

В.А. Острейковский

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННОГО РИСКА ОТ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рассматривается новая концепция анализа математических моделей вычисления значений техногенного риска от эксплуатации сложных динамических систем. Приведены аналитические зависимости для определения показателей техногенного риска в новой постановке задачи, существенно развивающей подход Ф. Фармера.

Модели, техногенный риск, нефтегазовое оборудование, эксплуатация.

Введение

В связи с тяжелыми техногенными катастрофами последней трети XX — первого десятилетия XXI в. вопросы анализа, оценки и прогнозирования отказов, аварий и катастроф не только не остаются чрезвычайно актуальными, но и могут быть отнесены к числу главных проблем выживания человечества. В этом плане необходимо дальнейшее развитие одного из важных разделов теории безопасности сложных динамических высокоопасных систем — теории техногенного риска.

Как известно, количественное значение риска определяется с помощью выражения $R = Q \cdot C$ [1], где Q — вероятность исходного события и C — последствия (ущерб) от исходного события (отказа, аварии, катастрофы). Этот подход обычно интерпретируется двумерной кривой Ф.-Ф. Фармера (рис. 1). При этом под значением самого риска на понимается значение возможного ущерба « C » при соответствующем значении вероятности q .

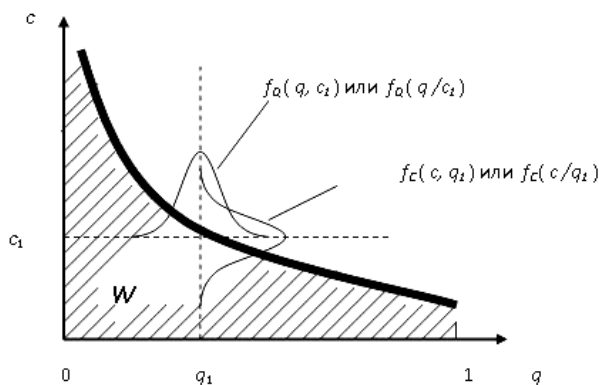


Рис. 1. Развитие модели риска по Ф. Фармеру

Недостатками данного подхода являются: 1) неучет изменения величин во времени; 2) c и q в общем случае являются либо случайными величинами, либо случайными функциями времени (случайными процессами), что и наблюдается при реальной эксплуатации систем.

Обобщенная динамическая модель техногенного риска от эксплуатации системы

Рассмотрим множества: $\mathbf{Q} = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$, $q_i \in \mathbf{Q}$, $i = \overline{1, n}$ — множество возможных вероятностей исходных событий (отказов, аварий, катастроф), $\mathbf{C} = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$, $c_i \in \mathbf{C}$, $i = \overline{1, n}$ — множество последствий (ущерба) от свершения i -тых исходных событий, $t_i \in \mathbf{T}$ — множество моментов времени, $r_i \in \mathbf{R}$ — множество возможных рисков, $\sum_{i=1}^n R_i = \mathbf{R}$.

Очевидно, что

$$\mathbf{R} = \mathbf{H} \{ \mathbf{Q} \times \mathbf{C} \times \mathbf{T} \} \quad (1)$$

или в скалярной форме

$$R(q, c, t) = \sum_{i=1}^n q_i(t) c_i(t), \quad (2)$$

где $\mathbf{H}$ — оператор, реализующий отображение

$$\mathbf{Q} \times \mathbf{C} \times \mathbf{T} \rightarrow \mathbf{R}. \quad (3)$$

Или

$$R(q, c, t) = \mathbf{H} \{ t, t_0, R_0(q_0, c_0, t_0), R(q, c)_{t_0}^t \}, \quad (4)$$

где t — текущий момент времени, в который определяется риск; t_0 — начальный момент наблюдения за состоянием системы, $t \geq t_0$; q_0, c_0, R_0 — соответственно вероятность исходных состояний динамической системы, ущерб и риск в начальный момент времени наблюдения за состоянием системы.

Модели (1)–(4) графически показаны на рис. 2.

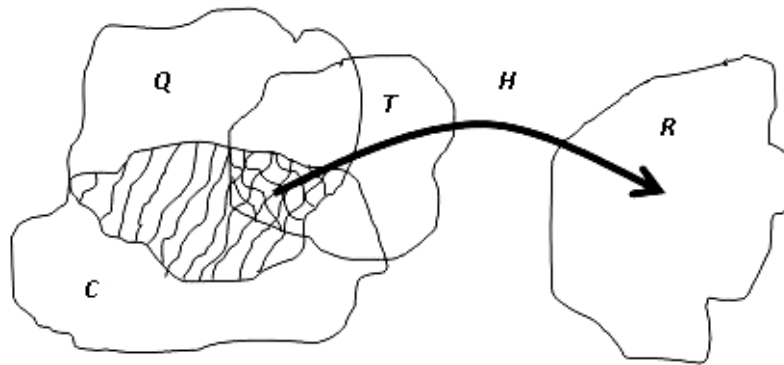


Рис. 2. Графическая интерпретация соотношения множеств риска $\mathbf{R}$, вероятностей исходных событий $\mathbf{Q}$, ущерба $\mathbf{C}$ во времени $\mathbf{T}$ эксплуатации системы

Сложный оператор $\mathbf{H}$ может быть представлен набором более простых операторов

$$\mathbf{H} = \{ \mathbf{H}_j \}, j = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Число m видов оператора $\mathbf{H}$ зависит от сложности системы, взаимодействия подсистем, блоков и элементов в системе (т.е. характера внутренних свя-

зей), влияния внешней среды, количества звеньев в иерархии управления, видов опасностей и угроз и различных других факторов.

В частности, возможны следующие случаи.

Случай 1. Вероятности исходных событий q_i и ущерб c_i являются случайными и независимыми величинами. Тогда риск R определяется классическим способом по Ф. Фармеру:

$$R = H_1\{q, c\} = \sum_{i=1}^n q_i c_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Случай 2. Вероятности исходных событий q_i и ущерб c_i являются независимыми случайными величинами [2], задаваемыми в общем случае своими законами распределения $f_Q(q/c_i)$ и $f_C(c/q_i)$, как показано на рис. 1. Тогда

$$R = H_2\{q, c\}$$

и

$$F_R(r) = \iint_{W_1} f_{QC}(q, c) dq dc = \iint_{W_1} f_Q(q) f_C(c) dq dc, \quad (7)$$

где $F_R(r)$ — функция распределения риска, W_1 — область определения, задаваемая как

$$W_1: \begin{cases} 0 \leq q \leq 1, 0; \\ 0 \leq c \leq c_{\max}. \end{cases} \quad (8)$$

Случай 3. Вероятности исходных событий q_i и ущерб c_i являются зависимыми случайными величинами с функцией связи $Q = \alpha(c)$. Тогда

$$R = H_3\{q, c/q\}$$

и

$$F_R(r) = \iint_{W_2} f_{Q/C}(q, c) dq dc = \int_0^{\infty} \int_0^{\alpha(c)} f_Q(q) f_C(c) dq dc, \quad (9)$$

по области интегрирования

$$W_2: \begin{cases} 0 \leq q \leq \alpha(c); \\ 0 \leq c < \infty. \end{cases}$$

Случай 4. Вероятности исходных событий и ущерба являются случайными функциями времени (случайными процессами), в общем случае как зависимыми, так и независимыми.

Тогда для независимых случайных процессов с распределениями $f_Q(q, t)$ и $f_C(c, t)$

$$R = H_4\{q, c, t\}$$

$$F_R(r) = \iint_{W_3} f_Q(q, t) f_C(c, t) dq(t) dc(t). \quad (10)$$

Возможны и другие формы взаимосвязи между множествами Q , C и T , например такие как учет предыстории во времени значений техногенного риска и т.д.

Опыт вычисления значений техногенного риска показывает, что определение ущерба $C_i(t)$ принципиальных трудностей не содержит, за исключением организационных, связанных с субъективными факторами. Большинство проблем возникает при определении значений вероятностей исходных событий отказов, аварий и катастроф. К настоящему времени в теории безопасности разработаны и широко применяются на практике для оценки $q_i(t)$ разнообразные логико-вероятностные модели на основе методов типа «дерево отказов» — «дерево событий», схем функциональной целостности, общего логико-вероятностного, топологических, логико-графических и других методов. Многие из этих моделей теоретически описаны в отечественной и зарубежной литературе. Большинство из них максимально автоматизированы, доведены до реализации на ЭВМ [1, 3] и рекомендованы многими национальными и международными организациями для практических расчетов при выполнении вероятностного анализа безопасности сложных высокоответственных динамических систем. Однако при подавляющем числе логико-вероятностных методов расчет безопасности и риска выполняется с использованием характеристик надежности оборудования в виде вероятности или интенсивности отказов, а это связано с решением таких непростых задач, как высокая надежность оборудования, малое число отказов, неоднородность и усеченность выборок, разнородность элементной базы, различие технологических схем и т.д.

При получении характеристик надежности для элементов оборудования с сосредоточенными параметрами проблем существенно меньше, чем для систем с распределенными параметрами. В нефтегазовой отрасли к такому типу оборудования прежде всего относится линейная часть нефтегазопроводов.

На кафедре информатики и вычислительной техники Сургутского государственного университета накоплен большой опыт по определению характеристик надежности протяженных нефтепроводов.

Так, предложено несколько моделей для расчета вероятности исходных событий разрывов трубопроводов с использованием многолетних статистических данных и различных моделей типа «нагрузка — несущая способность», моделей складки и сборки теории катастроф [1, 4, 5]. Например, вероятность исходного события разрыва нефтепромыслового трубопровода с учетом длины отказавшего участка при фиксированном количестве отказов предлагается рассчитывать по формулам

$$Q_1(n, l, t) = \frac{l \sum_{k=1}^{t/\Delta t} n_k}{L_0(t)}, \quad (11)$$

$$Q_2(n, l, t) = \left(\frac{l \sum_{k=1}^{t/\Delta t} n_k}{L_0(t)/l_3} \right)^{l/l_3}, \quad (12)$$

где $L_0(t)$ — суммарная протяженность нефтепровода, участвующего в выборке;

l — протяженность отказавшего участка трубопровода;

l_3 — длина элемента трубопровода, подвергнутого восстановлению;

n_k — число отказов трубопроводов за промежуток времени от $t - \Delta t/2$ до $t + \Delta t/2$;

t — время, для которого определяется вероятность исходного события.

Для расчета риска обычно используются классические законы распределения случайных величин Q и C : Вейбулла — Гнеденко, Рэлея, усеченный нормальный, Стюдента, экспоненциальный, гамма-распределение.

Заключение

Предложенный в данной работе оригинальный подход к определению значений техногенного риска систем позволяет эффективно оценивать большой спектр характеристик риска при анализе техногенной безопасности структурно и функционально сложных высокоопасных динамических систем, к которым относится и оборудование нефтегазовой отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Острейковский В.А., Швыряев Ю.В.* Безопасность атомных станций: Вероятностный анализ. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 352 с.
2. *Королев В.Ю., Бенинг В.Е., Шоргин С.Я.* Математические основы теории риска: Учеб. пособие. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 544 с.
3. *Острейковский В.А., Генюш А.О., Шевченко Е.Н.* Математическое моделирование техногенного риска: Учеб. пособие. Сургут: ИЦ СурГУ, 2010. 83 с.
4. *Острейковский В.А.* Анализ устойчивости и управляемости динамических систем методами теории катастроф. М.: Высш. шк., 2005. 326 с.
5. *Острейковский В.А.* Теория надежности: учеб. для вузов. 2-е изд. М.: Высш. шк., 2008. 463 с.

V.A. Ostrejkovsky

A MATHEMATICAL SIMULATION OF A TECHNOGENIC RISK RESULTING FROM THE OPERATION OF OIL AND GAS EQUIPMENT

The article considers a new concept analyzing mathematical models on computing values of a technogenic risk resulting from the operation of complex dynamic systems. The author provides analytical dependences to determine indexes of a technogenic risk in a new statement of the problem, which considerably develops an approach by F. Farmer.

Models, technogenic risk, oil and gas equipment, operation.