

---

---

# ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

---

---

УДК 004.021  
DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-1-23-31

## МЕТОД УСКОРЕННОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТЕВЫХ УЗЛОВ КОММУТАЦИИ

О. И. КУТУЗОВ<sup>1</sup>, Т. М. ТАТАРНИКОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
„ЛЭТИ“ им. В. И. Ульянова (Ленина), 197022, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,  
190000, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: tm-tatarn@yandex.ru

Предложен подход к декомпозиции узла коммутации в виде виртуальных каналов коммутации, связывающих передающие и принимающие порты узла. Имитационная модель конкретного пути передачи данных между портами узла коммутации сохраняет взаимосвязь параметров и процессов передачи между всеми портами узла. Предложенный подход способствует снижению размерности имитационной модели узла коммутации. Применение метода расслоенного моделирования на примере виртуального канала коммутации, как аналога узла коммутации, ускоряет процесс моделирования. Результаты эксперимента показывают эффективность совместного применения расслоения и снижения размерности модели узла коммутации.

**Ключевые слова:** имитационная модель, снижение размерности модели, узел коммутации, декомпозиция узла на виртуальные каналы коммутации, вероятностно-временные характеристики, время имитационного эксперимента

**Введение.** Имитационное моделирование в области информационных технологий переживает второе рождение [1, 2]. Реализация имитационных моделей базируется на четырех объектно-ориентированных доктринах, которые составляют основу библиотеки методов моделирования и их реализаций [3, 4]. При решении задач средствами имитационного моделирования осуществляется гибкий переход между различными приемами и технологиями. Такая объединенная логика открывает путь к фабрикам имитационных моделей, первые образцы которых уже существуют [5].

Одной из важных проблем имитационного моделирования сложных стохастических систем с распределенной структурой является обеспечение точности результатов моделирования при сокращении числа экспериментов  $N$  [6, 7].

Основным общим направлением достижения точности минимальными средствами является ускорение сходимости вычисляемых оценок. Ускорение может достигаться за счет соответствующего аналитического преобразования решаемой задачи и/или системотехническими методами ускорения расчетов, в частности путем организации параллельных вычислений и распределенного моделирования. Наибольшего эффекта удастся достичь, когда в методах ускорения учитывается специфика моделируемых объектов, решаемых задач и алгоритмов их решения [8, 9].

Для реализации ускорения используется множество разнообразных идей, одна из наиболее известных — понижение дисперсии. Эта идея состоит в следующем.

Поскольку при заданной точности  $v$  число экспериментов  $N$  определяется формулой

$$N = \left( \frac{v_y}{v} \right)^2 = \frac{D(y) / M^2(y)}{v^2},$$

то  $N$  можно уменьшить за счет понижения дисперсии  $D(y)$  выходной случайной величины  $y$ , т.е. вместо  $y$  предлагается разыгрывать другую случайную величину  $y'$  с тем же значением искомого математического ожидания  $M(y')=M(y)$ , но с меньшей дисперсией  $D(y') \ll D(y)$ .

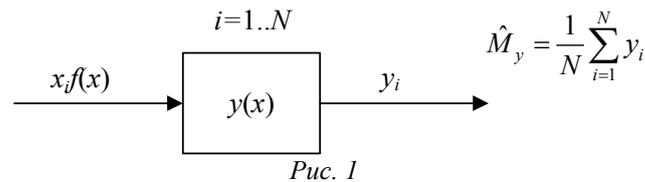
**Метод расслоения.** Для типовой исходной схемы статистического эксперимента (рис. 1) на имитационной модели введем следующие обозначения:

$\Omega$  — пространство исходов, т.е. множество всех возможных значений случайной величины  $X$ ;

$\Omega_1, \dots, \Omega_k$  — слои, т.е. такие подмножества пространства  $\Omega$ , что  $\bigcup_{j=1}^k \Omega_j = \Omega; \Omega_i \cap \Omega_j = \emptyset, i \neq j$ ;

$$w_j = P\{X \in \Omega_j\};$$

$M_j$  — условное математическое ожидание случайной величины  $y$  в слое  $\Omega_j$ .



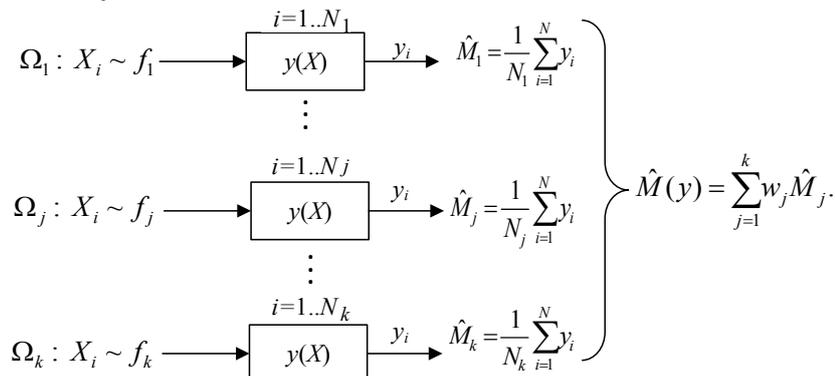
Известно, что безусловное математическое ожидание случайной величины выражается через условные математические ожидания следующим образом:

$$M(y) = \sum_{j=1}^k w_j M_j. \tag{2}$$

Отсюда вытекает идея расслоенного эксперимента: вначале выполнить эксперименты в отдельных слоях, в которых случайная величина  $y$  более или менее „близка к константе“, а затем по найденным „почти точным“ оценкам  $\hat{M}_j$  вычислить в соответствии с выражением (2) оценку

$$\hat{M}(y) = \sum_{j=1}^k w_j \hat{M}_j.$$

Схема расслоенного статистического эксперимента, воплощающая эту идею, может быть представлена следующей системой:



Для контроля за точностью эксперимента можно в каждом слое вычислять условную дисперсию выходной случайной величины:

$$\hat{D}_j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} y_i^2 - (\hat{M}_j)^2, \quad X_i \in \Omega_j, \quad (3)$$

и дисперсию внутрислойной оценки

$$\hat{D}(\hat{M}_j) = \frac{\hat{D}_j}{N_j}. \quad (4)$$

Эксперимент в каждом слое проводится так же, как в исходной схеме, только вместо безусловной плотности распределения вероятности  $f(t)$  используется условная  $f_j(t)$ .

В соответствии с линейным выражением (2) дисперсия итоговой оценки может быть вычислена по формуле

$$\hat{D}(\hat{M}) = \sum_{j=1}^k w_j^2 \hat{D}(\hat{M}_j).$$

Если нужно знать ошибку итоговой оценки в форме коэффициента вариации, то она вычисляется как обычно:

$$v^2 = \frac{\hat{D}(\hat{M})}{\hat{M}^2}.$$

Следует иметь в виду, что кроме удачного выбора слоев существует дополнительная возможность выигрыша в точности — за счет правильного определения общего числа экспериментов  $N$  по слоям:  $N = N_1 + \dots + N_k$ .

Эксперименты можно распределять рационально в соответствии с формулой

$$N_j = w_j N, \quad j = \overline{1, k}, \quad (5)$$

или оптимально — по формуле

$$N_j = \frac{\sigma_j w_j}{\sum_j \sigma_j p_j} N, \quad j = \overline{1, k}, \quad (6)$$

где  $\sigma_j = \sqrt{\hat{D}_j}$  — условное среднеквадратическое отклонение случайной величины  $y$  в слое  $\Omega_j$ .

Как правило,  $\sigma_j$  априори неизвестны и их заменяют на оценки

$$\hat{\sigma}_j = \sqrt{\hat{D}_j}, \quad j = \overline{1, k},$$

где  $\hat{D}_j$  определяется по формуле (3) путем выполнения пробного прогона программы с не очень большими значениями  $N_j$ .

При использовании распределения опытов по формуле (6) ошибка  $v$  расслоенного эксперимента будет минимальной для данного значения  $N$ . Распределение (5) приводит к худшей (во всяком случае, не лучшей) точности, чем (6). Тем не менее распределение опытов по формуле (5) используется чаще, так как оно проще и гарантирует (при любом расслоении эксперимента), что ошибка будет меньше (в крайнем случае, не больше), чем в исходной схеме [10].

Таким образом, рациональное, а тем более, и оптимальное распределения опытов гарантируют, что даже при самом неудачном расслоении точность расчетов не будет ухудшена [11].

Осуществление идеи ускорения рассмотрим на примере применения метода расслоения в имитационной модели коммутации.

**Имитационная модель коммутации.** Подход к построению имитационной модели коммутации рассмотрим на примере узла коммутации с общей шиной [12].

На узел коммутации поступают информационные потоки из смежных сетевых узлов и от непосредственно подключенных к нему абонентских пунктов [13, 14]. Рассматриваемый (исследуемый с точки зрения вероятностно-временных характеристик) поток (рис. 2) из некоторого входного порта  $\Pi_i$  узла коммутации в исходящий порт  $\Pi_j$  этого же узла назовем выделенным потоком (ВП). Вместе с ВП в исходящий порт  $\Pi_j$  поступают потоки из других портов узла коммутации, тем самым увеличивая общую интенсивность передаваемого в порт  $\Pi_j$  потока. Эти потоки являются фоновыми (ФП) по отношению к исследуемому ВП и вносят дополнительную задержку при передаче пакетов [14].

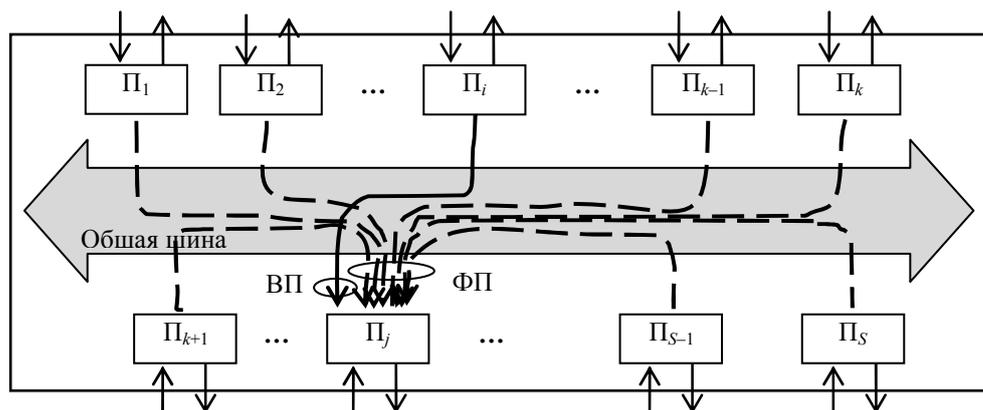


Рис. 2

При транспортировке пакетов через узел коммутации выполняются три процедуры.

1. Поступление информационного кадра в порт по входящему каналу, выделение из него пакета данных.
2. Транспортировка пакета по коммутирующей среде между портами.
3. Формирование кадра, передача кадра в порт по исходящему каналу.

Из принятого во входящем порту кадра выделяется пакет и переписывается в буферную память для дальнейшей транспортировки к исходящему порту.

Между поступающими в приемный порт кадрами наблюдаются межкадровые интервалы, продолжительность которых соответствует времени операций на приеме. Исходя из этих соображений, прием кадра можно формализовать одноканальной системой массового обслуживания (СМО) без очереди с соответствующим временем обслуживания [15].

Поскольку доступ к шине узла коммутации реализуется с задержкой, то моделью этапа транспортировки пакета между портами может служить СМО с ожиданием, в которой время обслуживания — это время передачи пакета по общей шине, выполняющей роль коммутирующей среды узла.

Одному и тому же каналу передачи могут быть адресованы пакеты из разных каналов приема. В этом суммарном потоке на входе исходящего порта присутствует выделенный поток в окружении фоновых (см. рис. 2). Поэтому на входе канала передачи может возникнуть очередь, обусловленная доступом к исходящему порту [16].

Следовательно, моделью этапа передачи пакета по исходящему каналу может служить СМО с ожиданием, где шина является источником требований (пакетов), а обслуживающим прибором — исходящий порт, в котором время обслуживания — это время формирования и передачи кадра в порт по исходящему каналу [17].

Таким образом, узел коммутации можно формализовать как трехфазную систему массового обслуживания (рис. 3). Соответственно задержка передаваемых пакетов в узле коммутации складывается из времени обработки на приеме, времени транспортировки пакетов между портами по внутренней среде узла коммутации и времени передачи по исходящему каналу.

Прием и передача пакетов по исходящим каналам — стандартные процедуры, время выполнения которых зависит от длины пакета и пропускной способности каналов связи, а коммутация — это процесс фрагментации пакетов при транспортировке их по шине [18].

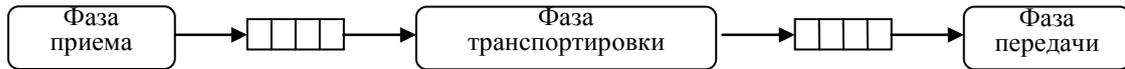


Рис. 3

Фаза приема пакета из входящего канала вносит фиксированное время задержки, зависящее от длины пакета и скорости приемного канала порта. Такую задержку достаточно просто учесть при поступлении каждого очередного пакета в узел коммутации. С учетом задержки приема можно считать, что выделенный поток поступает непосредственно на вторую фазу — на коммутирующую шину.

Каждый порт узла коммутации оснащен буферным пулом, ячейки которого динамически распределяются между принимаемыми и передаваемыми пакетами [19]. В порту узла коммутации сосредоточены все процедуры, связанные с передачей пакета в исходящий канал. Поэтому исходящий порт (см. рис. 2) можно рассматривать как канал связи. Время передачи по каналу связи определяет время обслуживания соответствующей СМО.

Влияние очередей на временные характеристики выделенного потока как на второй, так и на третьей фазе учитывается при имитации.

**Ускорение моделирования узла коммутации.** При имитационном моделировании узла коммутации требование многократных прогонов модели для получения убедительных статистических выводов, а также размерность моделируемого узла коммутации, с ростом которой увеличиваются затраты машинного времени, обуславливают применение метода ускоренного моделирования.

Для ускорения имитации предлагается использовать модель виртуального канала коммутации (ВКК). ВКК представляет собой логический канал, отображающий процесс транспортировки пакетов из приемного порта  $\Pi_i$  в передающий порт  $\Pi_j$ ,  $i, j = \overline{1, S}$ ,  $i \neq j$ . Таким образом выполняется декомпозиция узла коммутации на совокупность существующих в нем ВКК. Конкретные значения  $i$  и  $j$  можно выбрать случайным образом или назначить принудительно.

Модель ВКК (см. рис. 2) включает модель принимающего порта, модель передающего порта и модель транспортировки пакетов выделенного потока по общей шине из порта  $\Pi_i$  в порт  $\Pi_j$ . Остальные порты узла коммутации образуют фоновый поток, поступающий на вход  $j$ -го порта в соответствии с матрицей маршрутизации. Поступление пакетов ФП на вход  $j$ -го порта влияет на временные характеристики ВП, поскольку может увеличивать очередь в исходящем канале. Соответственно интенсивность ФП определяется выражением

$$\lambda_{\text{ФП}} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^S \lambda_k P_{kj}, \text{ где } \lambda_k \text{ — интенсивность потока, поступающего на вход } k\text{-го порта, } P_{kj} \text{ —}$$

элемент маршрутной таблицы [20].

Аналитический расчет и численные эксперименты, выполненные для полной модели узла коммутации на основе модели ВКК, показали хорошую сходимость. Это говорит о высокой степени достоверности предлагаемой модели, поскольку она практически ничем не ограничена [21].

В табл. 1 и 2 представлены сравнительные характеристики эффективности имитационной модели ВКК по отношению к полной имитационной модели узла коммутации. Данные табл. 2 соответствуют узлу коммутации с количеством портов  $S=64$  и характеризуют занимаемый программой объем оперативной памяти.

Таблица 1

Модель	Время на инициацию исходных данных, мс		Процессорное время, мс	
	Модель ВКК	Полная модель	Модель ВКК	Полная модель
К8	1	190	680	2233
К16	1	420	670	2424

Примечание. Модель К8 — коммутатор с 8 портами, модель К16 — коммутатор с 16 портами.

Таблица 2

Модель	Память, Мбайт	
	статическая	динамическая
ВКК	5,2	23
Полная	403	747

Модель ВКК чувствительна к нагрузке, асимметрии трафика, размеру поступлений (длине сообщения) и производительности (скорости) общей шины.

Программная модель ВКК как эквивалента полной схемы узла коммутации обеспечивает существенное сокращение размерности модели и соответственно времени моделирования.

**Заключение.** Применение аналитико-статистических методов в задачах проектирования и эксплуатации сложных систем с распределенной структурой обусловлено необходимостью определения дифференциальных и интегральных критериев качества их функционирования, в которых ряд ограничений задан алгоритмически с помощью имитационной модели, что требует больших затрат машинных ресурсов. Рассмотренные в статье метод расслоенного моделирования и модель виртуального канала коммутации в определенной степени способствуют решению этой проблемы.

Предложенный подход к декомпозиции процесса передачи данных между портами узла коммутации сохраняет взаимообусловленность параметров и процессов узла при имитационном моделировании конкретного пути обмена информацией. Прикладное значение данного метода состоит в ускорении машинного анализа систем с распределенной структурой. Имитационная модель виртуального канала коммутации обеспечивает универсальность задания режимов работы узла коммутации при оценке вероятностно-временных характеристик передачи пакетов в узле.

Приведенный тестовый пример показывает эффективность совместного применения расслоения и снижения размерности модели узла коммутации, представляемого в виде системы с распределенной структурой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутузов О. И., Татарникова Т. М. К анализу парадигм имитационного моделирования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17, № 3. С. 552—558. DOI: 10.17586/2226-1494-2017-17-3-552-558.
2. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб: БХВ-Петербург, 2005.
3. Гусева Е. Н. Имитационное моделирование экономических процессов в среде Agena. М.: Флинта, 2011.
4. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. М.: Юрайт, 2015.
5. Рыжиков Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технология. СПб: КОРОНА принт, 2015.
6. Соболев И. М. Численные методы Монте-Карло. М.: Физматлит, 1973.
7. Богатырев В. А., Богатырев С. В. Своевременность обслуживания в многоуровневых кластерных системах с поэтапным уничтожением просроченных запросов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2018. № 2. С. 28—35.
8. Поляк Ю. Г. Вероятностное моделирование на ЭВМ. М.: Сов. радио, 1971. 400 с.

9. Клейнен Дж. Статистические методы в имитационном моделировании / Пер. с англ.; Под ред. Ю. П. Адлера и В. Н. Варыгина. М.: Статистика, 1978.
10. Олзоева С. И. Распределенное моделирование в задачах разработки АСУ. Улан-Удэ, Изд-во ВСГТУ, 2005. 219 с.
11. Задорожный В. Н., Семенова И. И. Управление сложными техническими объектами и парадигмы имитационного моделирования // Омский научный вестник. 2006. № 2(35). С. 102—108.
12. Татарникова Т. М. Структурный синтез центра сопряжения корпоративных сетей // Информационно-управляющие системы. 2015. № 3 (76). С. 92—98.
13. Tanenbaum A., Wetherall D. Computer Networks. Prentice Hall, 2010.
14. Кутузов О. И., Татарникова Т. М. Моделирование систем и сетей телекоммуникаций: Учеб. пособие. СПб: РГГМУ, 2012.
15. Кутузов О. И., Сергеев В. Г., Татарникова Т. М. Коммутаторы в корпоративных сетях. Моделирование и расчет. СПб: Судостроение, 2003.
16. Богатырев В. А., Богатырев С. В. Резервированная передача данных через агрегированные каналы в сети реального времени // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 9. С. 735—740.
17. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб: Питер, 2016.
18. Богатырев В. А., Богатырев С. В. Эффективность резервирования и фрагментации пакетов при передаче по агрегированным каналам // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 2. С. 165—170.
19. Богатырев В. А., Богатырев С. В. Надежность мультикластерных систем с перераспределением потоков запросов // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 2. С. 171—177.
20. Татарникова Т. М., Елизаров М. А. Имитационная модель виртуального канала // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16, № 6. С. 112.
21. Кутузов О. И., Тонг Минь Дык. Подход к расчету коммутатора с доступом портов к общей шине по прерываниям // Материалы междунар. науч. конф. МКИССиТ\_2006 „Информационные сети, системы и технологии“, 30 окт.—02 нояб. 2006, Санкт-Петербург. С. 29—30.

**Сведения об авторах****Олег Иванович Кутузов**

— д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет „ЛЭТИ“ им. В.И. Ульянова (Ленина), кафедра информационных систем;  
E-mail: kutuzov-oleg@mail.ru

**Татьяна Михайловна Татарникова**

— д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кафедра безопасности информационных систем;  
E-mail: tm-tatarn@yandex.ru

Поступила в редакцию  
31.03.18 г.

**Ссылка для цитирования:** Кутузов О. И., Татарникова Т. М. Метод ускоренного имитационного моделирования сетевых узлов коммутации // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 1. С. 23—31.

## METHOD OF ACCELERATED SIMULATION OF NETWORK SWITCHING NODES

O. I. Kutuzov<sup>1</sup>, T. M. Tatarnikova<sup>2</sup><sup>1</sup>St. Petersburg Electrotechnical University LETI, 197022, St. Petersburg, Russia<sup>2</sup>St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,  
190000, St. Petersburg, Russia  
E-mail: tm-tatarn@yandex.ru

An approach is proposed for decomposition of switching node into virtual commutation channels connecting the transmitting and receiving node ports. The developed simulation model of a specific data transfer path between the ports of the switching node preserves the interrelation of parameters and transmission processes between all node ports. The proposed approach allows to reduce dimension of the switching node simulation model. By the example of virtual switching channel, as an analog of the switching node, it is demonstrated that application of the layered modeling method speeds up the modeling process. Presented results show the efficiency of joint application of the layered approach and the reduction of the switching node model dimension.

**Keywords:** simulation model, model dimension reduction, switching node, node decomposition into virtual switching channels, probabilistic-time characteristics, time of simulation experiment

## REFERENCES

1. Kutuzov O.I., Tatarnikova T.M. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, no. 3(17), pp. 552–558, DOI: 10.17586/2226-1494-2017-17-3-552-558. (in Russ.)
2. Karpov Yu.G. *Imitatsionnoye modelirovaniye sistem. Vvedeniye v modelirovaniye s AnyLogic 5* (Imitating Modeling of Systems. Introduction to Modeling with AnyLogic 5), St. Petersburg, 2005. (in Russ.)
3. Guseva E.N. *Imitatsionnoye modelirovaniye ekonomicheskikh protsessov v srede Arena* (Simulation Modeling of Economic Processes in Arena Environment), Moscow, 2011. (in Russ.)
4. Sovetov B.Ya., Yakovlev S.A. *Modelirovanie sistem* (Modeling of Systems), Moscow, 2015. (in Russ.)
5. Ryzhikov Yu.I. *Imitatsionnoye modelirovaniye. Teoriya i tekhnologiya* (Simulation Modeling. Theory and Technology), St. Petersburg, 2015. (in Russ.)
6. Sobol' I.M. *Chislennyye metody Monte-Karlo* (Monte Carlo Numerical Methods), Moscow, 1973. (in Russ.)
7. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V. *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologii* (Herald of computer and information technologies), 2018, no. 2, pp. 28–35. (in Russ.)
8. Polyak Yu.G. *Veroyatnostnoye modelirovaniye na EVM* (Probabilistic Computer Simulation), Moscow, 1971, 400 p. (in Russ.)
9. Kleijnen J.P.C. *Statistical techniques in simulation*, NY, M. Dekker, 1974–1975.
10. Olzoyeva S.I. *Raspredelennoye modelirovaniye v zadachakh razrabotki ASU* (Distributed modeling in the tasks of ACS development), Ulan-Ude, 2005, 219 p. (in Russ.)
11. Zadorozhnyy V.N., Semyonova I.I. *Omskiy nauchnyy vestnik* (Omsk Scientific Bulletin), 2006, no. 2(35), pp. 102–108. (in Russ.)
12. Tatarnikova T.M. *Information and Control Systems*, 2015, no. 3(76), pp. 92–98. (in Russ.)
13. Tanenbaum A., Wetherall D. *Computer Networks*, Prentice Hall, 2010.
14. Kutuzov O.I., Tatarnikova T.M. *Modelirovaniye sistem i setey telekommunikatsiy* (Modeling of Telecommunication Systems and Networks), St. Petersburg, 2012, 134 p. (in Russ.)
15. Kutuzov O.I., Sergeyev V.G., Tatarnikova T.M. *Kommutatory v korporativnykh setyakh. Modelirovaniye i raschet* (Switches in Corporate Networks. Modeling & Calculation), St. Petersburg, 2003. (in Russ.)
16. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V. *Journal of Instrument Engineering*, 2016, no. 9(59), pp. 735–740. (in Russ.)
17. Olifer V., Olifer N. *Komp'yuternyye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly* (Computer Networks. Principles, Technologies, Protocols), St. Petersburg, 2016. (in Russ.)
18. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V. *Journal of Instrument Engineering*, 2017, no. 2(60), pp. 165–170. (in Russ.)
19. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V. *Journal of Instrument Engineering*, 2017, no. 2(60), pp. 171–177. (in Russ.)
20. Tatarnikova T.M., Elizarov M.A. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2016, no. 6(16), pp. 112. (in Russ.)
21. Kutuzov O.I., Tong Min' Dyk, *Informatsionnyye seti, sistemy i tekhnologii "MKISSiT\_2006"* (Information Networks, Systems and Technologies "MKISSiT\_2006"), Proceedings of the International Scientific Conference, St. Petersburg, 30 October–02 November, 2006, pp. 29–30. (in Russ.)

**Data on authors**

- Oleg I. Kutuzov** — Dr. Sci., Professor; St. Petersburg Electrotechnical University LETI,  
Department of Information Systems;  
E-mail: kutuzov-oleg@mail.ru
- Tatiana M. Tatarnikova** — Dr. Sci., Professor; St. Petersburg State University of Aerospace  
Instrumentation, Department of Information Systems Security;  
E-mail: tm-tatarn@yandex.ru

**For citation:** Kutuzov O. I., Tatarnikova T. M. Method of accelerated simulation of network switching nodes. *Journal of Instrument Engineering*. 2019. Vol. 62, N 1. P. 23—31 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-1-23-31