

Ф.о.д.н. 18-20 Май, 8

**О ПРЕДЕЛЬНОМ ЗАКОНЕ ЖИВУЧЕСТИ
С УЧЕТОМ ПОМЕХОСТОЙЧИВОСТИ**

Д.-Ф.-М.Н., проф. **Ф.А. Мкртчян**
(Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН)

**ON THE LIMITING LAW OF SURVIVABILITY
WITH ACCOUNT TO NOISE IMMUNITY**

F.A. Mkrtyan

Сложная система, живучесть, надежность, управляемость, помехостойчивость, осуществимость, потенциальная эффективность.

Complex system, survivability, reliability, controllability, noise immunity, feasibility, potential efficiency.

Рассмотрены основные проблемы живучести сложных систем. Особенено со временем состояние теории живучести сложных систем. Приведены особенности оценки живучести сложных систем.

В работе рассматриваются сложные системы сразу по трем качествам RCI. R-качество (надежность), С-качество (управляемость) и I-качество (помехостойчивость). Доказывается предельный закон живучести с учетом помехостойчивости. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-01-00213а.

The main problems of survivability of complex systems are considered. The modern state of the theory of survivability of complex systems is covered. The features of the estimation of the survivability of complex systems are given.

In this work, complex systems are considered at once for three RCI qualities. R-quality (reliability), C-quality (controllability) and I-quality (noise immunity). The limiting law of survivability is proved with allowance for noise immunity. The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of the scientific project No. 16-01-00213a.

Введение

В последние годы наблюдается значительное повышение интереса к свойству живучести сложных систем, как в теоретическом, так и в практическом отношении. Обусловлено это в первую очередь возможностью масштабом и уровнем сложности систем, что приводит к увеличению возможности «котказов» системы. В случае отказа работы системы, процесс её восстановления представляет собой трудоемкий процесс, поэтому уменьшение возможности отказов системы является одной из основных задач, которые ставятся при проектировании сложных систем. Остается так же актуальной и проблема рационального и оптимального задействования сохранившихся в системе ресурсов направленных на выполнение жизненно важных функций системы после интенсивного воздействия на нее. Решение этой проблемы требует от системы новых качеств, которыми она может и не располагать, если спроектирована для работы только в нормальных условиях эксплуатации.

Учитывая вышеназванные проблемы, к свойству живучести и его особенностям ширококо применяемым в создании сложных систем различного назначения, предъявляются ряд особых требований, которые касаются как структурной, так и функциональной части сложных систем. Требования к структурной составляющей, сводятся к выявлению уязвимых мест в топологии системы и определению степени их влияния на целостность системы, требования к функциональной составляющей сводится к определению способности системы решать стоящие перед ней задачи при изменяющихся возможностях ее элементов.

Как известно [3-6], система A при фиксации ее цели \mathcal{A} определяется своей структурой $/A$ и поведением \bar{A} : $A = (\mathcal{A}, /A, \bar{A})$.

Целью системы является достижение определенного предпочтительного состояния. Рассматривается открытая система, т.е. система, взаимодействующая со средой B . Вообще говоря, можно рассматривать среду как систему B со своей целью B , структурой $/B$ и поведением \bar{B} : $B = (\mathcal{B}, /B, \bar{B})$.

Поведение системы A и B , вообще говоря, могут способствовать или препятствовать достижению чужих целей. В первом случае пару систем можно рассматривать как одну систему с общей целью, взаимодействующую со средой. Во втором случае будем говорить о конфликтной ситуации. Если не имеет места ни тот, ни другой случай, то будем говорить об индифферентной ситуации и лишь в этом случае одна систему по отношению к другой будем называть средой. В последнем случае среда может оказывать непреднамеренное мешающее воздействие на систему. Это воздействие обычно называют шумом.

Функционирование открытых систем можно представить себе как серию обменов некоторых количеств и расходуемых ресурсов на некоторые количества потребляемых ресурсов. Будем называть это (u, v) -обменом.

Если характеризовать состояние системы величинами пары параметров u и v , то целью системы может являться выгодный (u, v) -обмен. Под последним можно понимать получение как можно большего количества v за фиксированное количество u или, что то же, отдача как можно меньшего количества u за фиксированное количество v . Последнее зависит от величины u , структуры и поведения системы A и B :

Как правило, взаимодействие систем A и B носит стохастический характер и поэтому можно говорить лишь о некоторой вероятности $P(u, v)$ достижения системой A своей цели \mathcal{A} (выгодного (u, v) -обмена) $P(u, v)=P(\mathcal{A})$.

При больших значениях u (им соответствуют большие значения v) величина $P(u, v)$ имеет следующее асимптотическое поведение:

$$P(u, v) \approx \begin{cases} 0 & \text{при } v > v_0, \\ 1 & \text{при } v < v_0, \end{cases} \quad (1)$$

где фундаментальная константа v_0 определяется следующими соотношениями:

$$v_0 = \begin{cases} v(u, A_0, B) & = \max_{A \in U} v(u, A, B) \quad \text{в индеферентной ситуации,} \\ v(u, A_0, B) & = \max_{A \in U} \min_{B \in V} v(u, A, B) \quad \text{в конфликтной ситуации,} \end{cases} \quad (2)$$

Соотношения (1) и (2) можно рассматривать как общую форму предельного закона (u, v) -обмена для решающей системы. Закон устанавливает пределы ее эффективности (она не может рассчитывать получить величину $v > v_b$, где v_b определяет ее потенциальную эффективность. Впрочем терминологически удобно эффективностью называть саму вероятность $P(u, v)=P(\mathcal{A})$, так как в теории надежности она называется надежностью, в теории потенциальной помехоустойчивости – помехоустойчивостью, в то время как величина v_b в теории информации с пропускной способностью, а в теории игр с величиной игры.

Целостная система \mathcal{A} обладает различными качествами. Множество, которых обозначается $\Xi = \{\chi\}$, а ее элементы χ называются X – качествами. Например, в [4] надежность называется R – качеством, помехоустойчивость I – качеством, управляемость C – качеством, а самоорганизация L – качеством.

Сложную систему можно рассматривать сразу по нескольким качествам. Целообразность таких рассмотрений объясняется тем, что исследование системы \mathcal{A} по отдельным ее качествам предполагает, ее идеальность по другим качествам и поэтому приводит лишь к завышенным оценкам эффективности целостной системы \mathcal{A} . Например, при установлении пределов помехоустойчивости (I – качество) системы \mathcal{A} молчаливо предполагается ее идеальная надежность (R – качество).

При установлении пределов управляемости (C – качество) предполагается ее идеальная надежность (R – качество) и информированность о имеющемся состоянии среды или другой системы (I – качество). Все эти качества исследуются в классических разделах кибернетики – теориях надежности, информации и игр. Для более реалистических оценок целесообразно совместное рассмотрение этих качеств.

Понятие живучести

Кроме естественного старения рабочих элементов системы, связанного с их собственным функционированием, они могут подвернуться внезапному вредному воздействию некоторых активных агентов внешней среды.

Для повышения надежности технических систем в их структуру вводят избыточность дублированием рабочих элементов. При этом поведение системы остается пассивным по отношению к своим рабочим элементам, так и по отношению к вредным воздействиям внешней среды. Кроме дублирования для повышения надежности системы можно ввести в ее структуру высоконадежные защитные элементы. С их помощью иерархически организованной структуре системы удается, как правило, заблаговременно обнаружить приближающуюся разладку рабочих элементов и восстановить их [1–4]. При этом поведение системы активно по отношению к своим рабочим элементам, но пассивно к вредным воздействиям внешней среды.

Рассмотрим тот случай, когда защитные элементы выступают как активные внешние агенты системы, подавляющие или нейтрализующие вредные воздействия внешней среды. Таким образом, поведение системы будет активно по отношению к внешней среде и поэтому лишь косвенно касаться рабочих элементов. Учет возможности подавления вредных воздействий внешней среды защитными элементами, а также их уязвимости наряду с рабочими элементами приводит к теоретико-игровым постановкам задач, так как приходится рассматривать случаи наиболее неблагоприятного воздействия внешней среды на систему. Рассмотрим также ситуаций не обязательно связано с предположением о преднамеренных действиях внешней среды. Как правило, мы просто не знаем о возможных ее дей-

ствиях и вынуждены для гарантированных заключений ориентироваться на наиболее неблагоприятные среди них по отношению к системе. Таким образом, рассматривается некоторое новое качество системы, совмещающее в себе наряду с надежностью (R – качество) еще и внешнюю активность (C – качество) для ее поддержания (RC – качество).

Впервые такое совместное рассмотрение сразу двух качеств R и C было проведено в работах [3–5]. Рассмотрение RC – качества системы \mathcal{A} связано с его надежностью в случае конфликтной ситуации между ней и средой B . Это некоторое новое качество, совмещающее в себе наряду с надежностью (R – качество) еще и внешнюю активность (C – качество) для ее содержания. RC – качество системы получило специальное название живучести [3–5]. Для него в работе [2] был найден предельный закон так называемого (u, v) – обмена. Это качество было тщательно исследовано в работах [3–6]. Доказательство предельного закона живучести дано в работе [4]. Здесь мы рассмотрим этот закон в более общем случае, когда одновременно с RC – качеством системы рассматривается и I – качество в том смысле, что из-за непрерывных шумов среды B может различать сохранившиеся и выпадающие из строя R – элементы системы лишь с вероятностью p_I .

Для доказательства предельного закона живучести с учетом помехоустойчивости введем некоторые понятия и обозначения. Рассматривается следующее взаимодействие системы \mathcal{A} со средой B .

Система $\mathcal{A}(\mathcal{A}_{KC})$ состоит из $n_c(0)$ рабочих элементов (a – элементов), $n_a(0)$

защитных элементов (R – элементов). Среда B имеет $n_c(0)$ активных элементов (c – элементы), подавляющих a и R – элементы системы. По определению для выведения из строя системы \mathcal{A}_{KC} среде B требуется вывести из строя не менее θ_{a^-} и долю ее рабочих элементов (a – элементов).

Мы рассматриваем только уязвимые системы, т.е. такие, для которых по определению $n_c(0) > \theta_a n_a(0)$. Если $n_c(0) \leq \theta_a n_a(0)$ система называется не уязвимой, где $0 \leq \theta_a \leq 1$.

Пусть среда B имеет $m_a c$ – элементов, которые она направляет на выведение из строя a – элементов системы \mathcal{A}_{KC} ($m_a \leq n_c(0)$). Если система \mathcal{A}_{KC} уязвима, то всегда можно иметь значение m_a такое, что $m_a > \theta_a n_a(0)$.

В работе [4] вводится коэффициент $\theta_{KC} = \theta_a n_a / m_a$, называемый коэффициентом неуязвимости системы \mathcal{A}_{KC} , ($\theta_{KC} < 1$).

Трех шаговая стратегия среды

В отличие от случая \mathcal{A}_{KC} системы работы [4], в нашем случае системы \mathcal{A}_{KC} мы рассматриваем 3-х шаговую стратегию среды B .

I шаг. Среда B из общего числа $n_c(0)$ своих c – элементов m'_a направляет на выведение из строя защитных элементов системы \mathcal{A}_{KC} . В соответствии с предположениями работы [4], появление c – элемента вызывает защитные действия всех $\theta_{n_a}(t)$ – элементов ($0 \leq t \leq T$), находящихся в его ε – окрестности. Рассматривается случай, когда действия R – элементов происходят независимо друг от друга, при-