



Национальный исследовательский  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
им. В.А. ТРАПЕЗНИКОВА РАН

# **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ (ИТММ-2018)**

**МАТЕРИАЛЫ  
XVII Международной конференции  
имени А. Ф. Терпугова  
10–15 сентября 2018 г.**



ТОМСК  
«Издательство НТЛ»  
2018

УДК 519  
ББК 22.17  
И74

И74 Информационные технологии и математическое моделирование  
(ИТММ-2018): Материалы XVII Международной конференции  
имени А.Ф. Терпугова (10–15 сентября 2018 г.). – Томск: Изд-во  
НТЛ, 2018. – 442 с.

ISBN 978-5-89503-621-1

Сборник содержит материалы докладов, в которых отражены основные  
направления XVII Международной конференции имени А.Ф. Терпугова:  
прикладной вероятностный анализ, теория массового обслуживания и теория  
телетрафика, интеллектуальный анализ данных, информационные техноло-  
гии и математическое моделирование.

Для специалистов в области информационных технологий и математиче-  
ского моделирования.

УДК 519  
ББК 22.17

Редакция:

**С.П. Моисеева**, доктор физико-математических наук, доцент,  
**А.А. Назаров**, доктор технических наук, профессор.

*Конференция проводится при поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований  
(проект № 18-07-20048-2)*

ISBN 978-5-89503-621-1

© Авторы. Текст, 2018  
© Оформление. Дизайн.  
ООО «Издательство НТЛ», 2018

# **Analysis of transport connection by a network of queuing systems**

**P.A. Mikheev, A.A. Pichugina, S.P. Sushchenko**

*National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*

The most important operational characteristics of multi-link virtual channels are their throughput and average end-to-end delay of protocol data units. These figures are determined not only by the reliability of data transmission in each section of the retransmissions, but also the number of buffer storages for receiving data packets at transit nodes. Known approaches to the analysis of these performance indicators and the results in this area [1–9] are focused on models of QS networks with continuous time for given distributions of input flows and transmission time of protocol data units that do not take into account the specifics of linear control protocols. These methods lead to approximate results, obtained, as a rule, by time-consuming numerical calculations. Modeling using models with discrete time is performed in [10–13], but the results are obtained only at the linear level for a two-link data transmission path. Since the algorithms with decisive feedback are the basis of the control procedures for the linear and transport level protocols, systems with discrete time are the more adequate description of real information transfer processes [11, 13]. However, analysis of QS networks with discrete time is a nontrivial task, since the output flows of discrete Markov QS in most cases lose Markov properties [14]. The model proposes a data transmission path model consisting of several retransmissions sites with limited storage in transit nodes, taking into account the discrete nature of the information transfer process.

Consider a data transmission path consisting of  $D$  consecutive links. We will assume that the exchange in each link is performed by complete information packets in accordance with the start-stop protocol procedure. The duration of the transmission cycle of the packet  $t$  from the beginning of its output to the communication line until confirmation of the receipt will be assumed to be the same on all the retransmission sections, and the buffer stores of the transit nodes of the path are bounded by the sizes  $K_d$ ,  $d = \overline{1, D-1}$ . We also believe that the reliability of packet transmission in the  $d$  link is  $F_d$ , and the number of retransmissions due to distortions of information packets and

acknowledgments, as well as buffer memory locks is not limited. At the same time, the error-free transmission time of a packet for each link is a random variable that is a multiple of  $t$  and has a geometric distribution law with the parameter  $F_d$ . We assume, in addition, that the transmitting node of the first link always has packets for sending along the considered path, and in transit nodes "external" flows are not added to the main traffic. Then the behavior of the multilinked data transmission path is described by an open Markov network of  $D-1$  discrete QS [13], the intensity of the input flow to which is determined by the value  $F_d$ , and the service intensity in each  $d$  QS ( $d = \overline{1, D-1}$ ) is the value of  $F_{d+1}$ . Since we are considering a path with limited queue sizes in transit nodes, the output streams of each discrete QS will not be Markov's [14]. Therefore, such a network cannot be analyzed as a collection of independent Markov discrete QS, but should be described by an enclosed Markov chain in a  $D-1$ -dimensional space with the number of states equal to the product  $\prod_{d=1}^{D-1} (K_d + 1)$ . We denote by  $\pi_A^B$  the transition probabilities of the Markov chain from the state  $A$  to the state  $B$ , where  $A = i_{D-1}i_{D-2}\dots i_1; B = j_{D-1}j_{D-2}\dots j_1; i_d = \overline{0, K_d}; j_d = \overline{0, K_d}; d = \overline{1, D-1}$  – are the  $D-1$ -bit numbers of the initial and changed states of the Markov chain in a  $(D-1)$ -dimensional space with the cardinality of the set of values in  $d$  digit ( $d$  dimension of space) equal to  $K_d + 1$ , and  $P_A$  are the probabilities of states of the Markov chain. The throughput of a path of length  $D$ , is denoted by  $Z_D(K_1, \dots, K_{D-1})$ , and the average end-to-end delay –  $T_D(K_1, \dots, K_{D-1})$ . Since the model in question assumes that the sender always has packets to transmit, this operational indicator corresponds to the average upper limit of the delay. The throughput of the multi-link path is determined by the average value of the acknowledged (serviced) flow:

$$Z_D(K_1, \dots, K_{D-1}) = F_D \sum_{i_1=0}^{K_1} \dots \sum_{i_{D-2}=0}^{K_{D-2}} \sum_{i_{D-1}=1}^{K_{D-1}} P_{i_{D-1}\dots i_1}.$$

The indicator of the average end-to-end packet delay, measured in durations of  $t$ , is composed of the time of entry into the QS network (the transmission time at the first link) and the service time in the QS network (the transmission time for the remaining links before reaching the destination node of the  $D$  section of the retransmitting taking into account the presence of queues in transit nodes) [4]:

$$T_D(K_1, \dots, K_{D-1}) = \frac{1 + \bar{K}_D}{Z_D(K_1, \dots, K_{D-1})},$$

where  $K_D$  is the average number of packets in all transit nodes of the data path (in the QS network):

$$\bar{K}_D = \sum_{i_1=0}^{K_1} \dots \sum_{i_{D-2}=0}^{K_{D-2}} \sum_{i_{D-1}=0}^{K_{D-1}} \sum_{d=0}^{D-1} i_d P_{i_{D-1} \dots i_1}.$$

Let's start with the data transfer path, which consists of three retransmission areas with buffers of arbitrary size in transit nodes. The type of transition probabilities of the Markov chain describing the transport process along such a path is given in Table 1.

Table 1

**Transitional probabilities for a three-link path**

$\pi_{i_2 i_1}^{j_2 j_1}$	$i_2$	$i_1$	$j_2$	$j_1$
$F_1$	0	0	0	1
$F_1(1 - F_2)$	0	$\overline{1, K_1 - 1}$	0	$i_1 + 1$
$F_2(1 - F_1)$	0	$\overline{1, K_1}$	1	$i_1 - 1$
$F_1 F_2$	0	$\overline{1, K_1}$	1	$i_1$
$F_3(1 - F_1)$	$\overline{1, K_2}$	0	$i_2 - 1$	0
$F_1(1 - F_3)$	$\overline{1, K_2}$	0	$i_2$	1
$F_1(1 - F_3)$	$K_2$	$\overline{1, K_1 - 1}$	$K_2$	$i_1 + 1$
$F_1 F_3$	$\overline{1, K_2}$	0	$i_2 - 1$	1
$F_3(1 - F_1)(1 - F_2)$	$\overline{1, K_2}$	$\overline{1, K_1 - 1}$	$i_2 - 1$	$i_1$
$F_3(1 - F_2)$	$\overline{1, K_2}$	$K_1$	$i_2 - 1$	$K_1$
$F_2 F_3(1 - F_1)$	$\overline{1, K_2}$	$\overline{1, K_1}$	$i_2$	$i_1 - 1$
$F_2(1 - F_1)(1 - F_3)$	$\overline{1, K_2 - 1}$	$\overline{1, K_1}$	$i_2 + 1$	$i_1 - 1$
$F_1 F_2(1 - F_3)$	$\overline{1, K_2 - 1}$	$\overline{1, K_1}$	$i_2 + 1$	$i_1$
$F_1(1 - F_2)(1 - F_3)$	$\overline{1, K_2 - 1}$	$\overline{1, K_1 - 1}$	$i_2$	$i_1 + 1$
$F_1 F_3(1 - F_2)$	$\overline{1, K_2}$	$\overline{1, K_1 - 1}$	$i_2 - 1$	$i_1 + 1$

For  $K_1 = K_2 = 1$ , the solution of the system of local equilibrium equations for the Markov chain describing the three-link transport connection has the form:

$$P_{00} = \frac{F_2 F_3^2 (1 - F_1)^2}{F_3 (F_1 + F_3(1 - F_1))(F_1 + F_2(1 - F_1)) + F_1^2 F_2 (1 - F_3)};$$

$$P_{01} = P_{00} \frac{F_1 (F_1(1 - F_2) + F_3(1 - F_1))}{F_2 F_3 (1 - F_1)^2};$$

$$P_{10} = P_{00} \frac{F_1}{F_3 (1 - F_1)}; \quad P_{11} = P_{00} \frac{F_1^2}{F_3^2 (1 - F_1)^2}.$$

The throughput of the three-link path is determined by the value

$$Z_3(1,1) = \frac{F_1 F_2 F_3 (F_1 + F_3(1 - F_1))}{F_3 (F_1 + F_3(1 - F_1))(F_1 + F_2(1 - F_1)) + F_1^2 F_2 (1 - F_3)}.$$

Let us consider particular cases of this solution. It is not difficult to see that for two absolutely reliable channels ( $F_1 = F_2 = 1$ , or  $F_2 = F_3 = 1$ , or  $F_1 = F_3 = 1$ ), the throughput of a three-link path is determined by the reliability of the transmission in the third ( $F_3$ , or  $F_1$ , or  $F_2$ , respectively). For the case when the first retransmission area is absolutely reliable  $F_1 = 1$ , the throughput assumes the form coinciding with the expression of this indicator for the two-link path [12]:

$$Z_3(1,1) = \frac{F_2 F_3}{F_2 + F_3(1 - F_2)}. \quad (1)$$

With the statistically homogeneous second and third links of the data transfer path ( $F_2 = F_3 = F$ ), this relation is transformed to the form:

$$Z_3(1,1) = \frac{F}{2 - F}. \quad (2)$$

The throughput of the path with the deterministic average channel ( $F_2 = 1$ ) takes the following form:

$$Z_3(1,1) = \frac{F_1 F_3 (F_1 + F_3(1 - F_1))}{F_3 (F_1 + F_3(1 - F_1)) + F_1^2 (1 - F_3)}.$$

In this case the values  $F_1 = F_3 = F$  lead to the ratio:

$$Z_3(1,1) = \frac{F(2-F)}{1+2(1-F)}. \quad (3)$$

For  $F_3 = 1$  we have  $Z_3(1,1) = \frac{F_1 F_2}{F_1 + F_2(1-F_1)}$ . It is not difficult to see that this

ratio is exactly the same as (1). The comparison (2) and (3) shows that (3) exceeds (2) by  $\Delta = \frac{F(1-F)^2}{(3-2F)(2-F)}$  assuming the maximum value when

$F = 0,468$ . This fact is easily explained by the fact that the absolutely reliable channel of the second link of data transfer serves as an additional buffer for storing packets between the first and third sections of the retransmission, thereby reducing the probability of blocking buffer memory. For a statistically homogeneous data transmission path ( $F_1 = F_2 = F_3 = F$ ) we have:

$Z_3(1,1) = F \frac{2-F}{1+3(1-F)+(1-F)^2}$ . Now let us consider a statistically homo-

geneous path for  $K_1 = 1$  and an arbitrary  $K_2$ . For a given  $K_2$ , writing out the equilibrium equations, taking into account the normalization condition, one can find the state probabilities and operational parameters of the path. For  $K_2 = \overline{2,4}$ , the throughput values are as follows:

$$Z_3(1,2) = \frac{F[6-3F+(1-F)^2]}{10-7F+4(1-F)^2+(1-F)^3};$$

$$Z_3(1,3) = \frac{F[15-8F+4(1-F)^2+(1-F)^3]}{23-16F+12(1-F)^2+5(1-F)^3+(1-F)^4};$$

$$Z_3(1,4) = \frac{F[35-20F+13(1-F)^2+5(1-F)^3+(1-F)^4]}{51-36F+33(1-F)^2+18(1-F)^3+6(1-F)^4+(1-F)^5}.$$

Under the assumption that  $K_1$  is arbitrary and  $K_2 = 1$  it is easy to obtain the values  $P_{ij}$  and the ratios for the throughput that satisfy the equality  $Z_3(K_1,1) = Z_D(1,K_2)$  if  $K_1$  and  $K_2$  coincide here. Thus, the throughput rate is invariant to the order of transit nodes with buffer storage of different vol-

umes along a statistically homogeneous data path. At the same time, the average end-to-end delay is dependent on this order. Numerical analysis shows that with the growth of  $K_2$ , the throughput of the three-link path  $Z_3(1, K_2)$  rapidly tends to the theoretical limit  $Z_2(1)$ . A study of a homogeneous path with  $K_1 = K_2 = 2$  shows that throughput is determined by expression:

$$Z_3(2, 2) = \frac{F[50 - 26F + 17(1-F)^2 + 9(1-F)^3 + 2(1-F)^4]}{70 - 46F + 35(1-F)^2 + 21(1-F)^3 + 8(1-F)^4 + (1-F)^5}.$$

With the further increase of  $K_1$  and  $K_2$ , the structural complexity of the analytical solution is rapidly increasing. A comparative analysis of the throughput of  $Z_3(K_1, K_2)$  with different ratios between  $K_1$  and  $K_2$  shows that the uniform distribution of buffers along the data path provides the best values of this operating characteristic. This fact should be considered when building multi-link connections. Assume now that  $F_1 = 1, F_2 = F_3 = F$  and  $K_1$  and  $K_2$  are arbitrary. Then the set of probable states is formed by a set of two adjacent geometric figure: rectangle ( $i = \overline{0, 1}; j = \overline{1, K_2}$ ) and line segment ( $i = \overline{0, K_1}; j = K_2$ ). Operational indicator thus have the following form:

$$Z_3(K_1, K_2) = \frac{F[K_1 + K_2 - F]}{1 + K_1 + K_2 - 2F}. \text{ It follows that for an unbounded growth of}$$

$K_1$  or  $K_2$ , the throughput of  $Z_3(K_1, K_2)$  tends to the value  $F$ .

Discrete models of a multi-link data transmission path are proposed, which differ by taking into account the blocking factor of the limited buffer memory of transit nodes. The proposed models allow analyzing the effect of storage capacity on transport protocols performance indicators. The invariance of the throughput index to the order of transit nodes with buffer storage of different capacities along a statistically homogeneous data path is found, and the dependence of the average end-to-end delay of the packet on this order is insignificant. The expediency of the uniform distribution of the buffer space among the transit nodes along the multi-link path, ensuring the best performance of the transport connection, is established. It is shown that when constructing network data transmission paths consisting of a large number of retransmission site, reliable communication channels should be evenly distributed between links with a high level of distortion. In this way, these retransmission sites act as additional buffers between unreliable links and re-

duce the negative blocking factor of the buffer memory. An analytical estimate of the lower limit of throughput and an upper estimate of the average end-to-end delay of the multi-link data path corresponding to the minimum number of buffers in the transit nodes are obtained.

#### REFERENCES

1. *Basharin G.P., Bocharov P.P., Kogan Y.A.* Analysis of queues in computer networks. Theory and methods of calculation. M.: Nauka, 1989. 336 p.
2. *Boguslavsky L.B.* Data flow control in computer networks. Moscow: Energoatomizdat, 1984. 184 p.
3. *Zhozhikashvili V.A., Vishnevsky V.M.* Networks queuing . Theory and application to computer networks. Moscow: Radio and communication, 1988. 192 p.
4. *Vishnevsky V.M.* Theoretical bases of designing of computer networks. Moscow: Technosphere, 2003. 512 p.
5. *Ivnitsky V.A.* Theory of queuing networks. M.: Fizmatlit, 2004. 772 p.
6. *Walrand George.* Introduction to the theory of queuing networks. M.: Mir, 1993. 336 p.
7. *Moiseev A.N., Nazarov A.A.* Infinitely linear systems and queuing networks. Tomsk: Publishing house NTL, 2015. 240 p.
1. *Zorkaltsev A.V.* Analysis of local flow control in packet switching node // Automatic control and computer engineering. 1992. No. 4. P. 20–27.
9. *Zorkaltsev A.V.* Analysis of procedures flow control in a switching node of the network with virtual channels // Automatic control and computer engineering. 1993. No. 4. P. 35–42.
10. *Mikheev P.A.* Analysis of strategies for separating the end of the buffer memory of the router between the output channels // Automation and Remote Control. 2014. No. 10. P. 125–138.
11. *Sushchenko S.P.* On the effect of locking the buffer memory on the performance of synchronous management procedures link data transfer // Automation and Remote Control. 1999. No. 10. P. 115–125.
12. *Sushchenko S.P.* On the effect of locking the buffer memory to the operational characteristics of a link data transmission // Automatic Control and Computer Engineering. 1985. No. 6. P. 27–34.
13. *Mikheev P.A., Sushchenko S.P.* Mathematical models of networks of access level. Novosibirsk: Nauka, 2015. 232 p.
14. *Ivanovsky V.B.* On properties of output flows in discrete queuing systems // Automation and Remote Control. 1984. No. 11. P. 32–39.

---

**Михеев** Павел Андреевич, к.т.н.; doka.patrick@gmail.com;  
**Сущенко** Сергей Петрович, д.т.н., профессор; ssp.inf.tsu@gmail.com;  
**Пичугина** Анастасия Александровна, ст. преподаватель

# СОДЕРЖАНИЕ

## МОДЕЛИ И МЕТОДЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

<b>Dimitrov M.</b> The workload in the $MAP/G/1$ queue with state-dependent services in heavy traffic.....	3
<b>Kerobyan K., Kerobyan R.</b> Analysis of an Infinite-server queue $MAP_k G_k \infty$ in random environment with $k$ Markov Arrival Streams and random volume of customers.....	9
<b>Kerobyan K., Kerobyan R., Covington R.R., Enakoutsa K.</b> Infinite-server queueing model $MMAP_k G_k \infty$ in random environment and subject to catastrophes .....	16
<b>Konovalov M., Razumchik R.</b> Revisiting $M/D/1/N$ FIFO queue with renovation.....	22
<b>Mikheev P.A., Pichugina A.A., Sushchenko S.P.</b> Analysis of transport connection by a network of queuing systems.....	26
<b>Nosova M.G.</b> Research of a three-phase autonomous queuing system with a Markov Modulated Poisson process.....	33
<b>Tsareva G.O.</b> Numerical analysis of mean-field model of queuing system with a small parameter .....	39
<b>Измайлова Я.Е., Назаров А.А.</b> Исследование RQ-системы $M/E2/1$ с вытеснением заявок и фазовым дообслуживанием .....	45
<b>Катаева С.С., Катаев С.Г., Долгий М.Е.</b> Исследование структуры потока случайных природных событий аппроксимацией МС-потоком.....	51
<b>Клименок В.И.</b> Система массового обслуживания с поломками и резервным обслуживающим устройством .....	58
<b>Копать Д.Я., Маталыцкий М.А.</b> Нахождение ожидаемых доходов в G-сети с ненадёжными многолинейными системами обслуживания .....	66
<b>Лебедев Е.А., Ливинская А.В.</b> Аппроксимация сетей массового обслуживания с различной стартовой загрузкой .....	73
<b>Лившиц К.И., Ульянова Е.С.</b> Вероятностные характеристики модели управления запасами с релейным управлением темпом производства и ММР-потоком моментов продаж.....	80
<b>Лисовская Е.Ю., Галилейская А.А.</b> Суммарный объем занятого ресурса в ресурсной системе массового обслуживания $GI^{(v)}/GI^{(n)} \infty$ с $n$ типами заявок .....	88

<b>Назаров А.А., Даммер Д.Д.</b> Методы предельной декомпозиции и марковского суммирования для исследования потоков в системах с неограниченным числом приборов.....	94
<b>Назаров А.А., Капустин Е.В.</b> Распределение вероятностей состояний RQ-системы M M 1 с конфликтами заявок .....	102
<b>Назаров А.А., Худяшова Е.Е.</b> Исследование системы MMPP GI  $\infty$ с бесконечным значением среднего времени обслуживания.....	107
<b>Нежельская Л.А., Сидорова Е.Ф.</b> Оптимальное оценивание состояний обобщенного синхронного потока событий второго порядка .....	113
<b>Нежельская Л.А., Тумашкина Д.А.</b> Оптимальная оценка состояний полусинхронного потока событий второго порядка в условиях его полной наблюдаемости .....	119
<b>Рыжиков Ю.И.</b> Многоканальные системы обслуживания с марковским нетерпением .....	125
<b>Рыжиков Ю.И.</b> Расчет систем обслуживания с большим числом каналов.....	132
<b>Пауль С.В., Назаров А.А.</b> Анализ RQ-системы M/GI/GI/1/1 с вызываемыми заявками, ненадежным прибором и дообслуживанием прерванных заявок .....	139
<b>Саркер М., Аду К.И.</b> К анализу вероятности блокировки в модели беспроводной сети со случайным объемом ресурса .....	146
<b>Станкевич Е.П.</b> Использование сетей массового обслуживания с групповыми переходами требований в качестве моделей транспортных систем .....	151
<b>Шкленик М.А., Моисеев А.Н.</b> Исследование потоков в неоднородной системе массового обслуживания с неограниченным числом обслуживающих устройств и повторными обращениями.....	156

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ

<b>Khazal G., Zamyatin A.</b> Framework for Arabic Text Classification Based on Topic Modeling.....	163
<b>Shumilov B.M.</b> To the problem of three points in computer vision.....	174
<b>Докучаев Д.А., Баранова И.В.</b> Исследование основных методов распознавания лиц на фотографиях .....	181

<b>Катаева А.В.</b> Интеллектуальная поддержка принятия решений в диагностике и лечении наркозависимых.....	185
<b>Костюк Ю.Л., Литовченко М.И., Смирнова А.А.</b> Распознавание трехмерных объектов на местности по данным лазерного сканирования .....	193
<b>Ключников В.К., Герасимова Ю.А., Шумилов Б.М.</b> Алгоритм распознавания дефектов дорожного покрытия с использованием мобильных видеозмерений .....	199
<b>Мазуренко В.А.</b> Прогнозирование дневных изменений цен на Биткойн с помощью методов интеллектуального анализа текста .....	203

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ**

<b>Botygin I.A., Krutikov V.A., Sherstnev V.S., Sherstneva A.I.</b> Research of correlation dependences of soil of warm-up highways ....	207
<b>Huseynova G.N.</b> Hidden information transmission via cloud computing.....	214
<b>Бабанов А.М.</b> Вербализация структурного компонента ERM-схем .....	216
<b>Бабанов А.М., Квач Е.С.</b> «IS-А»-отношения в моделях представления знаний и данных .....	223
<b>Быкова В.В., Солдатенко А.А.</b> Об оценке ресурсных возможностей мультисервисных сетей.....	230
<b>Елесин С.С., Моисеев А.Н.</b> Выбор технологий виртуальной реальности для применения в учебных курсах .....	236
<b>Лепший М.В., Шинкевич Ю.В., Труфанов Д.С.</b> Разработка программы для нахождения оптимальных маршрутов вывоза твердых коммунальных отходов.....	242
<b>Любезнов И.А., Биллер М.Г.</b> Применения 3D-моделирования в задачах разработки проектов модернизации производства ДВП .....	247
<b>Манхирова В.В.</b> Исследование испаноязычной поэзии Золотого века методами тематического моделирования .....	251
<b>Монгуш Ч.М.</b> О классификации произведений тувинского фольклора и распознавании жанра героического эпоса .....	257
<b>Поттосина С.А., Сергеева И.Л.</b> Программная поддержка управления портфелем ценных бумаг на основе ликвидности.....	264
<b>Шинкевич О.В.</b> Внедрение и сопровождение информационной базы «КАМИН:Кадровый учет 3.0» с добавлением новых функциональностей.....	270

## ПРИКЛАДНОЙ ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ И ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

<b>Алиев И.А.</b> Модель системы обслуживания-запасания с разнотипными заявками .....	274
<b>Баранова И.В.</b> Применение метода двудольных множеств событий для кластеризации разнотипных данных.....	281
<b>Богданова Е.Ю., Рыжов Н.А.</b> Анализ модели движения автотранспорта через регулируемый перекресток «умного города» ....	287
<b>Бородина А.В., Лукашенко О.В., Морозов Е.В.</b> Методы понижения дисперсии оценок некоторых характеристик процесса деградации.....	290
<b>Бронер В.И., Балдаев Р.А.</b> Имитационное моделирование системы релейного управления запасами с кусочно-постоянными параметрами экспоненциальных распределений объемов поступления и потребления ресурса .....	295
<b>Быков Н.В., Товарнов М.С.</b> Имитационное моделирование взаимодействия мобильного робота с возможностью вертикального перемещения с окружением .....	300
<b>Войтишек А.В.</b> Об «универсальных» алгоритмах моделирования случайной величины, распределенной на конечном интервале....	306
<b>Жданков А.Н., Сафир М.Д.</b> Пример реализации вероятностной модели случайного блуждания беспроводных устройств на целочисленной решетке .....	314
<b>Задорожный В.Н., Юдин Е.Б.</b> Исследование графов предпочтительного связывания со степенной весовой функцией .....	319
<b>Каргин Б.А., Каблукова Е.Г., Чжэн П.</b> Весовой алгоритм моделирования переноса излучения в стохастических рассеивающих и поглощающих средах.....	326
<b>Мачнев Е.А., Ярцева И.С.</b> Имитационное моделирование многосвязности.....	333
<b>Платонова А.А.</b> Об определении момента остановки моделирования некоторых распределений для достижения заданной точности оценки.....	336
<b>Поляков Н.А., Макеева Е.Д.</b> Численный анализ вероятности блокировки установления соединения между парой устройств в беспроводной сети миллиметрового диапазона.....	343
<b>Семенова Д.В., Лукьянова Н.А., Голденок Е.Е.</b> Модифицированный метод рекуррентного построения распределений ве-	

роятностей конечных случайных множеств на основе полно-	
стью вложенных иерархических копул.....	347
<b>Скрипкин В.С., Бесчастный В.А., Острикова Д.Ю.</b> Численный	
анализ скорости передачи данных в беспроводной сети с раз-	
делением пользователей на подгруппы мультивещания.....	354
<b>Харин П.А., Поляков Н.А.</b> К разработке имитационной модели	
установления соединения между парой устройств в беспро-	
водной сети миллиметрового диапазона.....	359

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

<b>Medvedev G.</b> Nonaffine models of yield term structure.....	362
<b>Васильев С.А., Урусова Д.А., Салех Х.Х.</b> Исследование устой-	
чивости равновесия в экономико-математических моделях	
рынка телекоммуникаций.....	374
<b>Георгиев В.О., Прокопьев Н.А.</b> Исследование прикладного	
применения формальных математических моделей в генера-	
ции программного обеспечения.....	378
<b>Калашников П.В.</b> Математическая модель оценки баланса со-	
лидарно-распределительной пенсионной системы в долго-	
срочном периоде.....	380
<b>Ким К.С., Смагин В.И.</b> Синтез нестационарного экстраполятора	
для дискретных моделей с марковскими скачкообразными па-	
раметрами.....	388
<b>Марченко О.В., Сергеева А.М.</b> Математическое моделирование	
деформирования тяжелой упругой пластины конечной тол-	
щины под воздействием системы нагрузок .....	395
<b>Новожилов М.А., Ивановский Р.И.</b> Анализ и применение мно-	
жественных межканальных связей в ЭЭГ.....	400
<b>Решетникова Г.Н.</b> Выбор поставщика при управлении заказами.....	406
<b>Урусова Д.А., Салех Х.Х., Царева Г.О.</b> Ценообразование на те-	
лекоммуникационные услуги в сетях 5G.....	412
<b>Чухно О.В., Самуилов К.Е.</b> О применении анализа социальных	
сетей для исследования степени согласия экспертов в про-	
цессе группового принятия решений .....	415
<b>Чухно Н.В., Гайдамака Ю.В.</b> Численный анализ операторов аг-	
регирования в процессе группового принятия решений .....	422
<b>Шумилов Б.М.</b> Мультивейвлеты, ортогональные многочленам .....	430

*Научное издание*

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
(ИТММ-2018)**

**Материалы  
XVII Международной конференции  
имени А. Ф. Терпугова  
10–15 сентября 2018 г.**

Редактор *T.C. Портнова*  
Дизайн, верстка *D.B. Фортеса*

**ООО «Издательство научно-технической литературы»  
634050, Томск, пл. Новособорная, 1, тел. (3822) 533-335**

---

Изд. лиц. ИД № 04000 от 12.02.2001. Подписано к печати 22.08.2018.  
Формат 60 × 84  $\frac{1}{16}$ . Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Таймс».  
Усл. п. л. 25,69. Уч.-изд. л. 28,77. Тираж 100 экз. Заказ № 21.

---