

## ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ УСТАНОВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЯ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Т. М. ТАТАРНИКОВА<sup>1</sup>, Н. В. ЯГОТИНЦЕВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный экономический университет,  
191023, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: tm-tatarn@yandex.ru*

<sup>2</sup>*Российский государственный гидрометеорологический университет,  
196195, Санкт-Петербург, Россия*

Предложено оценивать функциональную надежность инфокоммуникационной сети с помощью вероятностной модели установления соединения между источником и адресатом. Факт установления соединения определяется средствами имитационного моделирования как доставка вызова от источника к адресату за допустимое время. Время прохождения вызова зависит от виртуального канала, выбранного из множества альтернативных, с учетом случайного распределения отказавших узлов и путей в инфокоммуникационной сети.

**Ключевые слова:** функциональная надежность, вероятность доставки, установление соединения, статистическое моделирование, виртуальный канал, путь, эксперимент на модели

**Введение.** Установление соединения в инфокоммуникационной сети (ИКС), несмотря на отказы отдельных ее элементов, позволяет сохранять работоспособность, т.е. обеспечивает живучесть ИКС [1, 2]. Таким образом, количественным показателем функциональной надежности ИКС может служить вероятность установления (неустановления) соединения при поступлении соответствующего вызова [3].

Характеристики функциональной надежности отражают возможность ИКС предоставлять связь абонентам в течение заданного интервала времени, начиная с момента поступления вызова [4]. Во многом функциональная надежность ИКС зависит от выбранной системы назначения маршрутов и распределения потоков информации [5].

В процессе установления соединения источник отправляет вызов, проходящий к адресату по одному из множества построенных альтернативных маршрутов [6] — виртуальных каналов (ВК). ВК состоит из путей, связывающих узлы коммутации, входящие в данный маршрут [7]. Применительно к прохождению вызова от станции к станции состояние пути бинарно: либо он занят, и вызов по нему не проходит (состояние пути „1“), либо путь свободен, и вызов через него пройдет (состояние „0“) [8, 9]. Возможно, что вызов:

- дойдет до адресата, и будет установлено соединение за время, не превышающее допустимое;
- дойдет до адресата, и будет установлено соединение, но за время, превышающее допустимое;
- не дойдет до адресата, поскольку все пути загружены или неработоспособны.

Возможность рестартов, то есть возвращения вызова на предыдущие узлы, вследствие того что число путей, пройденных вызовом при его доставке к адресату, оказывается случайным [10], придает стохастичность процессу установления соединения, поэтому факт доставки вызова будем устанавливать с помощью имитации процесса доставки [3, 11].

**Математическая модель оценки функциональной надежности ИКС.** Время установления соединения  $t_{y.c}$  является случайной величиной, которая определяется выражением

$$t_{y.c} = \sum_{i=1}^{n_{п}} t_{пi} + \sum_{i=1}^{n_{o.в}} t_{o.вi} + n_{р} t_{р}, \quad (1)$$

где  $n_{п}$  — число путей ВК, пройденных вызовом при установлении соединения;  $n_{o.в}$  — число путей, на которые вернулся вызов в режиме „обратной волны“ для поиска альтернативного маршрута;  $n_{р}$  — число рестартов: в общем случае  $0 \leq n_{р} < n_{доп}$ , где  $n_{доп}$  — допустимое число рестартов при установлении соединения;  $t_{пi}$  — время прохождения  $i$ -го пути;  $t_{o.вi}$  — время прохождения  $i$ -го пути в режиме „обратной волны“;  $t_{р}$  — время выполнения рестарта.

Каждый эксперимент на модели дает реализацию случайных величин  $n_{п}$ ,  $n_{o.в}$  и  $n_{р}$  и в соответствии с выражением (1) оценивается значение  $t_{y.c}$ , которое и определяет результат:

- если  $t_{y.c} \leq t_{доп}$ , то соединение установлено;
- если  $t_{y.c} > t_{доп}$ , то соединение установлено, но за время, превышающее допустимое, и это соответствует неустановлению соединения, если пересылаемые данные потеряли свою актуальность [12];
- если  $n_{р} > n_{доп}$ , то соединение не установлено.

Исходными данными для моделирования являются

- 1) структурная и потоковая метрики [13,14]:
  - множество альтернативных маршрутов (ВК) с описанием путей, составляющих каждый ВК: время передачи вызова в режиме „прямой“ и „обратной волны“;
  - вероятность занятости путей;
- 2) ограничения, при которых должно выполняться соединение:
  - допустимое время установления соединения;
  - число рестартов (попыток установления соединения);
  - время выполнения рестарта.

Выходные данные моделирования позволяют оценить вероятность установления соединения за время, не превышающее допустимое, а также средние и среднеквадратические значения  $t_{y.c}$ , характеризующие процесс установления соединения, которые могут быть использованы при упрощенных аналитических расчетах [11, 12].

В качестве критерия эффективности построенных маршрутов примем вероятность установления соединения за время, не превышающее допустимое.

На всем множестве виртуальных каналов, соединяющих источник и адресат, производится расслоение по числу занятых путей  $c$  ( $c = c_{\min}, \dots, c_{\max}$ ). В отдельном эксперименте разыгрывают число  $c$  номеров занятых путей во множестве ВК, и на полученной реализации ВК имитируется процесс доставки вызова адресату. По факту доставки вызова фиксируются значения  $n_{тр}$ ,  $n_{o.в}$  и  $n_{р}$ . Процедура повторяется  $N$  раз. По результатам экспериментов вычисляются необходимые статистические данные [2, 3, 5].

Розыгрыш занятых путей  $c$  сводится к случайному выбору номеров путей из  $d$  возможных. Очередной номер пути  $z$  определяется по формуле  $z = \lceil Ud + 1 \rceil$ , где  $U$  — случайное число,  $U \in [0,1]$ , получаемое за счет обращения к генератору случайных чисел. Скобки  $\lceil \rceil$  означают округление в меньшую сторону. Пути с номером  $z$  присваивается „1“ во множестве альтернативных маршрутов ВК. Процедура определения  $z$  повторяется  $c$  раз.

Расчет характеристик установления (неустановления) соединения может быть сведен к оцениванию математического ожидания  $M\xi$  случайной величины (СВ)  $\xi=f(\alpha)$ , причем СВ  $\alpha=(\alpha_1, \dots, \alpha_d)$  характеризуется законом распределения вероятностей  $p$  (т.е.  $\alpha \sim p$ ), который известен. В данной задаче  $\xi \in \{0,1\}$ ,  $\xi=0$  соответствует установлению соединения,  $\xi=1$  — неустановлению.  $M\xi=p\{\xi=1\}$  — вероятность неустановления соединения, СВ  $\xi$  невырожденная, т.е.  $0 < M\xi < 1$ .

Случайная величина  $\alpha$  интерпретируется как вектор  $\alpha=(\alpha_1^v, \dots, \alpha_d^v)$ , отображающий состояние путей, входящих в моделируемое множество альтернативных маршрутов. СВ  $\alpha_i \in \{0,1\}$ ,  $i = \overline{1, d}$ . Значение  $\alpha_i=1$  соответствует отсутствию свободных каналов со скоростью  $v$  в  $i$ -м пути. СВ  $\alpha_i$  считаются независимыми. СВ  $\alpha$  имеет конечное множество значений  $\alpha \in X$ ,  $X = \{x_j; j = \overline{1, n}; n = 2^d\}$ . Для нее распределение  $p(x)$ ,  $x \in X$ , задается набором вероятностей  $p(x_j) = p\{\alpha = x_j\} = p_j \geq 0, j = \overline{1, n}$ . С учетом расслоения по  $c$  методом равновзвешенного моделирования [2] получим:

$$\tilde{M}\xi = \sum_{c_{\min}}^{c_{\max}} M\xi(c), \quad (2)$$

где  $\tilde{M}\xi$  — оценка вероятности неустановления соединения при наличии  $c$  занятых путей.

Для задания состояний ВК( $c$ ) на  $k$ -м розыгрыше случайным образом выберем  $c$ . В результате вектор  $\alpha$  получает конкретную реализацию  $x$ , содержащую  $c$  единиц и  $(d-c)$  нулей. В соответствии с правилом прохождения вызова по множеству альтернативных путей ВК и правилом установления соединения вычисляем значение

$$\xi(x|c)_k = f[\text{ВК}_k],$$

где  $\xi(x|c)_k$  — исход доставки (недоставки) вызова при  $k$ -м испытании ( $k$ -й реализации ВК),  $\xi(x|c)_k \in (0,1)$ , и вероятность полученной реализации

$$p(x) = p[\text{ВК}_k].$$

Значение  $\xi(x|c)_k=1$  имеет место, если вызов не дошел до адресата (все ВК из множества альтернативных маршрутов оказались непроводящими),  $n_p > n_{\text{доп}}$ , либо вызов дошел до адресата и установлено соединение, но за время  $t_{y,c} > t_{\text{доп}}$ .

Оценка вероятности неустановления соединения для  $c$  неработоспособных путей во множестве всех ВК определяется в виде:

$$\tilde{M}\xi(c) = \frac{C_d^c}{N_2} \sum_{k=1}^{N_2} p(\text{ВК}_k | \xi(x|c)=1),$$

где  $N$  — число разыгранных состояний (реализаций) множества ВК,  $C_d^c$  — число возможных сочетаний  $c$  и  $d$ .

Вероятность  $p(\text{ВК})$  рассчитывается по формуле:

$$p(\text{ВК}_k) = \prod_{i=1}^h p(\alpha_i = 1) \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{d-h} [1 - p(\alpha_i = 1)].$$

Вероятности  $p(\alpha_i=1)$ ,  $i = \overline{1, d}$ , заданы при решении задачи распределения потоков.

Окончательная оценка вероятности неустановления соединения имеет вид:

$$\tilde{M}_\xi = \sum_{c=c_{\min}}^{c_{\max}} \frac{C_d^c}{N_c} \sum_{k=1}^N p(\text{ВК}_k | \xi (x|c) = 1). \quad (3)$$

Таким образом, выражение (3) полностью отражает вероятностный подход к определению функциональной надежности ИКС.

**Эксперимент на модели.** Построена топологическая структура ИКС, приведенная на рис. 1. Заданы следующие параметры, характеризующие узлы коммутации и пути: вероятность отказа узла —  $10^{-3}$ ; пропускная способность всех путей — 9600 бит/с; вероятность отказа пути —  $5 \cdot 10^{-3}$ ;  $t_{\text{пг}} = 0,5$  мс;  $t_{\text{о.вб}} = 0,7$  мс;  $t_{\text{р}} = 10^{-2}$  мс;  $t_{\text{доп}} = 50$  мс;  $N = 100$ .

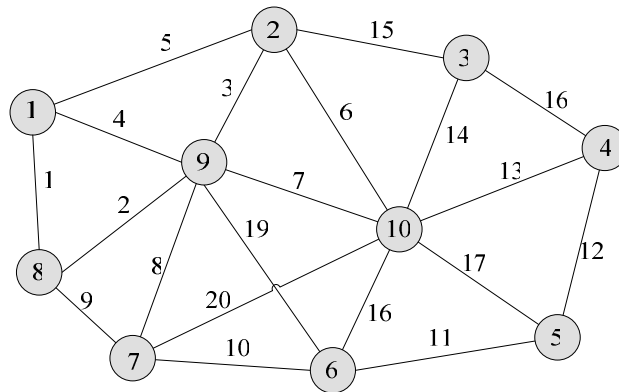


Рис. 1

Построим зависимости  $\bar{t}_{y,c}$  от  $c$  и  $n_p$ .

Собранные в результате моделирования данные позволяют построить важные зависимости, характеризующие надежность установления соединения в сети [15].

На рис. 2 приведена зависимость числа установленных соединений от допустимого времени доставки вызова при фиксированных  $n_p=3$  и  $c=3$ , которая позволяет найти необходимые параметры, обеспечивающие гарантированное время доставки.

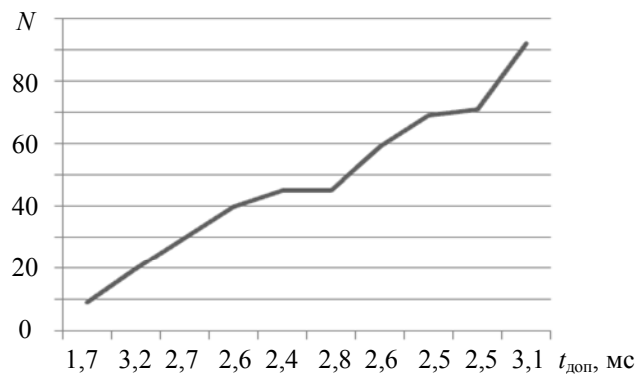


Рис. 2

Зависимости вероятности установления соединения от числа неработоспособных путей и узлов  $q$  приведены на рис. 3, *a* и *б* соответственно, результаты получены при  $n_p=3$ . Очевидно, что вероятность установления соединения снижается с увеличением числа неработоспособных путей и узлов. Таким образом, необходимо выбрать ВК, который гарантирует установление соединения за допустимое время. Для этого администратору следует изменить приоритет отправки. В имитационной модели такая возможность предусмотрена [16].

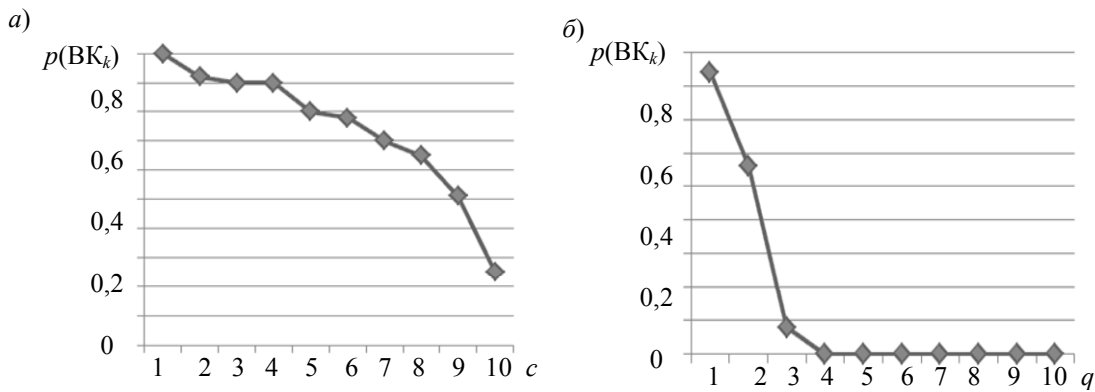


Рис. 3

В модели также предусмотрена возможность изменять допустимое время доставки, и по результатам эксперимента рекомендовать его значение при соблюдении требуемой вероятности установления соединения. Для некоторых видов трафика такая характеристика имеет большое значение [17—19], и имитационная модель позволяет оценить условную вероятность (вероятность установления соединения при условии, что время доставки меньше допустимого). На рис. 4 представлена зависимость вероятности установления соединения от числа неработоспособных путей (1 —  $t > t_{\text{доп}}$ , 2 —  $t < t_{\text{доп}}$ ).

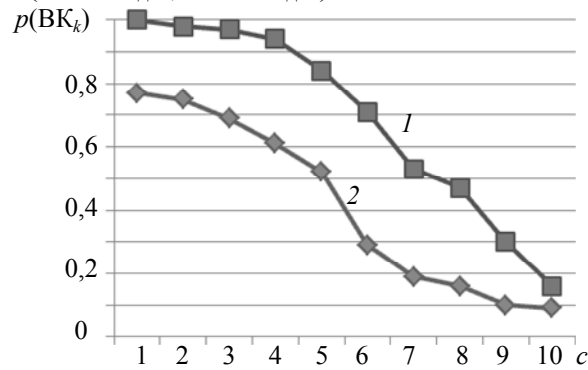


Рис. 4

**Заключение.** Предложенная вероятностная модель установления/неустановления соединения между источником и адресатом в инфокоммуникационной сети позволяет оценить функциональную надежность сети. При этом возможно решение как прямой задачи моделирования — определение времени установления соединения, так и обратной — подбор параметров для обеспечения допустимого времени установления соединения при соблюдении вероятности гарантированной доставки вызова. В модели учтены условия, соответствующие реальному процессу установления соединения — наличие неработоспособных путей и узлов, ограниченное количество попыток установления соединений, наличие альтернативных маршрутов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богатырев В. А. Оценка надежности и оптимальное резервирование кластерных компьютерных систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2006. № 10. С. 18—21.
2. Кутузов О. И., Татарникова Т. М. Инфокоммуникационные сети. Моделирование и оценка вероятностно-временных характеристик. СПб: ГУАП, 2015.
3. Кутузов О. И., Татарникова Т. М. Моделирование систем и сетей телекоммуникаций. СПб: РГГМУ, 2012.
4. Кутузов О. И., Сергеев В. Г., Татарникова Т. М. Коммутаторы в корпоративных сетях. Моделирование и расчет. СПб: Судостроение, 2003.
5. Tatarnikova T., Kolbanev M. Statement of a task corporate information networks interface centers structural synthesis // IEEE EUROCON-2009. St. Petersburg, 2009. P. 1883—1887.

6. Колбанев М. О., Татарникова Т. М., Малков К. О. Подход к организации адаптивного согласующего центра корпоративной сети // Информационно-управляющие системы. 2008. № 3. С. 28—31.
7. Татарникова Т. М. Структурный синтез центра сопряжения корпоративных сетей // Информационно-управляющие системы. 2015. № 3(76). С. 92—98.
8. Татарникова Т. М., Яготинцева Н. В. Оценка функциональной надежности корабельной сети передачи данных // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 9. С. 62—66.
9. Татарникова Т. М., Яготинцева Н. В. Модель оценки характеристик локальной вычислительной сети корабля // Матер. междунар. заоч. науч.-практ. конф. „Теоретические и прикладные проблемы науки и образования в 21 веке“. Тамбов, 2012. С. 143—144.
10. Колбанёв М. О., Татарникова Т. М., Воробьёв А. И. Модель обработки клиентских запросов // Телекоммуникации. 2013. № 9. С. 42—48.
11. Татарникова Т. М., Яготинцева Н. В. Предоставление услуг передачи данных на корабле // Сб. матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. „Инновационные технологии в сервисе“. СПб, 2015. С. 321—322.
12. Советов Б. Я., Колбанёв М. О., Татарникова Т. М. Оценка вероятности эрланговского старения информации // Информационно-управляющие системы. 2013. № 6. С. 25—28.
13. Чугреев О. С., Верзун Н. А. Управление структурой локальных информационных сетей // Сб. тр. междунар. конф. ICI&I'97. СПб, 1997. С. 248—250.
14. Татарникова Т. М., Яготинцева Н. В. Принципы организации экспертной системы выбора структуры локальной сети корабля // Сб. матер. междунар. науч.-практ. конф. „Современное общество, образование и наука“. Тамбов, 2015. С. 142—144.
15. Татарникова Т. М., Яготинцева Н. В. Характеристика проблемы интеграции образцов радиоэлектронного вооружения корабля // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2012. № 25. С. 156—162.
16. Татарникова Т. М., Яготинцева Н. В. Задача синтеза системы защиты корпоративной информации: постановка и этапы решения // Сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. „Наука и образование в XXI веке“. 2013. С. 135—136.
17. Богатырев В. А., Богатырев А. В., Богатырев С. В. Оценка надежности выполнения кластерами запросов реального времени // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 4. С. 46—48.
18. Головкин Ю. Б., Ярцев Р. А., Газетдинова С. Г., Арсланова А. Р., Давлетов Г. Б. Контроль текущего состояния дискретного процесса с учетом предыстории // Региональная информатика и информационная безопасность. Сб. тр. СПИИРАН. 2016. С. 365—367.
19. Богатырев В. А., Богатырев А. В., Богатырев С. В. Перераспределение запросов между вычислительными кластерами при их деградации // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 9. С. 54—58.

#### Сведения об авторах

**Татьяна Михайловна Татарникова**

— д-р техн. наук, профессор; СПбГЭУ, кафедра информационных систем и технологий; E-mail: tm-tatarn@yandex.ru

**Наталья Владимировна Яготинцева**

— аспирант; Российский государственный гидрометеорологический университет, кафедра информационных технологий и систем безопасности; E-mail: solnishko234@yandex.ru

Рекомендована кафедрой  
информационных систем и технологий  
СПбГЭУ

Поступила в редакцию  
29.06.16 г.

**Ссылка для цитирования:** Татарникова Т. М., Яготинцева Н. В. Вероятностная модель установления соединения в инфокоммуникационной сети // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 2. С. 136—142.

**PROBABILISTIC MODEL OF CONNECTION ESTABLISHING  
IN INFOCOMMUNICATION NETWORK****T. M. Tatarnikova<sup>1</sup>, N. V. Yagotinceva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*St. Petersburg State University of Economics, 191023, St. Petersburg, Russia*  
*E-mail: tm-tatarn@yandex.ru*

<sup>2</sup>*Russian State Hydrometeorological University 196195, St. Petersburg, Russia*

A probabilistic model of establishing connection between sender and recipient is proposed for assessing the functional reliability of infocommunication network. In the simulation model, the fact of established connection is determined as the delivery of a call within an allowed time. The time of the call depends on the selected virtual channel from the set of alternative routes taking into account the random distribution of faulty nodes and communication passes in the communication network.

**Keywords:** functional reliability, probability of delivery, connection to network, statistical modeling, virtual channel, transit, model experiment

**Data on authors**

**Tatiana M. Tatarnikova** — Dr. Sci., Professor; St. Petersburg State University of Economics, Department of Information Systems and Technologies;  
E-mail: tm-tatarn@yandex.ru

**Natalia V. Yagotinceva** — Post-Graduate Student; Russian State Hydrometeorological University, Department of Information Technologies and Security Systems;  
E-mail: solnishko234@yandex.ru

**For citation:** *Tatarnikova T. M., Yagotinceva N. V. Probabilistic model of connection establishing in infocommunication network // Journal of Instrument Engineering. 2017. Vol. 60, N 2. P. 136—142 (in Russian).*

DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-2-136-142