

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ В КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЯХ

Аль-Азави Р. Дж.

Научный руководитель – к.т.н., доц. Наумейко И.В.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
(61166, Харьков, пр. Ленина, 14, каф. Прикладной математики,
тел. (057)702-14-36) E-mail: naum@kture.kharkov.ua, факс (057) 702-11-13

The system "man - machine - environment" with a finite state space is considered. In this work the flow of events from sub "machine" and "environment" is the simplest to the intensity λ , and the reaction time on them by the "man - operator" is exponentially distributed. The proposed models are naturally extended to the case of disasters.

Рассматривается система «человек – машина – среда» с конечным пространством состояний S . Большинство таких систем обладают марковским свойством, то есть вероятности перехода к новому состоянию вполне определяются текущим состоянием и моментом времени. К настоящему времени в Украине износ потенциально опасных технических систем (заводы, электростанции и др.) в среднем превышает 70%, что делает особенно актуальным моделирование работы систем безопасности этого типа. В рамках данной работы поток событий со стороны подсистем «машина» и «среда» является простейшим с интенсивностью λ , а время реакции на них со стороны «человека – оператора» распределено экспоненциально с параметром μ . Оба типа событий могут привести с заданной вероятностью к смене состояния системы. Величина $P_i(t)$ есть вероятность S_i состояния системы в момент времени t .

Модель 1. Человек отвечает на воздействие (аварию) детерминированной технологической последовательностью из n операций, длительности которых экспоненциально распределены с параметром μ_i . Пространством состояний естественно считать сами операции по ликвидации аварии. S_0 – есть состояние ожидания – безаварийная работа системы. Уравнение Колмогорова для вероятностей состояний при естественном условии нормировки $\sum P_i(t) \equiv 1$ строится стандартным способом, предельные при $t \rightarrow \infty$ вероятности P_i существуют, стационарны и не зависят от начального распределения вероятностей. При $P'_i(t) = 0$ и $\sum P_i = 1$, решая получившиеся рекуррентные алгебраические уравнения, получаем весьма похожие на классическую формулу Эрланга предельные вероятности состояний:

$$P_0 = \frac{1}{(1 + \sum \frac{\lambda}{\mu_i})}; \quad P_i = \frac{\frac{\lambda}{\mu_i}}{(1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda}{\mu_i})}, \quad i = 1 \dots n.$$

Модель 2. При всех допущениях прежней модели время и качество операций по ликвидации аварии зависит от состояния человека-оператора, которое, в свою очередь, зависит от состояния системы (вредные воздействия и стресс). Будем считать, что оператор может находиться в двух состояниях работоспособности, условно говоря, «здоров» и «болен», вероятность восстановления здоровья в процессе ликвидации аварии равна нулю, а вероятность ограничения работоспособности при выполнении i -ой операции равна b_i . После окончания всей работы (до наступления следующей критической ситуации) здоровье оператора восстанавливается или он заменяется. Тогда переходные вероятности для каждой пары соседних состояний при полной работоспособности оператора есть $b_i \mu_i$ и $(1-b_i) \mu_i$. Состояния системы, интенсивности восстановительных работ и вероятности при неполной работоспособности оператора, соответственно, i_b , μ^b и P_{ib} . Из рекуррентных соотношений полученных в пределе из соответствующих уравнений Колмогорова, с учетом обозначений: ($k=2 \dots n$)

$$B_k = \prod_{j=1}^{k-1} (1-b_j); \quad A_k = 1-B_k; \quad A_0=A_1=0; \quad B_0=B_1=1; \quad \Sigma_1 = \sum_0^n B_k / \mu_k; \quad \Sigma_2 = \sum_0^n A_k / \mu_k,$$

получаем: $P_k = \frac{B_k}{\mu_k (\Sigma_1 + \Sigma_2)}, \quad P_{k,b} = \frac{A_k}{\mu_k^b (\Sigma_1 + \Sigma_2)}, \quad k=1 \dots n;$

$$P_0 = \frac{B_{n+1}}{\lambda (\Sigma_1 + \Sigma_2)}, \quad P_{0,b} = \frac{A_{n+1}}{\lambda (\Sigma_1 + \Sigma_2)}, \quad P_0^* = \frac{1}{\lambda (\Sigma_1 + \Sigma_2)}.$$

Практический интерес обычно представляет $P^* = P_i + P_i b$, $1 - P^* 0$ и $P_0 b$.

В заключении отметим, что предположение, в рамках которого СМО адекватно моделирует систему, состоит в простоте потока событий и стационарности. При очень малых $\lambda \ll 1$ это справедливо и для потока аварий. Однако из экспоненциальности распределения длин интервалов между авариями следует, что наиболее вероятны короткие интервалы. Таким образом, модель СМО наиболее подходит для спасательных подразделений, для которых ликвидация аварии есть «стационарное состояние». Эксперименты в MathCAD для случаев $n=3, 5, 10$ (число операций в технологической цепочке по устранению аварии) и $\lambda = 0.3, 0.1, 0.05$, $\mu_i = 0.8$ при $P(S_0)=1$ подтвердили, что время установления $t \approx 5$ в этом случае на порядок меньше времени работы системы ($1/\lambda + n/\mu$).

Предложенные выше модели естественно обобщаются на случай катастроф (эрланговский поток и поглощающие состояния), однако в настоящее время становится понятно, что аварии, а тем более катастрофы, имеют иные законы распределения – степенные. Это приводит к более сложным, чем СМО математическим моделям, для которых не работает классическая теорема Хинчина о сходимости к простейшему потоку [1].

1. Хинчин А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания (1963)