



Аль-Азави Рази
Джабур

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙ И ИХ ЛИКВИДАЦИИ В ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Рассмотрены системы типа «человек-машина-среда» с защитой от стихийных и техногенных бедствий с различными видами интенсивности, как с классическим простейшим потоком, так и с нестабильным источником. Процесс ликвидации аварии во всех моделях происходит в несколько этапов, с различными интенсивностями и возможными многократными повторениями этапов в случае «мульти-катастроф».

Ключевые слова: цепь Маркова, уравнения Колмогорова, максимальная энтропия

1. Введение

За последние десять лет системы типа «Человек-Машина-Среда» (ЧМС), часто называемые также «эргатическими», выделились в особый класс, включающий некоторые важные системы экономики, экологии, военного дела и безопасной жизнедеятельности. Эти элементы всегда входили в большинство кибернетических систем, но рассматривались только с точки зрения автоматизированного управления, с применением ограниченного круга методов исследования, например, СМО и теория надежности. В настоящее время наиболее актуальными из ЧМС являются системы с защитой и восстановлением работоспособности в результате действий оператора. Они составляют отдельный класс систем, в большинстве случаев обладают Марковским свойством, но не могут быть полностью описаны с помощью методов СМО (за неимением такого понятия как «очередь») или теории надежности (отсутствует понятие «резерва»). Проблема, следовательно, актуальна, как с теоретической, так и с практической точек зрения.

2. Постановка проблемы и анализ литературы

Рассматривается замкнутая система типа «человек-машина-среда», в которой имеется, в общем случае, возможно, нестационарный источник событий, влияющих на работу подсистемы «машина» и здоровье подсистемы «человек», задача которого эту аварию, либо катастрофу, ликвидировать [1 – 10]. Использован подход, который может быть уподоблен подходу термодинамики, а именно, мы хотим описывать поведение сложных систем с помощью макроскопических наблюдаемых величин. Методом для достижения этой цели послужит принцип максимума информационной энтропии, разработанный в совершенно общем виде Джейнсом [9]. Трудность проблемы обобщения этого принципа на системы, далекие от теплового равновесия, и на нефизические системы, кроется именно в адекватном выборе ограничений [10].

В качестве базовой модели для всей системы «человек-машина-среда» использованы системы с Марковским свойством [2] и, возможно, переменными интенсивностями событий [7]. Продуктивность такого подхода подтверждается тем, что формулы типа Эрланга для переменного времени обслуживания в СМО доказаны и применяются уже полвека [2].

В данной работе цель и задачи исследования состоят

в определении вероятностей состояний, и характеристик системы ЧМС с защитной подсистемой в целом.

Для достижения этой цели решены следующие задачи:

- исследование устойчивых стационарных решений динамики систем с защитой и переходных процессов в них;
- проведение численных экспериментов для получения вероятностей состояний в ЧМС-системах различной структуры.

Методы исследования включают теорию Марковских цепей с дискретным пространством состояний и непрерывным временем, решение систем дифференциальных уравнений Колмогорова и алгебраических систем для предельных вероятностей, а также численный анализ.

3. Статическая модель

Рассмотрим команду профессионалов, которые ликвидируют некоторое повреждение в подсистеме «Машина» за n этапов (рис. 1). Не нарушая общности, пусть $n=3$.

Система в данной постановке полностью статическая и цепь дискретна, как по состояниям, так и по времени.

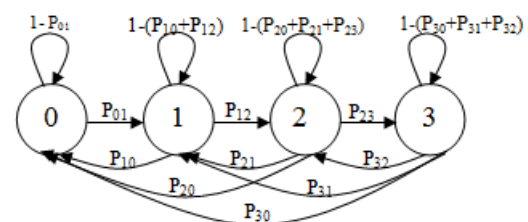


Рис. 1. Граф-схема состояний восстановления системы за три этапа

Матрица вероятностей переходов такой системы приведена в работе [6].

Вероятности P_{01} и вероятности всех «обратных» переходов P_{32} , P_{31} , P_{21} (рис. 1) являются наблюдаемыми переменными, и определяются частотой и мощностью аварии, а все остальные – управляемыми.

Как следует из теории Марковских эргодических цепей, матрица переходов для такой ЧМС за k шагов – P_k – быстро сходится, в частности, с пригодной для практических целей погрешностью в 1% – при $k < 10$ (по результатам численной прогонки для 10-ти реальных систем). В пределе – это стохастическая матрица с одинаковыми строками.

Предельные вероятности состояний определяют среднее нормированное время нахождения в данном состоянии, а следовательно, и стоимость (ущерб) от аварии и её ликвидации в целом, как математическое ожидание. Если для управляемых параметров вероятности переходов заданы как функции затрат на защиту, то естественно возникает задача об оптимизации общих средних потерь в результате аварии при заданных C_i - удельных стоимостях состояний: $Z = \sum_i C_i P_i$.

Такая задача минимизации затрат линейна по не известным вероятностям состояний, однако они не являются независимыми переменными. Их зависимость от управляемых переменных – переходных вероятностей матрицы P есть полиномы k -й степени. Функция и ограничения при этом не выпуклы. Численными методами удается найти несколько локальных минимумов.

Другая задача оптимизации, основанная не на стоимости процесса, а на внутренних особенностях системы ЧМС, предложена в работе [8]. Она использует энтропийный подход [9, 10].

$$S_i = -\sum P_i \ln P_i \rightarrow \max, \sum P_i = 1, 0 < P_i < 1. \quad (1)$$

Функция S_i сепарабельна, выпукла вверх по каждой переменной, а значит, максимум на выпуклой области единственный.

Полученный в [8] результат для энтропии и вероятностей состояний здоровья оператора, ликвидирующего аварию: $\{1.02, \{p_1 \cong 0.51, p_2 \cong 0.34, p_3 \cong 0.18\}\}$, по крайней мере, не противоречит здравому смыслу. Однако, ввиду незамкнутости подсистемы «человек», правомерность применения здесь принципа максимума энтропии не может быть строго доказана [9]. В нашем случае система замкнута, но сложная зависимость от $P(p_{ij})$ делает задачу много-экстремальной.

4. Модель системы ЧМС с переменной интенсивностью аварий

Здесь для модели из [6] рассмотрены случаи потоков Пуассона для событий–аварий с переменной интенсивностью $\lambda(t)$ двух типов: имеющие предел при $t \rightarrow \infty$ и периодические. Основываясь на теоремах Флоке-Ляпунова, показано, что в большинстве важных неавтономных систем Колмогорова усредненные вероятности состояний

$\frac{1}{T} \int_0^T P_i(t) dt$ можно получить с удовлетворительной точностью по формулам стационарных вероятностей для усредненных интенсивностей $\lambda_0 = \frac{1}{T} \int_0^T \lambda(t) dt$ (табл. 1).

Таблица 1

Пример результатов усредненных вероятностей состояний

$\lambda(t)$	$\bar{\lambda}$	P_0	P_1	P_2	P_3
$0.5+0.15\sin(t)$	0.514	0.0267	0.135	0.277	0.563
$0.5+0.5\sin(t)$	0.572	0.021	0.121	0.27	0.588
$\lambda_0 + \sin^2(t)$	0.519	0.026	0.134	0.276	0.565

5. Выводы

Для стационарной задачи устранения аварий в самом общем виде описана постановка задачи оптимизации на цепи Маркова – минимизации затрат на защиту и средних убытков от аварии.

Полученные в результате численных экспериментов временные зависимости для вероятностей состояний позволяют определить время установления динамических процессов в системе ЧМС с нестационарными потоками аварий и показать правомерность оценки осредненных вероятностей состояний по средним интенсивностям событий.

Литература

1. Арнольд, В. И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели [Текст] / В. И. Арнольд. - М.: МЦНМО, 2000. - 32 с.
2. Вентцель, Е. С. Исследование операций [Текст] / Е. С. Вентцель. - М.: Советское радио, 1972. - 552 с.
3. Хинчин, А. Я. Работы по математической теории массового обслуживания [Текст] / А. Я. Хинчин; под ред. Б. В. Гнеденко. - М.: Физматгиз, 1963. - 236 с.
4. Хакен, Г. Информация и самоорганизация [Текст] / Г. Хакен. - М.: КомКнига, 2005. - 248 с.
5. Аль-Азави, Р. Дж. Об одном подходе к моделированию человеко-машинных систем восстановления в критических ситуациях [Текст] / Р. Дж. Аль-Азави // 16-й Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», 17–19 апреля 2012 г. – С. 131-132
6. Alazawi, R. J. Markovian Approach To Man-Machine-Environment Systems [Текст] / R. J. Alazawi // Радиотехника. – 2012. – №170. – С. 14-18.
7. Аль-Азави, Р. Дж. Моделирование Человеко-Машинных Систем восстановления в критических ситуациях с помощью процессов гибели и размножения [Текст] / Р. Дж. Аль-Азави // Радиотехника. - Харьков, 2013.
8. Наумейко, И. В. К расчету марковской модели эргатической системы [Текст] / И. В. Наумейко, А. В. Сова // Сб. Науч. Труд. 5-й Юбилейной Международной Научной конференции «Функциональная база наноэлектроники». - Харьков-Крым, 2012. - С. 236-239
9. Jaynes, E. T. Where do we stand on maximum entropy? [Текст] / E. T. Jaynes; R. D. Levine, M. Tribus (eds.) // The Maximum Entropy Formalism. – Cambridge, Mass.: M.I.T. Press, 1978.
10. Jaynes, E. T. Where do we go from here? [Текст] / E. T. Jaynes; C. Ray Smith, W. T. Grandy, Jr.(eds) // Maximum-Entropy and Bayesian Methods in Inverse Problems. - D. Reidel Publishing Company, 1985. - P. 21-58.

МОДЕЛЮВАННЯ АВАРІЙ ТА ЇХ ЛІКВІДАЦІЇ У ЕРГОТИЧНИХ СИСТЕМАХ

Розглянуто системи типу «людина-машина-середовище» із захистом від стихійних та техногенних лих з різними видами шільності, як з класичним найпростішим потоком, так і з нестабільним джерелом. Процес ліквідації аварії у всіх моделях відбувається в кілька етапів, з різними інтенсивностями і можливими багаторазовими повтореннями етапів у разі «мульти-катастроф».

Ключові слова: ланцюг Маркова, рівняння Колмогорова, максимальна ентропія

Аль-Азави Рази Джабур, аспірант, кафедра прикладної математики, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна, e-mail: razijabur@gmail.com

Аль-Азави Рази Джабур, аспірант, кафедра прикладної математики, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна, e-mail: razijabur@gmail.com

Al-Azawi Razi Jabur, Kharkiv National University of Radioelectronics, Ukraine, e-mail: razijabur@gmail.com