Нечаева Ярослава Евгеньевна, студентка групи АКТСИ-20-1
Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина

Научный руководитель: Наумейко И.В., доцент кафедри ПМ
Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина

АСИМПТОТИКА РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ В ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМАХ

В системе «Человек-машина-среда» (ЧМС) безопасность труда определяется связями, которые обусловлены опасностями, имеющими место в окружающей среде и на рабочем месте. В данной работе рассматриваются основные подсистемы ЧМС с учетом только опасных и вредных связей, а именно, подсистема, генерирующая вредный фактор и подсистема динамической защиты.

Целью работы является выявление точек в пространстве параметров системы, приводящих к критическим режимам функционирования, когда система защиты не справляется, а также оптимизация стоимости системы «человек–машина–среда» в той ее части, которая реагирует на нештатные ситуации с целью уменьшения уровней вредных факторов и их биовоздействия.

В работе, при составлении модели, использованы в качестве аксиом БЖД такие понятия и допущения, как «аддитивность вредных воздействий», их авто- и взаимная куммулятивность, по крайней мере, не противоречащие реальному положению дел с охраной труда и безопасной жизнедеятельностью.

Биовоздействие *U* вредного фактора *u* будем считать растущей функцией времени *t* и интенсивности самого фактора *u.* Также она может зависеть от интенсивности другого вредного фактора *V*. Аналогично, для *V*(*t,v,u*).

Защита *z*(t) может управляться программно или адаптивно – в зависимости от величины *u*(t). Стоимость защиты *C*=*C*(*z*) – монотонно растущая функция её интенсивности *z*. В рассматриваемой здесь модели, в отличие от ранее исследованных случаев, вредный фактор является параметром порядка. Он изменяется значительно медленнее, чем на него реагирует защита.

Рассмотрим соответствующую систему дифференциальных уравнений с малым параметром при производной:

$$\begin{cases} u'(t) = \alpha u(t) - \beta z(t)u(t) \\ \varepsilon z'(t) = f(u(t), z(t)) \end{cases}, \tag{1}$$

где $f(u(t), z(t)) = f(u, z)$ – функция, которая может принимать вид:

а) $f(u,z) = \gamma u$;

б) $f(u,z) = \gamma u - \delta z$;

в) $f(u,z) = \gamma_1 u + \gamma_2 u^2 - \delta_1 z - \delta_2 z^2$.

Случай а) тривиален и, исходя из него, $u = 0$, z –любая $z = z_0$.

В случае б) функция $z(t)$ принимает вид

$$z = \frac{e^{t\alpha} z_0 \alpha}{\alpha - z_0\beta + e^{t\alpha} z_0 \beta}, \tag{2}$$

где z_0 – стационарная, то есть постоянно присутствующая часть защиты.

Для случая в), выразив $u(t)$ через $z(t)$, получим $u=\dfrac{-\gamma 1-\sqrt{\gamma_1^{2}+4z\gamma_2\delta_1+4z^2\gamma_2\delta_2}}{2\gamma_2}$ и подставим в дифференциальное уравнение. Оно не имеет решение в элементарном виде – его находим в виде асимптотики по степеням □. Рассчитана стоимость системы защиты для случая (2) в нулевом приближении, т.е. для главного члена асимптотики, при значениях параметров системы: C_0=1200, α=0.2, β=0.2, z_0=12, γ=0.15, δ=2. Для определенности примем ограничение $t=4$ – время установления устраивающего нас состояния, т.е. когда $u \le z_0$.

Стационар (критическая точка) системы (1): $z=1$, $u=4$. Время $t=3$, за которое система перейдет в устраивающее нас состояние ($u \le 12$) является приемлемым для нашего случая. Более того, есть возможность уменьшить затраты на стационарную защиту.