

Определение безопасности сложной технической системы на основе измерения и наблюдения её параметров. Обобщённый показатель безопасности

Н. А. Северцев

*Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН
ул. Вавилова д. 40, Москва, 119333, Россия*

В статье даётся методологический подход к обоснованию безопасности системы на основе измерений и наблюдений её параметров в результате воздействия внешних и внутренних сил. В процессе работы сложной технической системы в результате воздействия на неё внутренних и внешних сил (нагрузки) изменяются физико-механические и технические свойства конструкций (материалов), из которых создана сложная техническая система и её составляющие (элементы, агрегаты, модули).

Изменение физико-механических или технических свойств может носить как обратимый, так и необратимый характер, а главное — эти изменения приводят к появлению постепенных (износных) отказов или, в аварийном случае, к мгновенным отказам составляющих, входящих в сложную техническую систему. Эти отказы характеризуют надёжность системы, а силы, приводящие к таким последствиям, являются внутренними.

Воздействие на систему внешних сил, особенно целенаправленных или вызванных ошибками оператора, управляющего эксплуатационными процессами в сумме с внутренними, влияет на безопасность работы исследуемой сложной технической системы.

В статье представлено состояние динамической системы по разработанной модели вектора параметров системы и вектора фазовых координат. Показана необходимость выбора измеряемых параметров системы для оценки состояния управления. Дана формулировка безопасности системы и формализация количественной оценки безопасности.

Ключевые слова: измерение, наблюдение, безопасность, отказ, фазовые координаты, параметры, сложная техническая система, множество, вероятность, управление, эксплуатационные процессы.

При внешнем и внутреннем воздействии обратимые изменения сложной технической системы обуславливают случайные флуктуации в процессе работы, необратимые, как правило, носят однонаправленный характер и называются старением или износом. Старению или необратимым изменениям свойств подвержены все объекты (системы) природы: как рукотворные, так и природные. Если эксплуатация системы ведётся до наступления предельного состояния, то неизбежно возникает её отказ, и в этом смысле при $t \rightarrow \infty$ появление отказа — событие достоверное. Если изменение свойств исследуемой системы, которое определяет целевое назначение системы, следует ожидаемому закону изменения, то такая система может обладать высокой надёжностью, если правильно выбрать интервалы времени её эксплуатации и обоснованно назначить допустимое значение.

Динамические процессы во время эксплуатации СТС (особенно спецназначения) являются наиболее опасными с точки зрения их управления при использовании по назначению. Следует заметить, что при организации контроля в функции оператора (обслуживающего персонала) входит наблюдение за качеством технологического процесса на режимах работы СТС. На динамических режимах и наблюдение, и управление технологическими процессами производятся системами автоматического управления, включая и адаптивные при смене некоторых параметров СТС в результате совокупности различных по физическому происхождению воздействий.

Состояние динамической СТС управления можно представить моделью в виде уравнений динамики:

$$X = \Psi [t, x(t), u(t)], \quad (1)$$

где x — n -мерный вектор фазовых координат, определяющий состояние системы управления и принадлежащий некоторому открытому множеству, u — r -мерный

вектор управления, принадлежащий множеству v ; t – текущее время, находящееся в промежутке $T = [t_0, t_1]$. Оценка текущего состояния СТС управления (1) будет осуществляться с помощью m -мерного вектора наблюдения, принадлежащего множеству Y .

$$Y(t) = C [t, x(t), u(t)] \quad (2)$$

Здесь C – оператор, отражающий конструкции СТС и измерительных устройств.

Из уравнений (1), (2) следует, что состояние динамической системы характеризуется параметрами и наблюдается M контролируруемыми величинами.

Возникает новая задача. Необходимо обосновать выбор измеряемых параметров, применимых для оценки состояния СТС управления. Для динамических систем вооружения проблема наблюдаемости состоит в том, чтобы по результатам измерения параметров в настоящий момент восстановить состояние СТС в прошлом для принятия решения об управляющем воздействии на неё. СТС считается наблюдаемой, если выполняются условия необходимости и достаточности наблюдаемого вектора $Y(t)$ для оценки состояния динамической СТС (2) в определённый момент времени. Эти условия называются условиями наблюдаемости. Данные условия существуют в том случае, если по зависимости (2) для выбора наблюдения $Y(t)$ на отрезке $[t_0, t_1]$ восстановить состояние СТС $x(t_0)$ в начальный момент времени t_0 . Условия достаточности наблюдения определяются теоремой о минимальном числе контролируемых параметров динамической СТС специального назначения.

Минимальное число входов наблюдаемой СТС равно числу нетривиальных инвариантных многочленов транспонированной матрицы [1]. Эти условия устанавливают возможность оценки состояния СТС по наблюдениям в определённой системе координат с минимальным базисом, но не позволяют выявить наилучший из возможных вариантов. Для того чтобы СТС была наблюдаема, необходимо и достаточно, чтобы система уравнений, описывающая процессы, происходящие в ней, могла быть разрешима относительно всех переменных. Для этого количество входящих в систему уравнений величин прямого измерения было равно разности количества всех переменных, входящих в систему уравнений, и числа этих уравнений, т.е. $m = n - h$, где m – минимальное количество параметров непосредственного измерения, n – общее количество переменных в уравнениях вида (2) и числа этих уравнений.

Однако выбор возможен только в том случае, когда количество непосредственно измеренных параметров K больше минимально необходимого количества m . Максимальное количество ℓ таких групп будет в том случае, когда непосредственно можно измерить любой параметр состояния исследуемой системы, который будет определяться числом сочетаний C_k^m , т.е. $\ell = \frac{K!}{m!(k-m)!}$. Ввиду того, что выбираемая группа содержит минимальное количество параметров, а критерий набора имеет максимальное или минимальное значение, можно утверждать, что производится выбор оптимальной совокупности контролируемых параметров системы для управления и обеспечения безопасности.

В аспекте управления СТС вооружения возникает проблема учёта риска при использовании системы по назначению. Учёт риска в этом случае следует рассматривать как специфическую форму управленческой деятельности, которая реализуется лицом, принимающим решения (ЛПР) в различных условиях – определённости, неопределённости, конфликта, отсутствия информации. В любом случае важно иметь количественную оценку безопасности того процесса или системы, который представляет опасность для достижения цели системой.

По нашему мнению, в общем случае, риск следует измерять единицами ущерба, а если тяжесть конкретного ущерба или характер неблагоприятного состояния предварительно можно количественно прогнозировать, то риск оценивается по формуле:

$$K = HQ = H(1 - p), \quad (3)$$

где Q – вероятность возникновения неблагоприятного события; p – вероятность благоприятного события; H – ущерб неблагоприятного события.

Если несколько неблагоприятных событий в системе или процессе с разными вероятностями или величинами ущерба от i -го неблагоприятного события $i = 1, N$, то показатель риска может описываться следующим выражением:

$$K = \sum_{i=1}^N H_i(1 - p_i), \quad (4)$$

где N – количество неблагоприятных событий; H_i – ущерб от неблагоприятного i -го события; при этом условие $\sum p_i = 1$ выполняется.

Задача управления риском – это разработка целей и планов действий при принятии решений по снижению и контролю рисков. Управление риском – это действие в условиях опасности, неопределённости и случайности. Иначе – это процесс определённого использования воздействий на систему или процесс с целью снижения различных видов риска в условиях ограниченных возможностей, предусмотренных при проектировании СТС вооружения.

Управляемый риск обеспечивает такой уровень безопасности обслуживающего персонала, населения и окружающей среды, какой только достижим в существующих условиях при заданной степени риска. Вторым критерием безопасности применения СТС по назначению может являться коэффициент безопасности, учитывающий то, что причинение ущерба происходит в течение некоторого времени.

Это означает отношение периода безопасности к стоимости ущерба [2]:

$$U = \frac{T}{H}, \quad (5)$$

здесь T – доля периода безопасности, приходящаяся на единицу ущерба, нанесённого неблагоприятным событием. Коэффициент безопасности измеряется в единицах безопасности.

$$\text{Единица безопасности} = \frac{\text{Единица времени}}{\text{Единица стоимости ущерба}}.$$

Например, время безопасной работы атомной станции составляет более 10 лет, после этого произошла авария, которая нанесла ущерб величиной 10^9 рублей. Тогда коэффициент безопасности составляет $S = 10^{-4}$ час/руб.

Наш подход определения безопасности следующий. Безопасность – это отсутствие риска угрозы распада объекта (системы) в условиях ограниченных неблагоприятных событиях её функционирования в заданное время.

Количественная мера определения (оценки) безопасности функционирования системы состоит в том, что выделяется множество неблагоприятных значений вектора параметров исследуемой системы и вектора фазовых координат $\Omega_{\text{ОП}}$. Тогда обобщённым показателем безопасности функционирования системы является вероятность того, что в процессе выполнения операции – целевого назначения системы на интервале времени $[0, T]$, вектор параметров системы и вектор её фазовых координат не будут принадлежать множеству опасных событий Ω .

$$P_{\text{без}} = P(q, x) \in \Omega_{\text{ОП}} \quad \forall \tau \in [0, T], \quad (6)$$

здесь q – вектор параметров системы; x – вектор фазовых координат.

Вероятность безопасного функционирования системы в процессе выполнения операции будет определяться через вероятность выполнения требований по безопасности в каждый момент времени τ , т.е. вероятность того, что в момент времени τ вектор параметров системы и вектор её фазовых координат не будут принадлежать множеству $\Omega_{\text{ОП}}$:

$$P_{\text{бП}}(\tau) = P((q(\tau), x(\tau)) \in \Omega_{\text{ОП}}). \quad (7)$$

В свою очередь вероятность выполнения требований по безопасности в каждый момент времени определяется через плотность распределения $P(q, x, \tau)$ значений параметров и вектора фазовых координат системы в момент времени τ :

$$P_{\text{бп}}(\tau) = 1 - \int P(q, x) dq dx. \quad (8)$$

Рассматривая возникновение опасностей как пуассоновский поток событий, получим, что вероятность безопасного функционирования системы в процессе выполнения операции в виде:

$$P_{\text{бп}} = 1 - \exp \left(- \int_{v(q,x) \in \Omega_{\text{оп}}} \int_0^{T_2} P(q, x, \tau) dq dx d\tau \right). \quad (9)$$

Итак, уровень безопасности определяется вероятностью возникновения опасной ситуации, которая характеризуется тем, что параметры системы и вектор её фазовых координат в некоторый момент времени принадлежат множеству $\Omega_{\text{оп}}$.

Литература

1. Баранов Н. А., Северцев Н. А. Основы теории безопасности динамических систем. — ВЦ РАН, 2008. [Baranov N. A., Severcev N. A. Osnovih teorii bezopasnosti dinamicheskikh sistem. — VC RAN, 2008.]
2. Дивеев А. И., Северцев Н. А. Универсальные оценки безопасности. — М.: РУДН, 2005. [Diveev A. I., Severcev N. A. Universaljnihe ocenki bezopasnosti. — М.: RUDN, 2005.]

UDC 681.5.09

Determining the Safety of Complex Technical Systems on the Basis of Measurements and Observations of its Parameters. Generalized Measure Security

N. A. Severtsev

This article is based on a methodical approach to safety analysis report system based on measurements and observations of its parameters as a result of the impact of external and internal forces. During operation of a complex technical system physical, mechanical and technical properties of its structures (materials) and its components (elements, assemblies, modules) are changing.

Change the physic-mechanical or technical properties can be both reversible and irreversible, and these changes give rise to incremental (wear) failure or in emergency cases to the instantaneous hald of components of the complex technical system. These failures characterize the reliability of the system, and the forces that lead to such consequences are internal.

The impact of external forces on the system, especially targeted or erroneous from the operator (Manager of operational processes) in the amount of internal influence on safety of the work of analyzing complex technical systems. This paper presents the status of the dynamic system of the developed model of the vector and vector phase system parameters. Shows the choice of measured parameters to assess the State of the control system. Given the wording of the security of the system and the formalization of measuring security.

Key words and phrases: measurement, monitoring, security, failure, phase coordinates, parameters, complex technical system, a set, probability, management, operational processes.