УДК 358.111.6

В.В. Матиборский

СТОХАСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА

Показаны возможности стохастического анализа имитационной модели человека в системе управления охраной труда, а также возможность определения отклика такой модели при воздействии случайных опасных и вредных производственных факторов на ее входе.

Стохастическую модель «участия» человеческого фактора в управлении охраной труда можно представить в следующем виде (рис.1)

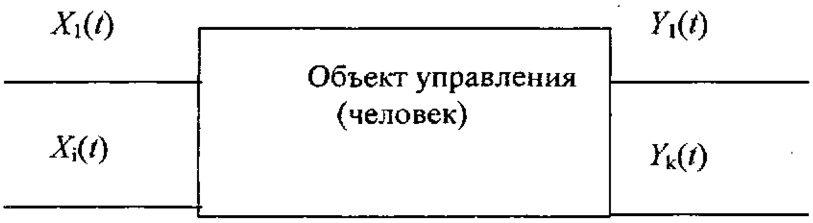

Рис. 1. Модель системы управления охраной труда с учетом человеческого фактора

Математическая модель такой системы управления легко описывается с использованием системы обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений вида

$$\frac{dY_i}{dt} = F_i(t, Y_1, Y_2, \ldots, Y_n, X_1, X_2, X_3, \ldots, X_m, \lambda_1, \ldots, \lambda_l), \qquad (1)$$

где $Y_1, Y_2 \ldots Y_n$ – выходные координаты случайных процессов (отклики на воздействие); $X_1, X_2 \ldots X_m$ – входные случайные функции (воздействие); $\lambda_1, \lambda_2 \ldots \lambda_l$ – входные случайные величины, характеризующие случайные изменения параметров нелинейной системы; F_i, i=1,2...n - система нелинейных функций, зависящих от аргументов *i, n, m, l*.

Для построения математической модели в данном случае не может применяться метод типовых звеньев, который более удобен при анализе линейных систем с известными (или определенными) передаточными функциями.

Метод естественных дифференциальных уравнений позволяет построить замкнутую систему дифференциальных уравнений на основе естественных законов физики.

Система дифференциальных уравнений вида (1) носит название нормальной формы Коши.

Решение математической задачи Коши состоит в том, чтобы по заданной системе дифференциальных уравнений (1) и заданным начальным условиям определить функции (отклики) $Y_1,..Y_n$ при подстановке которых в систему (1) она обращается в тождество и при этом удовлетворяются начальные условия

$$Y_i(t_0) = Y_{i_0},\ i=1,2,\ldots n. \tag{2}$$

Решение системы уравнений (1) формально может быть записано в виде

$$Y_i(t) = \Phi_i(t, X_1(t),..X_m(t), \lambda_i,..\lambda_l),\ i = \overline{1,n}.$$

Найти функцию Φ_i в явном виде очень сложно. Поэтому применяются приближенные методы, использующие интерполяционные полиномы Лагранжа. Сложность решения системы (1) в этом случае заключается в том, что не всегда обеспечивается сходимость интерполирующих полиномов к интерполируемой функции при увеличении количества узлов интерполяции. Использование для этих целей разработанных с участием автора интерполяционных сплайн-функций позволяет решить задачу сходимости.

На первом этапе решения системы (1) проведем некоторые упрощения. Перейдем от начальных условий (2) к начальным нулевым условиям вида

$$z_i(t) = Y_i(t) - Y_i(t_0)_{|t_0=0} \qquad i = \overline{1,n} \tag{3}$$

с использованием приема замены переменных. Тогда $Y_i(t) = z_i(t) + Y_i(0)$ и все случайные величины $Y_i(0)$ "поглотят" случайные величины λ_i, $i = \overline{1,l}$.

На втором этапе перейдем от случайных процессов $X_i(t)$, $t = \overline{1,m}$ к неким детерминированным функциям, зависящим как от времени, так и от соответствующих случайных величин. Такой переход хорошо известен из литературы. В этом случае получается приближенное представление вида

$$X_i(t) = M[X_i(t)] + \varphi(t, \gamma_{i_1}, \gamma_{i_2} \ldots \gamma_{i_{k_i}}),\ i = \overline{1,m} \text{ и } M[\varphi] = 0, \tag{4}$$

где M – математическое ожидание случайной величины; γ_{ik_i} – некоррелируемые случайные величины, которые определяются по вероятностным характеристикам случайного процесса $X_i(t)$.

Подставив (3) и (4) в (1), получим систему нелинейных дифференциальных уравнений

$$\frac{dz_i(t)}{dt} = F_i(t, z_1, z_2 .. z_n, \lambda_1, \lambda_2 .. \lambda_s),\ i = \overline{1,n}. \tag{5}$$

Система случайных величин $\{\lambda_s\}$ в (5) содержит случайные величины $\{\lambda_i\}$ из (1), $\{Y_i(0)\}$ из (3) и $\gamma_{i_{k_i}}$ из (4), в которой обозначение F_i для простоты не меняется.

Таким образом, искомое нелинейное устройство с m входами и n выходами описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений (5).

Математическое ожидание $M[z_i(t)]$ в этом случае будет определяться из следующего выражения:

$$M[z_i(t)] = \sum_{k_1 k_2 \ldots k_N} a^{(i)}{}_{k_1 k_2 \ldots k_N} \prod_{\ell=1}^{N} \int_{-\infty}^{\infty} \xi^{(i)}_{a_\ell k_\ell}(X_\ell, t) p_\ell(X_\ell) dX_\ell .$$

В случае необходимости несложно найти дисперсию отклика на i-м выходе, а также вычислить функцию распределения вероятностей отклика на i-м выходе.

Приведенные выражения довольно сложны и требуют для своей реализации привлечения ЭВМ. Однако возможно значительно упростить их путем уменьшения количества X_i - на входе исходной системы рис.1 за счет ее «разложения» на несколько составляющих, таких как органы слуха, зрения, обоняния и др. Такая система управления показана на рис.2.

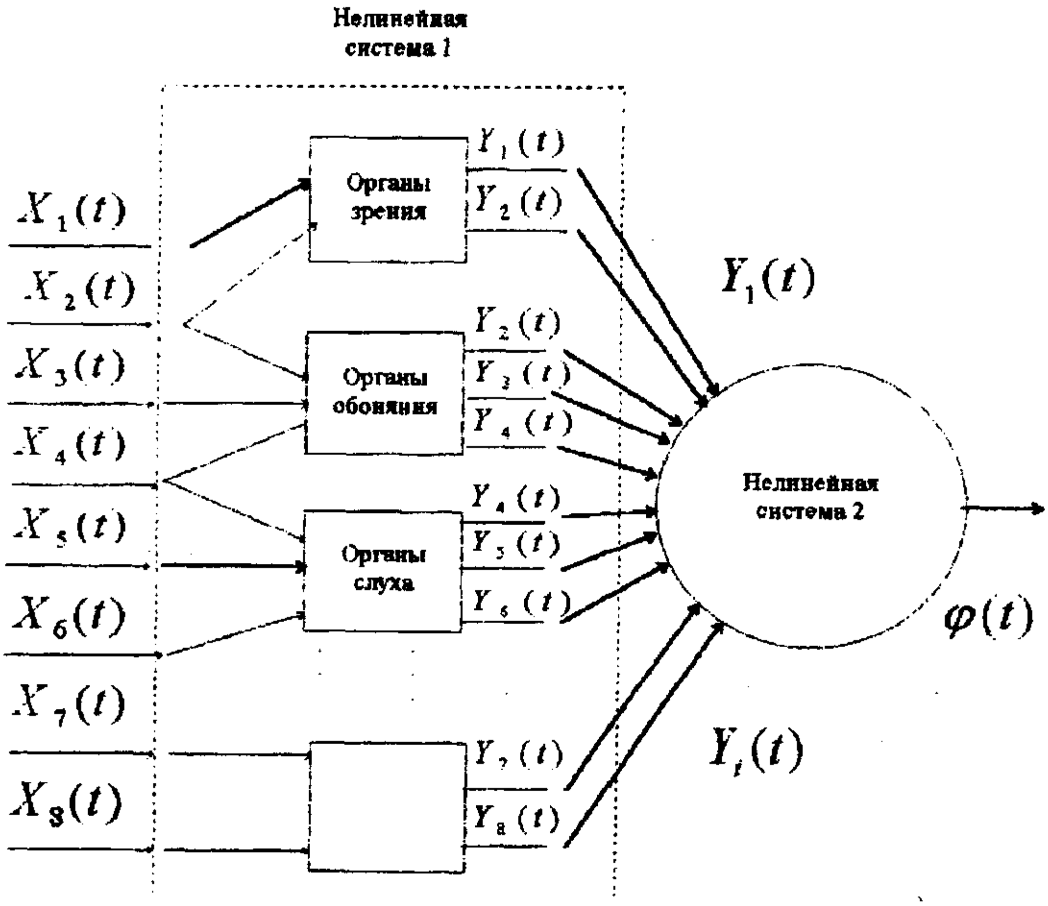

Рис. 2 Имитационная модель с учетом составляющих человеческого фактора

Значительное упрощение приведенных выражений, а также алгоритмов расчета на ЭВМ произойдет при использовании предложенных интерполяционных сплайнов второй степени.

Стаття надійшла до редакції 20 грудня 1999 року.