

Н. А. Баранов, И. В. Васильев (Москва, ВЦ РАН, ВУНЦ ВВС ВВА). **Модель динамики рисков, связанных с функционированием сложных технических систем.**

Рассматривается подход, позволяющий учесть динамику изменения риска в процессе жизненного цикла и оптимизировать затраты на обеспечение безопасности, исходя из предельного суммарного риска, реализуемого за время эксплуатации системы. Предполагается, что техническая система является системой многоразового применения и выполняет возлагаемую на нее целевую задачу с интенсивностью $\mu(t)$. Выполнение задачи характеризуется показателем эффективности w , который соответствует прибыли, получаемой в результате выполнения системой своего функционального назначения. Предполагается, что множество состояний системы параметризовано параметром $s \in [0, 1]$.

С вероятностью $\pi_j(\alpha_j Q, s)$ в процессе решения задачи может произойти неблагоприятное событие z_j , где Q — суммарные затраты на создание системы безопасности, а α_j — доля затрат, направленных на предотвращение именно события z_j .

В результате неблагоприятного события z_j система наносит некоторый ущерб l_j . Кроме того, происходит изменение состояния системы: из состояния s она переходит в состояние σ с вероятностью $p_j(s, \sigma)$. Предполагается, что в процессе эксплуатации в силу процессов старения и износа происходят изменения состояния системы с интенсивностью $\lambda(s, \sigma)$.

Тогда изменение вероятности того, что в момент времени t система будет находиться в состоянии s , будет описываться уравнением вида

$$\begin{aligned} \frac{\partial p(s, t)}{\partial t} = & \int_0^s \left[\lambda(\sigma, s) + \mu(t) \sum_{j=1}^n \pi(\alpha_j Q, \sigma) p_j(\sigma, s) \right] p(s, t) d\sigma \\ & - p(s, t) \int_s^1 \left[\lambda(s, \sigma) + \mu(t) \sum_{j=1}^n \pi(\alpha_j Q, s) p_j(s, \sigma) \right] d\sigma. \end{aligned}$$

Изменение текущего ожидаемого суммарного ущерба $R(\alpha, Q, t)$, который связан с функционированием системы, с течением времени описывается уравнением вида $dR(\alpha, Q, t)/dt = \mu(t) \int_0^{s_{\text{lim}}} \sum_{j=1}^n l_j \pi(\alpha_j Q, s) p(s, t) ds$, где s_{lim} — предельное состояние системы, $R(\alpha, Q, t)$, $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$, фактически является текущим (т. е. для текущего времени эксплуатации системы) риском, связанным с эксплуатацией системы по ее функциональному назначению. Суммарный риск, связанный с эксплуатацией системы, за все время эксплуатации системы будет определяться соотношением $R(\alpha, Q) = \lim_{t \rightarrow \infty} R(\alpha, Q, t)$.

В процессе эксплуатации будет изменяться текущая суммарная прибыль: $dW(\alpha, Q, t)/dt = w\mu(t) \int_0^{s_{\text{lim}}} p(s, t) (1 - \sum_{j=1}^n \pi(\alpha_j Q, s)) ds$.

Оптимальный уровень затрат Q^* на обеспечение безопасности и оптимальное распределение α^* этих затрат для решения задач по предотвращению потенциально возможных неблагоприятных событий могут быть найдены в результате решения следующей оптимизационной задачи:

$$(\alpha^*, Q^*) = \arg \max_{\alpha, Q} \left\{ \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{W(\alpha, Q, t)}{Q + R(\alpha, Q, t)} \right\}.$$

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-07-00381) и программы фундаментальных исследований ОМН РАН № 3.