

УДК 004.415.25

DOI: 10.15587/2312-8372.2019.164636

## АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОПОВЕЩЕНИЯ С АРХИТЕКТУРОЙ «КЛИЕНТ-СЕРВЕР» И ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕРВИСА GOOGLE MAPS

Арутюнян В. Э.

### 1. Введение

В настоящее время в связи с интенсивным развитием распределенных информационных систем широкое распространение получила клиент-серверная архитектура сетей ЭВМ (электронно-вычислительной машины). При этом под термином «клиент-сервер» принято обозначать такую архитектуру информационной системы, в которой ее функциональные компоненты взаимодействуют по схеме «запрос-ответ» [1, 2]. Рассматриваемая в данной работе информационная система используется для массового оповещения населения при чрезвычайных ситуациях, поэтому она должна иметь достаточно высокую надежность, как и любая другая система оповещения. Разработка моделей для определения различных характеристик надежности информационных систем является актуальной задачей, в частности, для определения надежности информационных систем с архитектурой «клиент-сервер». Актуальность разработки подобных моделей и математического аппарата для исследования надежности рассматриваемых распределенных информационных систем в стационарных условиях и в условиях воздействия внешних факторов, приводящих к возрастанию интенсивности отказов компонентов системы, подтверждается работами многих ученых [3–5]. С учетом возможностей современных мобильных устройств и анализа существующих систем массового оповещения населения, действующих в США, Японии, Польше, автором данной работы была разработана клиент-серверная модель для современной системы массового оповещения при чрезвычайных ситуациях. Данная информационная система предусматривает использование сервисов интерактивных карт местности для обработки или дополнения данных, переданных с мобильных девайсов потерпевших, которые уже были получены сервером системы и проработаны через запрограммированные алгоритмы [6]. Автор, продолжая данное направление исследований, в качестве *объекта данного исследования* выбрал восстанавливаемую после отказов информационную систему, состоящую из конечного числа  $n$  аппаратно-программных клиентских систем, подключенных с помощью соответствующего интерфейса к серверу  $S$ . *Целью же исследования* на данном этапе является разработка и проверка модели для исследования надежности информационной системы массового оповещения с архитектурой «клиент-сервер» и использованием сервиса Google Maps.

## 2. Методика проведения исследований

Учитывая вероятностный характер функционирования рассматриваемой информационной системы в стационарном режиме и в условиях внешних дестабилизирующих воздействий, при разработке математической модели аппроксимируем поведение системы марковским процессом с конечным числом состояний. Предположим, что отказ любого компонента информационной системы определяется мгновенно после его возникновения и сразу же начинается восстановление отказавшего компонента. В информационной системе возможны одновременные отказы в нескольких клиентских системах при работоспособном сервере. В этой ситуации отказавшие клиентские системы восстанавливаются, а работоспособные продолжают функционировать в режиме «клиент-сервер». При отказе сервера, как и при отказе сервиса Google Maps, работа информационной системы массового оповещения прерывается до момента восстановления работоспособного состояния обоих компонентов системы. Также предположим, что у рассматриваемой информационной системы возможны всего три состояния. В первом состоянии одновременно отказывают одна или несколько клиентских систем и сервер. Во втором состоянии одновременно отказывают одна или несколько клиентских систем и сервис Google Maps. И, наконец, в третьем состоянии системы одновременно отказывают одна или несколько клиентских систем, сервер и сервис Google Maps. В этом случае информационная система прекращает функционировать до окончания процесса восстановления работоспособности сервера, отказавших клиентских систем и когда одновременно отказывают одна или несколько клиентских систем, сервер и сервис Google Maps. При этом общая интенсивность восстановления отказавших компонентов системы перераспределяются между сервером, сервис Google Maps и отказавшими клиентскими системами, что ведет к снижению интенсивности восстановления всех компонентов системы. После восстановления их работоспособности информационная система массового оповещения продолжает функционировать в стационарном режиме. Интенсивность отказа сервиса Google Maps не является дискретной величиной

Для построения математических моделей рассматриваемой информационной системы введем следующие обозначения:

$E_0$  – состояние информационной системы при отсутствии отказов в клиентских системах и в сервере;

$E_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) – состояние информационной системы при наличии отказов в  $i$  клиентских системах;

$E_0^*$  – состояние информационной системы при отказе сервера и отсутствии отказов в клиентских системах;

$E_i^*$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) – состояние информационной системы при одновременном отказе сервера и отказов в  $i$  клиентских системах;

$E_{ii}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) – состояние информационной системы, при котором происходит восстановление  $i$  отказавших клиентских систем и произошел отказ сервиса Google Maps;

$E_{ij}$  ( $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n$ ) – состояние информационной системы, при котором происходит восстановление отказавшего сервера и произошел отказ сервиса Google Maps;

$\lambda_s$  – интенсивность отказа сервера;

$\lambda_{ki}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) – интенсивность отказов  $i$ -й клиентской системы;

$\lambda_{mi}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) – интенсивность отказов сервиса Google Maps;

$\mu_{si}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) – интенсивность восстановления работоспособности сервера при одновременном наличии отказов в  $i$  клиентских системах;

$\mu_{ki}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) – интенсивность восстановления работоспособности после отказа  $i$ -й клиентской системы;

$\mu_{mi}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) – интенсивность восстановления работоспособности после отказа сервиса Google Maps.

Аппроксимируя восстанавливаемую после отказа информационную «клиент-серверную» систему с конечным числом состояний, имеем возможность составить граф-состояний, который описывает ее поведение (рис. 1).

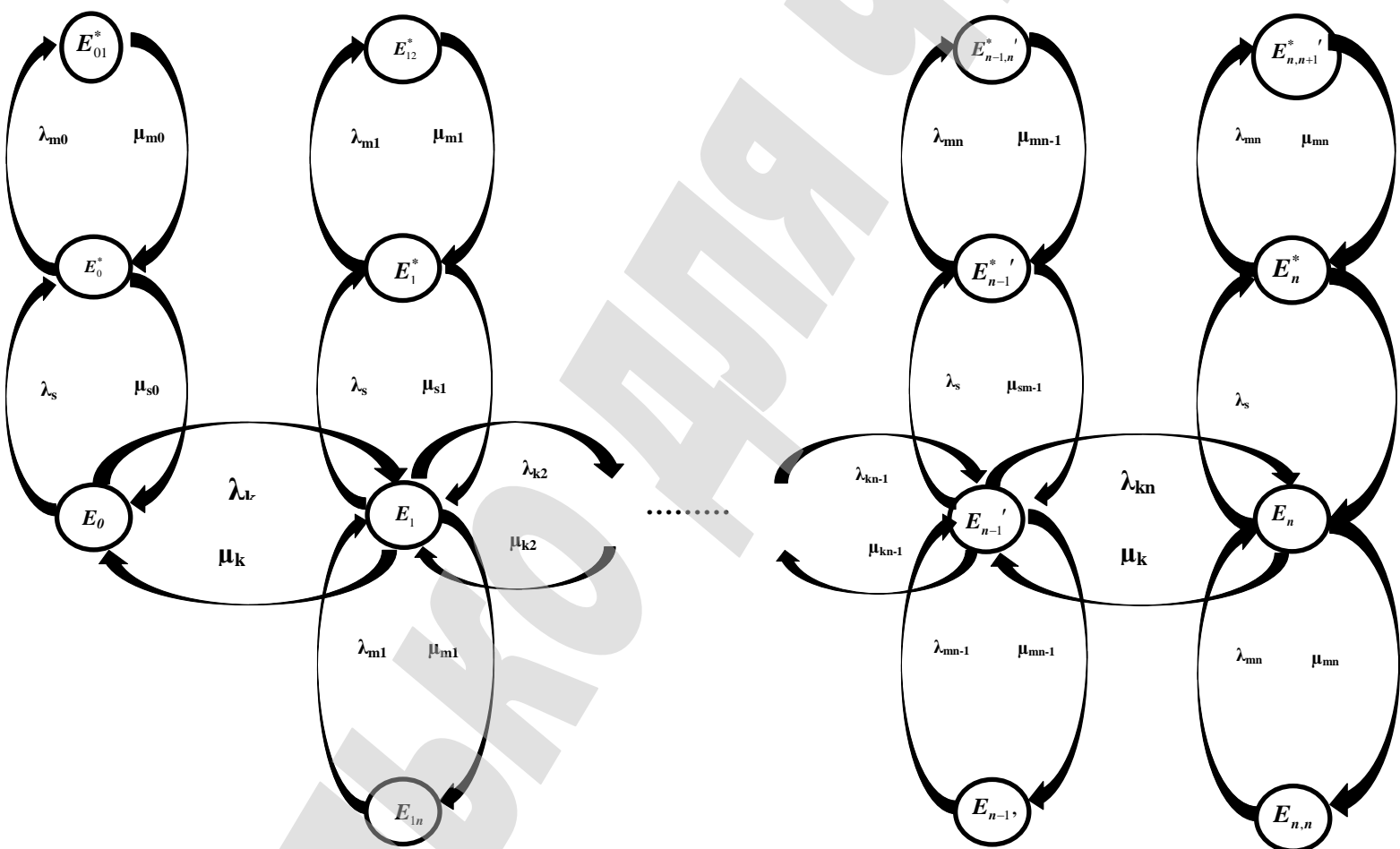


Рис. 1. Граф-состояний «клиент-серверной» системы с отказами и восстановлением работоспособности компонентов системы

Обозначим:

$p_i(t)$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) – вероятность, что система находится в состоянии  $E_0, E_1, \dots, E_n$ ;

$p_i^*(t)$  ( $i=0, 1, 2, \dots, n$ ) – вероятность, что система находится в состоянии  $E_0^*, E_1^*, \dots, E_n^*$ ;

$p_{ii}(t)$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) – вероятность, что система находится в состоянии  $E_{1,1}, E_{2,2}, \dots, E_{n,n}$ ;

$p_{ij}^*(t)$  ( $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n+1$ ) – вероятность, что система находится в состоянии  $E_{0,1}, E_{1,2}, \dots, E_{n,n+1}$ .

Составим систему дифференциальных уравнений Колмогорова [9]:

$$\begin{aligned}
 \dot{p}_0(t) &= \mu_{s_0} \cdot p_0^*(t) + \mu_{k_1} \cdot p_1(t) - (\lambda_s + \lambda_{k_1}) \cdot p_0(t); \\
 \dot{p}_i(t) &= \mu_{s_i} \cdot p_i^*(t) + \mu_{k_{i+1}} \cdot p_{i+1}(t) + \lambda_{k_i} \cdot p_{i-1}(t) + \mu_{m_i} \cdot p_{i,i}(t) - \\
 &\quad - (\lambda_s + \lambda_{k_i} + \mu_{k_i}) \cdot p_i(t) - \lambda_{m_i} \cdot p_{i,i}(t), \quad (i=1, 2, \dots, n-1); \\
 \dot{p}_n^*(t) &= \mu_{s_n} \cdot p_n^*(t) + \lambda_{k_n} \cdot p_{n-1}(t) + \mu_{s_n} \cdot p_{n,n}(t) - \\
 &\quad - (\lambda_s + \mu_{k_n}) \cdot p_n(t) - \lambda_{m_n} \cdot p_{n,n}(t); \\
 \dot{p}_i^*(t) &= \lambda_s \cdot p_i(t) - \mu_{s_i} \cdot p_i^*(t), \quad i=0, 1, 2, \dots, n; \\
 \dot{p}_{i,i}^*(t) &= \lambda_{m_i} \cdot p_i(t) - \mu_{m_i} \cdot p_{i,i}^*(t), \quad (i=1, 2, \dots, n); \\
 \dot{p}_{i,j}^*(t) &= \lambda_{m_i} \cdot p_i^*(t) - \mu_{m_i} \cdot p_{i,j}^*(t), \quad (i=0, 1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n+1),
 \end{aligned} \tag{1}$$

с начальными условиями:

$$\begin{aligned}
 p_0(0) &= 1; \quad p_i(0) = 0, \quad (0 \leq i \leq n); \\
 p_i^*(0) &= 0, \quad (0 \leq i \leq n); \\
 p_{i,i}(0) &= 0, \quad (1 \leq i \leq n); \\
 p_{i,j}^*(0) &= 0, \quad (1 \leq j \leq n+1).
 \end{aligned} \tag{2}$$

Прямое преобразование Лапласа от системы дифференциальных уравнений (1):

$$\begin{aligned}
 sp_0'(s) - 1 &= \mu_{s_0} \cdot p_0^*(s) + \mu_{k_1} \cdot p_1(s) - (\lambda_s + \lambda_{k_1}) \cdot p_0(s); \\
 sp_i'(s) &= \mu_{s_i} \cdot p_i^*(s) + \mu_{k_{i+1}} \cdot p_{i+1}(s) + \lambda_{k_i} \cdot p_{i-1}(s) + \mu_{m_i} \cdot p_{i,i}(s) - \\
 &\quad - (\lambda_s + \lambda_{k_i} + \mu_{k_i}) \cdot p_i(s) - \lambda_{m_i} \cdot p_{i,i}(s), \quad (i=1, 2, \dots, n-1); \\
 sp_n^*(s) &= \mu_{s_n} \cdot p_n^*(s) + \lambda_{k_n} \cdot p_{n-1}(s) + \mu_{s_n} \cdot p_{n,n}(s) - \\
 &\quad - (\lambda_s + \mu_{k_n}) \cdot p_n(s) - \lambda_{m_n} \cdot p_{n,n}(s); \\
 sp_i^*(s) &= \lambda_s \cdot p_i(s) - \mu_{s_i} \cdot p_i^*(s), \quad i=0, 1, 2, \dots, n; \\
 sp_{i,i}^*(s) &= \lambda_{m_i} \cdot p_i(s) - \mu_{m_i} \cdot p_{i,i}^*(s), \quad (i=1, 2, \dots, n); \\
 sp_{i,j}^*(s) &= \lambda_{m_i} \cdot p_i^*(s) - \mu_{m_i} \cdot p_{i,j}^*(s), \quad (i=0, 1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n+1).
 \end{aligned} \tag{3}$$

Решая систему дифференциальных уравнений (1) численными методами при известных значениях констант и переменных, зависящих от времени, коэффициентов  $\lambda_s, \lambda_{k_i}, \lambda_{m_i}, \mu_{s_i}, \mu_{k_i}, \mu_{m_i}$ , есть возможность получить решение. Данное решение будет представлено в виде вероятностей нахождения рассматриваемой информационной системы с архитектурой «клиент-сервер» в любом из ее состояний  $E_0, E_i, E_0^*, E_i^*, E_{ij}, E_{ij}$ . А также получить практически любые характеристики надежности информационной системы массового оповещения.

### 3. Результаты исследований и обсуждение

Опираясь на работы ученых, которые работали над данной проблемой [7–10] было составлено систему дифференциальных уравнений для решения общей задачи:

$$\begin{aligned}
p_0'(t) &= \mu_{s_0} \cdot p_0^*(t) + \mu_{k_1} \cdot p_1(t) - (\lambda_s + \lambda_{k_1}) \cdot p_0(t); \\
p_i'(t) &= \mu_{s_i} \cdot p_i^*(t) + \mu_{k_{i+1}} \cdot p_{i+1}(t) + \lambda_{k_i} \cdot p_{i-1}(t) + \mu_{m_i} \cdot p_{i,i}(t) - \\
&- (\lambda_s + \lambda_{k_i} + \mu_{k_i}) \cdot p_i(t) - \lambda_{m_i} \cdot p_{i,i}(t), \quad (i=1,2,\dots,n-1); \\
p_n^*(t) &= \mu_{s_n} \cdot p_n^*(t) + \lambda_{k_n} \cdot p_{n-1}(t) + \mu_{s_n} \cdot p_{n,n}(t) - \\
&- (\lambda_s + \mu_{k_n}) \cdot p_n(t) - \lambda_{m_n} \cdot p_{n,n}(t); \\
p_i^*(t) &= \lambda_s \cdot p_i(t) - \mu_{s_i} \cdot p_i^*(t), \quad i=0,1,2,\dots,n; \\
p_{i,i}^*(t) &= \lambda_{m_i} \cdot p_i(t) - \mu_{m_i} \cdot p_{i,i}(t), \quad (i=1,2,\dots,n); \\
p_{i,j}^*(t) &= \lambda_{m_i} \cdot p_i^*(t) - \mu_{m_i} \cdot p_{i,j}(t), \quad (i=0,1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,n+1),
\end{aligned} \tag{4}$$

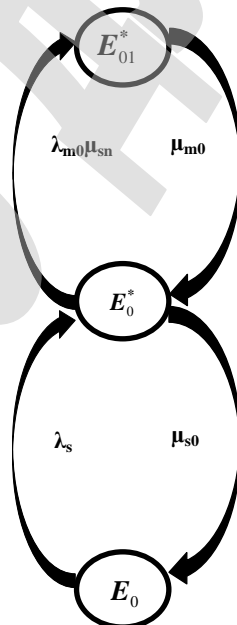
с начальными условиями:

$$\begin{aligned}
p_0(0) &= 1; \quad p_i(0) = 0, \quad (0 \leq i \leq n); \\
p_i^*(0) &= 0, \quad (0 \leq i \leq n); \\
p_{i,i}(0) &= 0, \quad (1 \leq i \leq n); \\
p_{i,j}^*(0) &= 0, \quad (1 \leq j \leq n+1).
\end{aligned} \tag{5}$$

Для определения надежности модели рассчитаем частный случай системы без учета выхода из строя клиента [7].

Вероятности состояний для системы (рис. 2) определяются по формулам:

$$\begin{aligned}
P_{E_0} &= \frac{\mu_s \cdot \mu_m}{\lambda_s \cdot \lambda_m + \lambda_s \cdot \mu_m + \mu_s \cdot \mu_m}; \\
P_{E_0}^* &= \frac{\lambda_s \cdot \mu_m}{\lambda_s \cdot \lambda_m + \lambda_s \cdot \mu_m + \mu_s \cdot \mu_m}; \\
P_{E_0} &= \frac{\lambda_s \cdot \lambda_m}{\lambda_s \cdot \lambda_m + \lambda_s \cdot \mu_m + \mu_s \cdot \mu_m}.
\end{aligned} \tag{6}$$



**Рис. 2.** Граф-состояний «клиент-серверной» системы с отказами и восстановления работоспособности компонентов системы без отказа клиента

Решив данную систему уравнений (6), возможно произвести расчет вероятностей состояний системы для частного случая без отказа клиента.

#### 4. Выводы

Использованная модель исследования надежности информационной системы массового оповещения с архитектурой «клиент-сервер» и использованием сервиса Google Maps дает возможность получать решения в виде вероятностей нахождения системы в любом из ее состояний. Также существует возможность получать различные характеристики надежности информационной системы.

#### Литература

1. A Game Theory Approach in Information Security Risk Study / Shing M.-L., Shing C.-C., Chen K. L. et. al. // 2010 International Conference on E-business, Management and Economics IPEDR. 2011. Vol. 3. P. 201–203.
2. Tyurin S. F., Grekov A. V. Functionally Complete Tolerant Elements // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10, Issue 14. P. 34433–34442.
3. Арьков П. А. Комплекс моделей для поиска оптимального проекта системы защиты информации // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2008. Т. 85, № 8. С. 30–36.
4. Антонов А. В., Пляскин А. В., Татаев Х. Н. К вопросу расчета надежности резервированных структур с учетом старения элементов // Надежность. 2013. № 1 (44). С. 55–61.
5. Шебе Х., Шубинский И. Б. Предельная надежность структурного резервирования // Надежность. 2016. № 1 (56). С. 3–8.
6. Арутюнян В. Е. Сучасна клієнт-серверна модель програмного комплексу масового оповіщення у надзвичайних ситуаціях // Матеріали Другої міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерні та інформаційні системи та технології». Харків: ХНУРЕ, 2018. С. 69–71.
7. Викторова В. С., Степанянц А. С. Модели и методы расчета надежности технических систем. Москва, 2013. 219 с.
8. Потапов В. И. Задачи и численные алгоритмы оптимизации надежности аппаратно-избыточной технической системы в конфликтной ситуации при различных стратегиях защиты от атак противника // Механика, автоматизация, управление. 2015. Т. 16, № 9. С. 617–624.
9. Потапов В. И. Модели и алгоритм численного решения задачи противоборства избыточных, восстанавливаемых после отказов технических систем // Проблемы управления и информатики. 2015. № 4. С. 70–78.
10. Потапов В. И. Разработка моделей для исследования надежности восстанавливаемой после отказов информационной системы с архитектурой «клиент-сервер» // Омский научный вестник. 2018. № 5 (161). С. 143–146.
11. Козлов Б. А., Ушаков И. А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Советское радио, 1975. 472 с.