	3,0×2,0	2,5×1,5	2,0×1,0	1,5×0,5
Штатный алгоритм	0,97	0,92	0,83	0,71	0,48
Разработанный алгоритм	0,99	0,99	0,98	0,96	0,92

Выводы

Проведенные исследования характеристик рассеивания точек приземления грузов показали, что применение теории многоступенчатой динамической системы к задаче прицеливания при парашютном десантировании техники позволит повысить вероятность приземления грузов на площадки размером 2000х1000м в типовом режиме десантирования одиночного груза с 0,71 до 0,96, а на малые площадки почти в 2 раза.

Результаты исследования могут быть использованы в КБ промышленности, занимающимися проектированием ПНК самолетов транспортной авиации, при обучении и переучивании летного состава, а также в организациях при подготовке полетного задания на десантирование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов В.М. Определение баллистических функций медленно падающих тел // Труды ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1963.
2. Моисеев А.Г. Статистическая теория оптимального прицеливания. — М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Алексеев Владимир Витальевич. Начальник кафедры. Доктор технических наук, профессор.

Военный авиационный инженерный университет (г. Воронеж).

E-mail: vvalex1961@mail.ru

Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а. Тел. 8-919-183-16-48.

Лебедев Вадим Владимирович. Старший преподаватель кафедры. Кандидат технических наук.

Военный авиационный инженерный университет (г. Воронеж).

E-mail: ww168@mail.ru

Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а. Тел. 8-980-346-05-48.

Плиплин Андрей Александрович. Преподаватель кафедры.
Военный авиационный инженерный университет (г. Воронеж).
E-mail: pliplin@mail.ru

Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а. Тел. 8-909-215-94-79.

Alekseev Vladimir Vitalyevich. The chief of chair. Doctor of technical sciences.

Military Aviation Engineering University (Voronezh).

Work address: Russia, 394064, Voronezh, Old Bolsheviks Str., 54a. Tel. 8-919-183-16-48.

Lebedev Vadim Vladimirovich. The senior lecturer. Candidate of technical sciences.

Military Aviation Engineering University (Voronezh).

Work address: Russia, 394064, Voronezh, Old Bolsheviks Str., 54a. Tel. 8-980-346-05-48.

Pliplin Andrey Aleksandrovich. The lecturer.

Military Aviation Engineering University (Voronezh).

Work address: Russia, 394064, Voronezh, Old Bolsheviks Str., 54a. Tel. 8-909-215-94-79.

Ключевые слова: задача прицеливания; парашютное десантирование грузов; центр площадки приземления; уравнение движения.

Key words: the task of targeting; para dropping of cargoes; center of the floor of the landing; the equation of motion.

УДК 623.557.32:531

ИЗДАНИЯ ВОРОНЕЖСКОГО ИНСТИТУТА МВД РОССИИ



Охрана, безопасность, связь — 2011: материалы международной научно-практической конференции. Часть 1. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2011. — 255 с.

В сборнике содержатся материалы международной научно-практической конференции «Охрана, безопасность, связь — 2011», состоявшейся в Воронежском институте МВД России 1 декабря 2011 года.



В.А. Дурденко,
доктор технических наук, доцент,
Воронежский институт инновационных
систем



А.А. Рогожин

**КРИТЕРИАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И НАДЕЖНОСТИ
ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ
ОХРАНЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ**

**MODELLING OF CRITERION OF THE ESTIMATION
OF QUALITY FUNCTIONING AND RELIABILITY
OF THE INTEGRATED SYSTEMS
OF SAFETY OF PROTECTED OBJECTS**

Дано определение, описаны уникальные свойства, разработана обобщенная структурная схема интегрированной системы безопасности охраняемого объекта. Определен критерий оценки качества функционирования интегрированных систем безопасности охраняемых объектов. Предложены методы резервирования элементов интегрированных систем безопасности, направленные на повышение ее надежности и качества функционирования.

Definition and unique properties are formulated, and also the generalized block diagram of the integrated system of safety of protected object is developed. The criterion of an estimation of quality of functioning of the integrated systems of safety of protected objects is defined. Methods of reservation of elements of the integrated systems the safety directed on increase of its reliability and quality of functioning are offered.

1. Постановка задачи

Традиционно подразделения вневедомственной охраны (ПВО) при ОВД Российской Федерации защита объектов от криминальных и террористических угроз [1—5] осуществляется с помощью следующих технических систем охранной безопасности (СОБ): охранной и тревожной сигнализации (ОТС), пожарной сигнализации (ПС), ох-

ранного телевидения (СОТ), контроля и управления доступом (СКУД), работающих автономно или централизованно.

Каждая СОБ имеет ряд уникальных функций и в сочетании с требуемым уровнем инженерно-технической укрепленности [7] должна обеспечивать необходимый уровень защиты [2] объекта заданной категории.

Однако в настоящее время на территории Российской Федерации в области обеспечения противокриминальной и антитеррористической защиты объектов особой важности [7], с массовым пребыванием граждан [8], повышенной опасности [7], жизнеобеспечения [7] и других объектов, подлежащих обязательной охране подразделениями милиции вневедомственной охраны при ОВД РФ [6], все чаще используются интегрированные системы безопасности (ИСБ), объединяющие в себе потенциал традиционных СОБ.

Анализ предметной области показывает, что подразделения охраны испытывают определенные трудности в выборе, проектировании, внедрении и эксплуатации ИСБ на объектах, ввиду отсутствия нормативно-правового поля. Такое положение свидетельствует о внедрении на объектах ненадежных ИСБ. Требуется определить критерий оценки качества функционирования ИСБ охраняемого объекта.

Для оценки качества функционирования ИСБ необходимо сначала сформулировать ее четкое и однозначное определение, уникальные свойства и разработать обобщенную структурную схему.

2. Формулировка определения ИСБ и их уникальные свойства

Согласно [7], интегрированная система безопасности объекта — система, объединяющая средства охраны и безопасности объекта на основе единого программно-аппаратного комплекса с общей информационной средой и единой базой данных. Данное определение не в полной мере раскрывает понятие ИСБ и требует корректировки ввиду широкого применения и стремительного развития, поэтому вводим новое.

Интегрированная система безопасности объекта — это совокупность совместно действующих систем охранной безопасности, как правило, охранного телевидения (СОТ), охранно-пожарной сигнализации (ОПС), контроля и управления доступом (СКУД), управления жизнеобеспечением (СУЖ) и, возможно, других систем, обладающих технической, программной, информационной, электромагнитной и эксплуатационной совместимостью, работающих по единому алгоритму взаимодействия, имеющих общие каналы связи, программное обеспечение, базы данных и предназначенная для обеспечения противокриминальной и антитеррористической защиты объекта, в том числе в безоператорном режиме.

Современные ИСБ характеризуются не только большим числом элементов, но главным образом сложностью структуры. В связи с этим сложность современных ИСБ нужно рассматривать не как чисто количественное увеличение комплектующих элементов, а как новое качественное свойство, присущее только этим системам. То есть, ИСБ позволяют вывести качество охраны объектов на принципиально новый более надежный уровень, что обусловлено эмерджентностью ИСБ — приобретением новых свойств, отличных от свойств входящих в нее элементов (традиционных СОБ).

Таким образом, вывод: эмерджентность ИСБ характеризует появление нового качества охраны при агрегировании традиционных СОБ.

Согласно [4], качество — это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Согласно [4], свойство продукции — объективная особенность продукции, которая может проявляться при ее создании, эксплуатации или потреблении.

Сформулируем уникальные свойства ИСБ:

1) Единая система сбора, обработки и представления данных, мониторинга и управления всеми входящими системами, в том числе в безоператорном режиме.

2) Возможность разработки сценариев действий в ответ на различные события в системе.

3) Интегрируемость. Возможность интеграции любого оборудования и подсистем независимо от типа оборудования, его производителя, места размещения, технических характеристик и общей топологии системы.

4) Модульность и открытые интерфейсы. Система может быть легко расширена как за счет включения новых модулей, так и за счет интеграции системы с уже существующими компьютеризированными системами предприятия.

5) Масштабируемость — отсутствие ограничений на масштаб охраняемого объекта и возможность подключения любого количества автоматизированных рабочих мест.

6) Многоуровневая (иерархическая) структура.

3. Разработка обобщенной структурной схемы ИСБ

Для разработки структурной схемы ИСБ необходимо определить ее состав и функциональные связи между элементами. Из сформулированного определения следует, что в ИСБ входят традиционные системы охранной безопасности с известным составом и структурами. Поэтому обобщенная структурная схема ИСБ будет выглядеть, как показано на рис. 1.

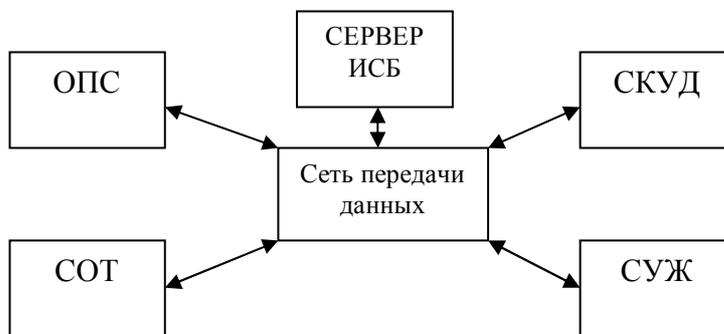


Рис. 1. Обобщенная структурная схема ИСБ

Несмотря на простую, на первый взгляд, структуру, ИСБ обладает достаточно сложной многоуровневой (иерархической) структурой, обусловленной сложностью входящих в нее СОБ.

4. Определение критерия оценки качества функционирования ИСБ охраняемого объекта через «призму» надежности

Согласно теории надежности, ИСБ, по праву, является сложной технической системой — совокупностью подсистем (элементов), объединенных функционально или

конструктивно в соответствии с определенным алгоритмом взаимодействия при выполнении определенной задачи в процессе применения по назначению [13].

Надежность любой сложной технической системы (СТС) отражает ее свойство выполнять и сохранять во времени заданные функции в заданных режимах и условиях применения по назначению, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки [12].

Так как основными функциями ИСБ являются противокриминальная и антитеррористическая защита объекта, то надежность ИСБ можно охарактеризовать, как способность с заданной вероятностью обнаруживать и противостоять несанкционированным действиям правонарушителя в рамках проектной угрозы (криминальной и/или террористической) в течение заданного времени или наработки.

Даже при абсолютной безотказности всех элементов ИСБ в процессе функционирования нельзя говорить о выполнении ею своей задачи как о достоверном событии, так как система может не выполнить на все 100 % поставленные задачи вследствие технического несовершенства самой системы, сложности отдельных задач, воздействия внешней среды и т.д. С другой стороны, в силу определенной избыточности, в структуре ИСБ даже появление отказов отдельных элементов или значительные изменения рабочих параметров могут привести не к полному выходу из строя, а лишь к некоторому ухудшению качества функционирования системы в целом.

Естественно, появляется необходимость по-новому оценивать многие, и в частности эксплуатационные и оперативные, характеристики ИСБ.

Отсюда вытекает необходимость установления нового критерия для оценки качества функционирования ИСБ. Таким критерием должен выступать показатель качества, характеризующий способность ИСБ выполнять свои функции в определенных условиях эксплуатации в течение заданного времени.

Согласно [12], такой показатель качества определяется показателями надежности. Если пренебречь такими циклами эксплуатации ИСБ, как хранение, транспортировка, ремонт и техническое обслуживание, а использовать при исследовании только время применения по назначению, то однозначно видно, что количественной мерой оценки качества функционирования будет являться вероятность безотказной работы ИСБ. Таким образом, оценку качества функционирования ИСБ целесообразно рассмотреть через «призму» надежности.

Основная идея рассматриваемого метода оценки надежности ИСБ заключается в том, что оценка производится с учетом качества ее функционирования, качества выполнения задач, т. е. по выходному эффекту. Введение такой оценки очень удобно, так как позволяет сравнивать функционирование ИСБ, различных по структуре, принципу действия, комплектующим элементам и т. п., если они предназначены для выполнения одной и той же задачи — обеспечить надежную и эффективную защиту объекта от криминальных и террористических угроз. Это позволит изыскивать пути оптимального построения ИСБ на объектах и производить их рациональный выбор.

5. Определение способов повышения надежности ИСБ путем резервирования ее элементов

При эксплуатации ИСБ эффективность и надежность аппаратуры ИСБ оценивается для определения соответствия между требованиями к надежности и качеству, которые предъявлены заказчиком, и требованиями и действительной надежностью, а также для того, чтобы принять решение о повышении надежности эксплуатируемой аппаратуры, выбрав для этой цели соответствующую форму улучшения качества [9].

Увеличение надежности происходит путем доработок. Скорость увеличения надежности постепенно убывает со временем. Момент прекращения доработок в аппаратуре определяется по стоимостным характеристикам. Если стоимость доработок соизмерима со стоимостью всей аппаратуры, то целесообразнее предусмотреть резервирование данной системы охраны. Обычно стоимость доработок составляет 5—15% стоимости всей системы, а выигрыш в надежности может составлять до 100% и более.

Таким образом, резервирование является способом повышения надежности путем включения резерва, предусмотренного при разработке аппаратуры или в процессе ее эксплуатации. Это один из эффективных методов повышения надежности, позволяющий создавать ИСБ, надежность которых может быть выше надежности входящих в них элементов. С этой точки зрения можно говорить о построении надежных систем из ненадежных элементов.

Любой метод резервирования основан на принципе избыточности. Это означает, что наряду с основными единицами (системами охраны, шлейфами сигнализации, извещателями, видеокамерами, контроллерами и т.д.), выполняющими предназначенную функцию, должны быть предусмотрены резервные единицы, которые не являются функционально необходимыми, а предназначены лишь для замены соответствующих основных единиц в случае их отказа.

Резервированные системы отличаются, в первую очередь, способом включения резерва. С этой точки зрения различают:

- резервирование замещением;
- постоянное резервирование.

Указанные способы резервирования могут быть осуществлены путем применения методов:

- общего соединения резервных элементов (рис. 2);
- отдельного соединения резервных элементов (рис. 3);
- смешанного соединения резервных элементов.

Общее резервирование состоит в резервировании всей системы в целом.

Отдельное резервирование состоит в резервировании системы по отдельным участкам. Систему с общим резервированием замещением можно считать частным случаем системы с отдельным резервированием, имеющей один участок резервирования. Отдельное резервирование может быть осуществлено как в виде резервирования сравнительно крупных участков системы, так и путем резервирования отдельных ее элементов.

При смешанном резервировании в системе резервируются как отдельные «ненадежные» шлейфы сигнализации, линии связи, так и отдельные технические средства.

Надежность систем с резервированием определяется числом резервных элементов m , приходящихся на один рабочий элемент. Это число называют кратностью резервирования. Высокая кратность резервирования позволяет получить требуемую надежность ИСБ, но приводит к ее усложнению и повышению стоимости.

Перейдем к количественной оценке обоих способов резервирования. *Оценку будем производить по вероятности безотказной работы.*

Система с общим резервированием (рис. 2) будет нормально функционировать при сохранении работоспособности хотя бы одной из цепей. Вероятность отказа такой системы без учета надежности переключающих устройств определяется на основе теоремы умножения вероятностей отказа отдельных цепей [10]:

$$Q_{об} = \prod_{i=1}^{m+1} Q_i, \quad (1)$$

где Q_i — вероятность отказа отдельных цепей (извещателей, шлейфов сигнализации, приемно-контрольных приборов; видеокамер и видеосерверов; считывателей, электрозамков и контроллеров доступа и т.д.; далее цепей); m — кратность резервирования.

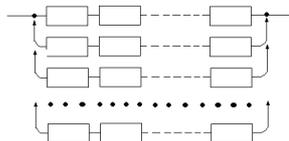


Рис. 2. Схема общего резервирования

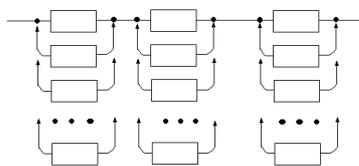


Рис. 3. Схема раздельного резервирования

Вероятность безотказной работы системы с общим резервированием:

$$P_{об} = 1 - Q_{об} = 1 - \prod_{i=1}^{m+1} (1 - P_i), \quad (2)$$

где P_i — вероятность безотказной работы i -й цепи.

Безотказная работа i -й цепи будет иметь место при безотказной работе каждого из n элементов. Поэтому вероятность безотказной работы цепи

$$P_i = \prod_{j=1}^n P_{ij}, \quad (3)$$

где P_{ij} — вероятность безотказной работы j -го элемента i -й цепи; n — число последовательно соединенных элементов цепи.

Подставляя значение P_i из (3) в (2), находим:

$$P_{об} = 1 - \prod_{i=1}^{m+1} \left(1 - \prod_{j=1}^n P_{ij} \right). \quad (4)$$

Для системы с раздельным резервированием (рис. 3) по формуле (2) могут быть определены вероятности безотказной работы отдельных элементов с резервированием.

Тогда общая вероятность безотказной работы системы с раздельным резервированием на основе теоремы умножения вероятностей

$$P_{раз} = \prod_{j=1}^n \left[1 - \prod_{i=1}^{m+1} (1 - p_{ij}) \right]. \quad (5)$$

Для случая, когда все элементы одинаковы по надежности и каждый узел системы с общим резервированием состоит из n последовательно включенных элементов, вероятность безотказной работы системы с общим резервированием

$$P_{об} = 1 - (1 - p^n)^{m+1}, \quad (6)$$

где p — вероятность безотказной работы элемента системы.

Для системы с раздельным резервированием в этом случае получим

$$P_{раз} = [1 - (1 - p)^{m+1}]^n. \quad (7)$$

Задаваясь конкретными значениями p, m и n , можно сравнить надежности системы при общем и раздельном резервировании.

Преимущество раздельного резервирования резко возрастает с увеличением числа резервируемых элементов n и кратности резервирования m .

Вероятность отказа ИСБ с m -кратным общим нагруженным резервом может быть найдена из выражения

$$T_{om} = \int_0^{\infty} \left\{ 1 - [1 - p^n(t)]^{m+1} \right\} dt. \quad (8)$$

В случае экспоненциального закона получим

$$T_{om} = \int_0^{\infty} \left[1 - (1 - e^{-\Lambda t})^{m+1} \right] dt, \quad (9)$$

где $\Lambda = n\lambda = \frac{1}{T_0}$ — интенсивность отказов цепи.

Запишем уравнение (9) для $T_{0\ m-1}$ и составим разность $T_{0m} - T_{0\ m-1}$. Эта разность может быть представлена в виде одного интеграла. В результате интегрирования после несложных преобразований получим

$$T_{0m} - T_{0\ m-1} = \frac{1}{\Lambda(m+1)}. \quad (10)$$

Подставляя в это уравнение последовательно $m=1, 2, 3, \dots$, получаем

$$T_{0m} = A_m T_0 = \frac{A_m}{\Lambda}, \quad (11)$$

где $A_m = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{m+1}$.

Значения коэффициента A_m приведены в таблице.

Значения коэффициента A_m

m	1	2	3	4	5
A_m	1,5	1,83	2,00	2,28	2,45

Так как каждый следующий резервный элемент при ненагруженном резерве начинает работать только после отказа предыдущего, то наработка системы в целом будет представлять собой сумму наработок основного элемента и всех резервных цепей:

$$T_{0m} = \sum_{i=1}^{m+1} T_{0i}, \quad (12)$$

где T_{0i} — наработка на отказ i -й цепи.

Когда все резервные цепи одинаковы, наработка системы

$$T_{0m} = (m+1)T_0 = \frac{m+1}{\Lambda}, \quad (13)$$

где T_0 — наработка на отказ одной цепи.

Из выражений (11) и (13) следует, что выигрыш в наработке на отказ при ненагруженном резерве значительно выше, чем при нагруженном.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 52551-2006. Системы охраны и безопасности. Термины и определения.
2. ГОСТ Р 50776-95. Системы тревожной сигнализации. Часть 1. Общие требования. Раздел 4. Руководство по монтажу, проектированию и техническому обслуживанию.
3. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
4. ГОСТ 15467-79 (СТ СЭВ 3519-81). Управление качеством продукции. Основные понятия термины и определения.
5. ГОСТ 4.188-85. Система показателей качества продукции. Средства охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации. Номенклатура показателей (последнее издание от 01.05.2005).
6. Распоряжение Правительства РФ от 02.11.2009 N 1629-р (ред. от 15.02.2011) «О перечне объектов, подлежащих обязательной охране подразделениями милиции вневедомственной охраны при органах внутренних дел Российской Федерации».
7. Приказ МВД России от 16.11.2006 г. № 937 «Об утверждении Инструкции по организации технической эксплуатации технических средств охраны на объектах, охраняемых подразделениями милиции вневедомственной ОВД РФ».
8. Методические рекомендации руководителям предприятий и учреждений по антитеррористической защищенности критически важных объектов и мест с массовым пребыванием граждан, расположенных на территории Пермского края. Утверждены на заседании антитеррористической комиссии в Пермском крае от 21 июня 2011 г. протокол № 5. — 38 с.
9. Широков А. М. Надежность радиоэлектронных устройств. — М.: Высшая школа, 1972. — 272 с.
10. Шишонок Н.А., Репкин В.Ф., Барвинский Л.Л. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники. — М.: Советское радио, 1964. — 550 с.
11. Ушаков И.А. Курс теории надежности систем: учеб. пособие для вузов. — М.: Дрофа, 2008. — 239 с.
12. Надежность технических систем: учебное пособие для вузов технических специальностей / под общ. ред. Е. В. Сугака и Н. В. Василенко. — Красноярск: НИИ СУВПТ, 2001. — 608 с.
13. Червонный А.А., Лукьященко В.И., Котин Л.В. Надежность сложных систем: изд. 2-е перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1976. — 288 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Дурденко Владимир Андреевич. Профессор кафедры менеджмента. Доктор технических наук, доцент.

Воронежский институт инновационных систем.

E-mail: dva_viis@mail.ru

Россия, 394043, г. Воронеж, ул. Березовая роща, 54. Тел.(473) 2-354-898.

Рогожин Александр Александрович. Преподаватель кафедры технических систем безопасности.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: gaa_tsbs@list.ru

Россия, 394065, г. Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 2-312-412.

Durdenko Vladimir Andreevich. Professor of the chair of Management. Doctor of technical sciences, assistant professor.

Voronezh Institute of Innovation Systems.

Work address: Russia, 394043, Voronezh, Berezovaya roscha Str., 54. Tel. (473) 2-354-898.

Rogozhin Alexander Alexandrovich. Lecturer of the chair of Technical Security Systems.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 2-312-412.

Ключевые слова: интегрированная система безопасности; качество; надежность; показатель надежности; резервирование; отказ; вероятность безотказной работы.

Key words: the integrated system of safety; quality; reliability; measure of reliability; reservation; failure; reliability function.

УДК 654.924; 621.38.019.3



Е.А. Рогозин,
доктор технических наук, доцент.
Воронежский государственный техниче-
ский университет



Д.Ф. Хисамов,
кандидат технических наук.
Кубанский институт информзащиты

МОДЕЛИРОВАНИЕ АНАЛОГОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В КАНАЛАХ НИЗКОГО КАЧЕСТВА

SIMULATION OF THE ANALOGICAL SYNCHRONIZATION OF PSEUDORANDOM SEQUENCE IN THE CHANNELS OF POOR QUALITY

В условиях мощных организованных помех возникает необходимость перехода от дискретных к аналоговым методам синхронизации датчиков псевдослучайных последовательностей (ПСП). Оценка аналоговой синхронизации ПСП затруднена из-за отсутствия приемлемых математических выражений. В данной работе впервые разработаны математические модели для оценки аналоговой синхронизации ПСП на каналах с произвольным законом распределения ошибок с использованием границы Чернова и Гаусса.

On channels of poor quality there is a necessity of a change from discrete to analogical synchronization methods for pseudorandom sequence timers (PST). The estimation of analogue synchronization of PST is hampered due to the lack of acceptable mathematical expressions. The given paper has pioneered the mathematical models for estimation of analogical PST synchronization on channels with the arbitrary law of errors distribution with the usage of Chernoff and Gauss bounds.

Введение

В современных условиях управления войсками оперативности и надежности передачи информации уделяется первостепенное значение. Это обусловлено быстротечностью и размахом современных боевых действий и применением высокоточного оружия. При применении специальных систем связи на каналах низкого качества может возникнуть ситуация, когда модем не в состоянии выделять дискретные послылки сигнала, тогда возникает задача в аналоговой синхронизации датчиков ПСП.

Найдем аналитическую модель для оценки аналоговой синхронизации ПСП на каналах с произвольным законом распределения ошибок с использованием границы Чернова и Гаусса.

Вывод строгой верхней границы для вероятности неприема пусковой комбинации с использованием неравенства Чернова

Пусть реализация пускового ПС-ФМ сигнала при аналоговой синхронизации имеет вид (1) и в канале присутствует аддитивная помеха $\varepsilon(t)$ с произвольным законом распределения [1], нулевым средним и дисперсией σ^2 .

$$\begin{aligned} \alpha = 0, \quad \text{то} \quad S_1(t) &= \Pi(t) U_c = \cos(\omega_c t + \varphi), \\ \alpha = 1, \quad \text{то} \quad S_2(t) &= -S_1(t), \quad 0 \leq t \leq T; \quad \text{где:} \\ \Pi(t) &= \begin{cases} (-1)^{\gamma_k} & , \quad (k-1)T_0 \leq t \leq kT_0, \quad k = 1, 2, 3, \dots, B \\ 0 & \text{при других } t; \end{cases} \end{aligned} \tag{1}$$

U_c – амплитуда сигнала;

T_c – длительность субэлемента сигнала;

T – длительность элемента сообщения;

$\gamma_k = (0, 1)$ – псевдослучайная последовательность, неизвестная противнику, которую для краткости будем именовать гаммой.

Тогда на интервале анализа аналоговые отчеты сигнала будут иметь вид:

$$\xi_{i=} \begin{cases} a(-1)^{\gamma_i} + \varepsilon_i & \text{если } i \text{ принадлежит ПС;} \\ \varepsilon_i & \text{если } i \text{ не принадлежит ПС;} \end{cases} \tag{2}$$

где a — амплитуда сигнала;

$\gamma_i = (0, 1)$ — равновероятные и взаимно независимые случайные величины;

$$\varepsilon_i = \int_{(i-1)T_0}^{iT_0} \varepsilon(t) \cdot \cos \omega_c t dt \quad \text{— произвольно распределенная случайная величина с}$$

нулевым средним и дисперсией σ^2 .

Предположим, что пусковая комбинация (ПК) известна на приеме и состоит из N символов: S_1, S_2, \dots, S_N . На приеме осуществляется автокорреляционный прием пускового сигнала по правилу (3), что соответствует схеме, изображенной на рис. 1.

$$\sum_{i=1}^N U_{i+j} \cdot S_i >_{<} U_0, \tag{3}$$

Здесь U_1, U_2, \dots, U_L — принятые из канала L двоичных символов, а S_1, S_2, \dots, S_N — известная пусковая комбинация, состоящая из N двоичных символов.

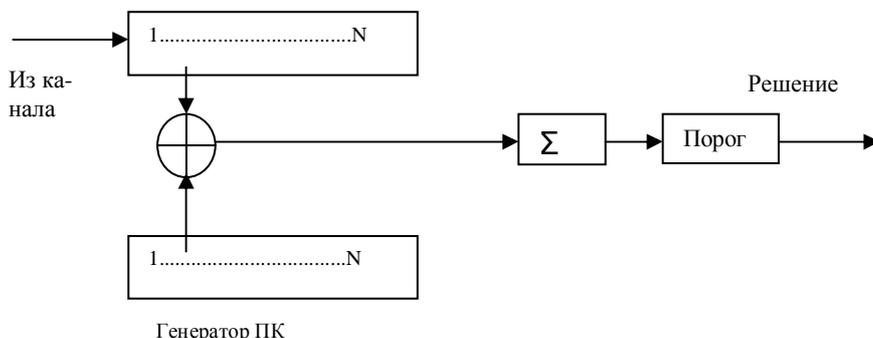


Рис. 1. Автокорреляционный прием пускового сигнала

Требуется определить вероятность неприема синхроросылки (СП), если известно, что вся пусковая комбинация входит в интервал анализа.

Рассмотрим случай, когда пусковой и опорный сигналы пересекаются. Тогда можем составить две суммы:

$$1) \sum_{i=1}^N \xi_i (-1)^{\gamma_i} = \sum_{i=1}^N \left(a(-1)^{\gamma_i} + \varepsilon_i \right) \cdot (-1)^{\gamma_i} = aN + \sum_{i=1}^N \varepsilon_i (-1)^{\gamma_i}; \quad (4)$$

$$2) \sum_{i=1}^N \xi_i (-1)^{\gamma_i} = \sum_{i=1}^{N-T} \left[a(-1)^{\gamma_{i+T}} + \varepsilon_{i+T} \right] \cdot (-1)^{\gamma_i} + \sum_{i=N-T+1}^T \varepsilon'_{i+T} \cdot (-1)^{\gamma_i} =$$

$$= aR(T) + \sum_{i=1}^{N-T} (-1)^{\gamma_i} \cdot \varepsilon_{i+T} + \sum_{i=N-T+1}^T (-1)^{\gamma_i} \cdot \varepsilon'_{i+T},$$

где $R(T)$ — автокорреляционная функция АПСР при сдвиге, равном T .

Очевидно, неприем может произойти только тогда, когда первая сумма будет меньше второй:

$$p_H = P \left\{ aN + \sum_{i=1}^N \varepsilon_i (-1)^{\gamma_i} < aR(T) + \sum_{i=1}^{N-T} (-1)^{\gamma_i} \cdot \varepsilon_{i+T} + \sum_{i=N-T+1}^T (-1)^{\gamma_i} \cdot \varepsilon'_{i+T} \right\} =$$

$$= P \left\{ a(N-R(T)) + \sum_{i=1}^{N-T} (-1)^{\gamma_i} (e_i - e_{i+T}) + \sum_{i=N-T+1}^T (-1)^{\gamma_i} (e_i - e'_{i+T}) < 0 \right\}.$$

Учитывая, что под обоими знаками суммы в правой части неравенства (6) стоят случайные величины с нулевыми средними и одинаковыми дисперсиями, равными $2\sigma^2$, формулу (6) можем переписать как:

$$P_H = P \left\{ a(N-R(T)) + \sum_{i=1}^N (-1)^{\gamma_i} \cdot \eta_i < 0 \right\} \quad (7)$$

где $\eta_i = \begin{cases} (\varepsilon_i - \varepsilon_{i+T}) & \text{при } i = 1, 2, 3, \dots, N-T; \\ (\varepsilon_i - \varepsilon'_{i+T}) & \text{при } i = 1, 2, 3, \dots, T. \end{cases}$

Учитывая слабую коррелированность помехи на интервале субэлемента сигнала, предположим взаимную независимость отсчетов η_i и поэтому для оценки (7) используем границу Чернова [2]:

$$P\{x \leq b\} \leq g(t) \cdot e^{-Bt}, \quad t \leq 0, \quad (8)$$

$$\text{где } g(t) = M \left\{ e^{tx} \right\}.$$

Полагая в (8) $x = a \cdot [N-R(T)] + \sum_{i=1}^N (-1)^{\gamma_i} \cdot \eta_i$ и $B=0$, получим границу для вероятности неприема СП в виде:

$$P_H \leq \min_{t \leq 0} g(t), \quad \text{при } t \leq 0,$$

где

$$g(t) = M \left\{ e^{t \left[a(N-R(T)) + \sum_{i=1}^N (-1)^{\gamma_i} \cdot \eta_i \right]} \right\}, \quad (9)$$

математическое ожидание вычисляется относительно γ_i и η_i ; $i = 1, 2, 3, \dots, N$.

$$M \left\{ e^{t \left[a(N-R(T)) + \sum_{i=1}^N (-1)^{\gamma_i} \cdot \eta_i \right]} \right\} = e^{t \cdot a[N-R(t)]} \cdot \prod_{i=1}^N \frac{e^{t\eta_i} + e^{-t\eta_i}}{2} =$$

$$= e^{t \cdot a[N-R(t)]} \cdot \prod_{i=1}^N \text{ch}(t \cdot \eta_i) \leq e^{t \cdot a[N-R(t)] + \frac{t^2}{2} \sum_{i=1}^N \eta_i^2}.$$

Найдем математическое ожидание относительно γ_i , где последнее неравенство

$$(10) \text{ получено из условия } \text{ch}(x) \leq e^{\frac{x^2}{2}}.$$

Учитывая, что η_i центрированная величина можем переписать (10) как:

$$g(t) \leq e^{t \cdot a[N-R(T)] + t^2 \cdot N \sigma^2}. \quad (11)$$

Легко показать, что показатель степени в (11) минимизируется при:

$$t_{opt} = \frac{-a \cdot [N - R(T)]}{2N \cdot \sigma^2},$$

тогда окончательно имеем:

$$P_H \leq \min_{t \leq 0} g(t) = e^{-\frac{a^2 [N-R(T)]^2}{\delta^2 \cdot 2N} + \frac{a^2 [N-R(T)]^2}{\delta^2 \cdot 4N}} = e^{-\frac{H^2 [N-R(T)]^2}{4N}}, \quad (12)$$

где $H^2 = \frac{a^2}{\sigma^2}$ — отношение средней энергии элемента сигнала на входе приемника к спектральной плотности помехи.

Для оценки вероятности неприема ПК на всем интервале анализа L используем аддитивную границу Буля [2], тогда окончательно получим:

$$\bar{P}_H \leq (L - 2N) \cdot e^{-\frac{H^2 \cdot N}{4}} + \sum_{i=1}^{N-1} e^{-\frac{H^2 [N-R(T)]^2}{4N}}. \quad (13)$$

Неравенство (13) дает строгую верхнюю границу для вероятности неприема ПС при произвольных помехах в канале. Представляет интерес рассмотреть некоторые частные случаи, например, когда помеха в канале типа белого гауссовского шума (БГШ).

Вывод точной формулы для вероятности неприема ПК в условиях гауссовских помех

В частном случае, когда помеха гауссовская с нулевым средним и с дисперсией δ^2 легко получить точную формулу. Для этого (7) представим как:

$$P_H = P\left\{\sum_{i=1}^N (-1)^{\gamma_i} \cdot \eta_i > a[N - R(T)]\right\} = P\{\tilde{\eta} > a[N - R(T)]\}, \quad (14)$$

где $\tilde{\eta} = \sum_{i=1}^N (-1)^{\gamma_i} \cdot \eta_i$ — гауссовская величина с нулевым средним и дисперсией, равной $2N\delta^2$.

Тогда для (14) можем получить точную формулу в виде [3]:

$$\begin{aligned} P_H &= P\{\tilde{\eta} > a[N - R(T)]\} = \int_{a[N - R(T)]}^{\infty} \frac{1}{2\delta\sqrt{\pi N}} \cdot e^{-\frac{x^2}{4n\delta^2}} dx = \\ &= 1 - F\left(\frac{a[N - R(T)]}{\delta\sqrt{2N}}\right) = 1 - F\left(\frac{H[N - R(T)]}{\sqrt{2N}}\right), \end{aligned} \quad (15)$$

где $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ — интеграл вероятности.

Для определения вероятности неприема пускового сигнала на интервале анализа опять воспользуемся аддитивной границей и получим окончательное выражение в виде:

$$\bar{P}_H < (L - 2N) \cdot \left[1 - F\left(H\sqrt{\frac{N}{2}}\right) \right] + \sum_{T=1}^{N-1} \left[1 - F\left(\frac{H[N - R(T)]}{\sqrt{2N}}\right) \right]. \quad (16)$$

Известно, что в классе помех с произвольным законом распределения, гауссовская помеха всегда дает нижнюю границу для вероятности ошибки [2]. Поэтому выражение (16) можно рассматривать как нижнюю границу вероятности неприема ПК в случае произвольных помех в канале. На рис.2 приведены нижняя и верхняя границы вероятности неприема ПК $\bar{P}_H = \varphi(H^2)$ для различных N при аналоговом запуске и произвольных помехах в канале, рассчитанные по (13) и (16) соответственно.

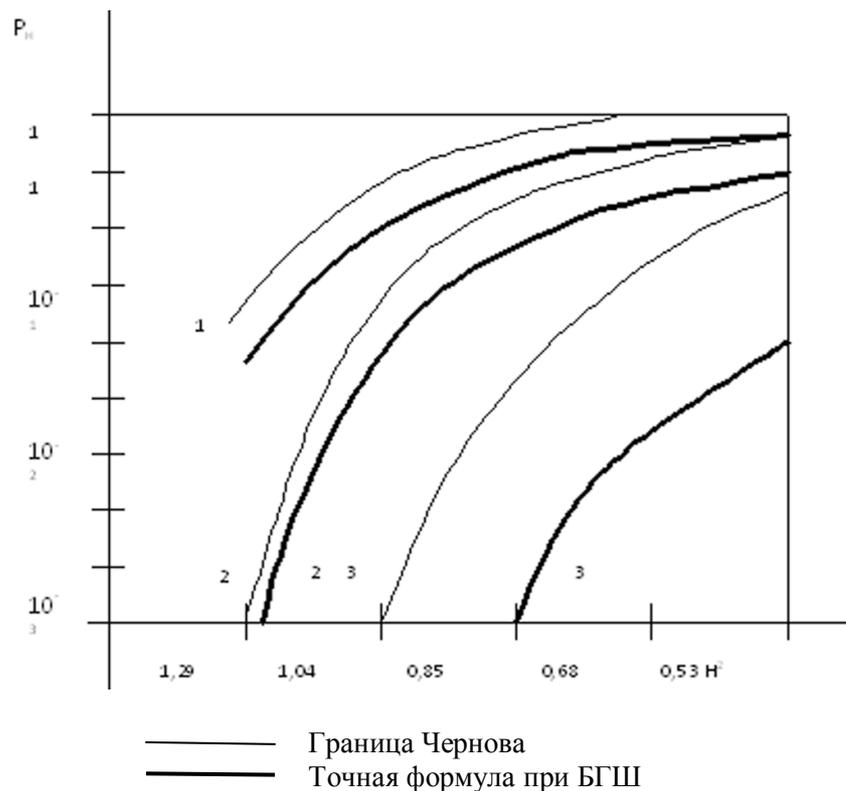


Рис. 2. Нижняя и верхняя границы вероятности неприема ПСП при аналоговом запуске: 1 — при $N=30$; 2 — при $N=63$; 3 — при $N=127$

Вывод

Из анализа кривых, приведенных на графике, видно, что верхняя граница (13), полученная с использованием неравенства Чернова, дает достаточно плотные результаты (кривые 1 и 2) и, следовательно, будет хорошей оценкой вероятности неприема \bar{P}_H при произвольных слабо коррелированных помехах в канале.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коржик В.И., Финк Л.М. Помехоустойчивое кодирование дискретных сообщений в каналах со случайной структурой. — М.: Связь, 1975.
2. Хисамов Д.Ф. Граничные оценки вероятности синхронизации псевдослучайной последовательности на каналах с произвольным распределением ошибок // Математика в XXI веке: материалы международного конгресса 25—28 июня 2003 г. — Новосибирск: Академгородок, 2003. — URL: <http://www.sbras.ru/ws/MMF-21/>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Рогозин Евгений Алексеевич. Профессор кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры. Доктор технических наук, доцент.

Воронежский государственный технический университет.

E-mail: EvgeniRogozin@yandex.ru

Россия, 394042, г. Воронеж, Московский проспект, 159. Тел.8(473) 246-26-30.

Хисамов Денис Франгизович. Доцент кафедры комплексной защиты информации. Кандидат технических наук.

Кубанский институт информзащиты.

E-mail: kiiz@rambler.ru.

Россия, 350010, г. Краснодар, ул. Зиповская, 5. Тел. 8(861)252-30-31.

Rogozin Evgeni Alekseevich. Professor of the chair of designing and production of radio equipment. Doctor of technical sciences, assistant professor.

Voronezh State Engineering University.

Work address: Russia, 394042, Voronezh, Moscow Prospect, 159. Tel. 8(473) 246-26-30.

Khislamov Denis Frangizovich. Assistant professor of the chair of complex information protection. Candidate of technical sciences.

Kuban Institute of Information Protection.

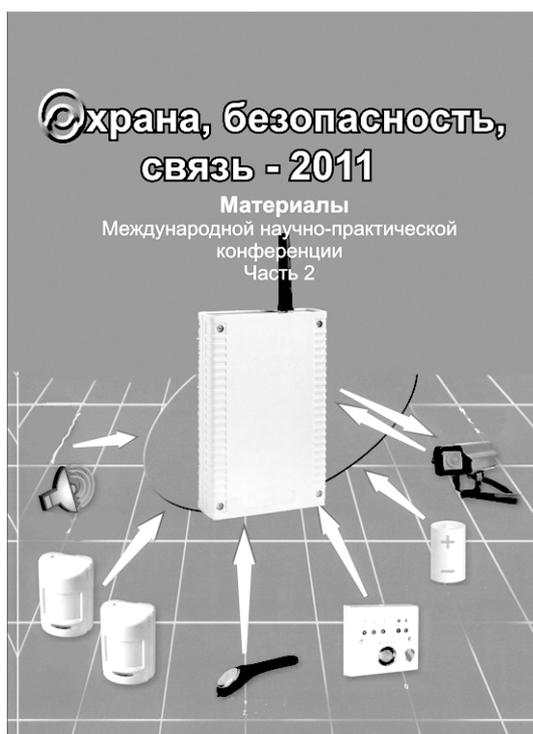
Work address: Russia, 350010, Krasnodar, Zipovskaja Str., 5. Tel.: 8(861)252-30-31.

Ключевые слова: синхронизация; псевдослучайная последовательность; алгоритм синхронизации ПСП.

Key words: synchronization; pseudorandom sequence; algorithm of PST synchronization.

УДК 681.327.8.

ИЗДАНИЯ ВОРОНЕЖСКОГО ИНСТИТУТА МВД РОССИИ



Охрана, безопасность, связь — 2011: материалы международной научно-практической конференции. Часть 2. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2011. — 224 с.

В сборнике содержатся материалы международной научно-практической конференции «Охрана, безопасность, связь — 2011», состоявшейся в Воронежском институте МВД России 1 декабря 2011 года.