



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 технологии и математическое моделирование.

Для специалистов в области информационных технологий и математического моделирования.

УДК 519
ББК 22.17

Редколлегия:

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-г)*

ISBN 978-5-89503-621-1

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

Анализ RQ-системы M/GI/GI/1/1 с вызываемыми заявками, ненадежным прибором и дообслуживанием прерванных заявок¹

С.В. Пауль, А.А. Назаров

Томский государственный университет, г. Томск, Россия

RQ-системы характеризуются тем фактом, что блокированные пользователи не теряются, а повторяют свою попытку захвата прибора через некоторое время. Это явление возникает в различных реальных системах связи со случайным доступом [1], где несколько пользователей используют один канал связи. Также эти ситуации возникают и в системах обслуживания, таких, как call-центры, где клиенты, которые не могут связаться с оператором, совершают свой звонок позже [2, 3].

С точки зрения оптимального управления, в системах обслуживания, таких, как центры обработки вызовов, время простоя оператора должно использоваться для повышения производительности. Поэтому оператор не только принимает вызовы извне, но также выполняет исходящие вызовы в режиме простоя [4]. Эти ситуации моделируются системами с двумя типами заявок, где сервер обслуживает входящие и вызываемые вызовы. В последнее время такие системы широко изучаются [5–9].

В предложенных системах могут возникать ситуации, при которых работа обслуживающего устройства может быть прервана поломкой, после чего в течение некоторого времени (периода восстановления) происходит его ремонт.

Системы с ненадежным прибором часто являются предметом современных исследований [10], результаты которых могут применяться в работе с мультимедийными приложениями. Кроме того, системы с выходящими из строя приборами часто появляются при анализе транспортных систем. Примером могут послужить работы [11, 12].

В предложенной работе рассматривается RQ-система M/GI/GI/1/1 с двумя классами заявок, ненадежным прибором и дообслуживанием прерванных заявок. Для предложенной системы найдено распределение вероятностей состояний прибора и условие существования стационарного режима.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-01-00277 от 30.01.2018.

Математическая модель и постановка задачи

Рассмотрим однолинейную RQ-систему с вызываемыми заявками и ненадежным прибором. На вход системы поступает простейший поток заявок с интенсивностью λ .

Заявка входящего потока, поступая в систему и обнаруживая прибор свободным, занимает его, а прибор начинает обслуживание в течение времени, распределенного с функцией $B_1(x)$. Если в момент поступления заявки прибор занят, то она мгновенно уходит на орбиту и осуществляет там случайную задержку в течение экспоненциально-распределенного времени с параметром σ , завершив которую повторно обращается к прибору с попыткой получить обслуживание.

Когда прибор свободен, он вызывает из внешней среды (не с орбиты) с интенсивностью α дополнительные заявки, время обслуживания которых имеет функцию распределения $B_2(x)$.

Будем рассматривать систему с ненадежным прибором, который на интервалах обслуживания поступивших заявок с интенсивностью γ выходит из строя и восстанавливается с интенсивностью μ . В свободном состоянии и при обслуживании вызываемых заявок прибор надежен и не может выходить из строя.

Если во время обслуживания поступившей заявки прибор выходит из строя, то обслуживаемая заявка остается ждать на приборе и, как только прибор восстанавливается, она дообслуживается.

Когда прибор обслуживает вызываемую заявку или прибор находится в состоянии восстановления, заявки входящего потока уходят на орбиту.

Обозначим процесс $i(t)$ – число заявок в системе в момент времени t , поступивших (не вызванных) в систему.

Ставится задача – нахождение условий существования стационарного режима в рассматриваемой RQ-системе M/GI/GI/1/1 с ненадежным прибором и дообслуживанием прерванных заявок.

Система уравнений Колмогорова

Состояния прибора в момент времени t обозначим $k(t)$:

$$k(t) = \begin{cases} 0, & \text{прибор свободен;} \\ 1, & \text{прибор занят обслуживанием заявки входящего потока;} \\ 2, & \text{прибор занят обслуживанием вызываемой заявки;} \\ 3, & \text{прибор находится в состоянии восстановления.} \end{cases}$$

$z(t)$ – остаточное время обслуживания, когда $k = \overline{1, 3}$.

Также обозначим вероятности

$$\begin{aligned} P\{k(t) = k, i(t)=i, z(t)<z\} &= P_k(i, z, t), \quad k=1, 2, 3, \\ P\{k(t) = k, i(t)=i\} &= P_k(i, t), \quad k=0. \end{aligned} \quad (1)$$

Так как случайный процесс $\{k(t), i(t), z(t)\}$, $k=1, 2, 3$, $\{k(t), i(t)\}$, $k=0$, с переменным числом компонент марковский, то для распределения вероятностей (3) составим систему уравнений Колмогорова. Запишем равенства

Обозначим $P_k(i, \infty, t) = P_k(i, t)$, $k=1, 2$. При $k=3$ $z(t)$ – остаточное время обслуживания заявки, которая дожидается восстановления прибора для завершения своего обслуживания. Система уравнений Колмогорова для распределения вероятностей в стационарном режиме имеет вид

$$\begin{aligned} -(\lambda + \alpha + i\sigma)P_0(i) + \frac{\partial P_1(i+1, 0)}{\partial z} + \frac{\partial P_2(i, 0)}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial P_1(i, z)}{\partial z} - \frac{\partial P_1(i, 0)}{\partial z} - (\lambda + \gamma)P_1(i, z) + \lambda P_1(i-1, z) + \\ + \mu P_3(i, z) + \lambda B_1(z)P_0(i-1) + i\sigma B_1(z)P_0(i) &= 0, \\ \frac{\partial P_2(i, z)}{\partial z} - \frac{\partial P_2(i, 0)}{\partial z} - \lambda P_2(i, z) + \lambda P_2(i-1, z) + \alpha B_2(z)P_0(i) &= 0, \\ -(\lambda + \mu)P_3(i, z) + \lambda P_3(i-1) + \gamma P_1(i, z) &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Введем частичные характеристические функции, обозначив $j = \sqrt{-1}$

$$H_0(u) = \sum_{i=0}^{\infty} e^{jui} P_0(i), \quad H_k(u, z) = \sum_{i=1}^{\infty} e^{jui} P_k(i, z), \quad k = \overline{1, 3}. \quad (3)$$

Тогда, применяя (2), запишем систему уравнений для функций (3)

$$\begin{aligned} -(\lambda + \alpha)H_0(u) + e^{-ju} \frac{\partial H_1(u, 0)}{\partial z} + \frac{\partial H_2(u, 0)}{\partial z} + j\sigma H_0'(u) &= 0, \\ \frac{\partial H_1(u, z)}{\partial z} - \frac{\partial H_1(u, 0)}{\partial z} + (\lambda(e^{ju} - 1) - \gamma)H_1(u, z) + \\ + \mu H_3(u, z) + B_1(z)\{\lambda e^{ju} H_0(u) - j\sigma H_0'(u)\} &= 0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial H_2(u, z)}{\partial z} - \frac{\partial H_2(u, 0)}{\partial z} + \lambda(e^{ju} - 1)H_2(u, z) + \alpha B_2(z)H_0(u) = 0, \\ (\lambda(e^{ju} - 1) - \mu)H_3(u, z) + \gamma H_1(u, z) = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

В системе (4) выполним предельный переход, устремив $z \rightarrow \infty$, и суммирование полученных уравнений, получим уравнение

$$-\frac{\partial H_1(u, 0)}{\partial z} + \lambda e^{ju} [H_0(u) + H_1(u) + H_2(u) + H_3(u)] = 0. \quad (5)$$

Здесь $H_k(u, \infty) = H_k(u)$, $k = \overline{1, 3}$. Так как

$$H_0(u) + H_1(u) + H_2(u) + H_3(u) = H(u), \quad (6)$$

равенство (6) позволяет в системе (5) исключить первое уравнение, заменив его на уравнение (6), тогда систему уравнений для частичных характеристических функций (5) перепишем в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial H_1(u, z)}{\partial z} - \frac{\partial H_1(u, 0)}{\partial z} + (\lambda(e^{ju} - 1) - \gamma)H_1(u, z) + \\ + \mu H_3(u, z) + B_1(z) \{ \lambda e^{ju} H_0(u) - j\sigma H'_0(u) \} = 0, \\ \frac{\partial H_2(u, z)}{\partial z} - \frac{\partial H_2(u, 0)}{\partial z} + \lambda(e^{ju} - 1)H_2(u, z) + \alpha B_2(z)H_0(u) = 0, \\ (\lambda(e^{ju} - 1) - \mu)H_3(u, z) + \gamma H_1(u, z) = 0, \\ \lambda e^{ju} H(u) - \frac{\partial H_1(u, 0)}{\partial z} = 0. \end{aligned}$$

Распределение вероятностей числа заявок в RQ-системе с дообслуживанием заявок

Докажем следующее утверждение.

Теорема. Для рассматриваемой RQ-системы с дообслуживанием, обозначая $b_1 = \int_0^\infty x dB_1(x)$, $b_2 = \int_0^\infty x dB_2(x)$, вероятности $r_k = P\{k(t)=k\}$, $k = \overline{0, 3}$, состояний прибора имеют вид

$$r_0 = \frac{1}{1 + \alpha b_2} \left\{ 1 - \frac{\mu + \gamma}{\mu} \cdot \lambda b_1 \right\}, \quad r_1 = \lambda b_1, \quad r_2 = \alpha b_2 r_0, \quad r_3 = \frac{\gamma}{\mu} r_1. \quad (8)$$

Доказательство. Обозначим

$$H_k(0, s) = r_k(s), \quad H_0(u) \Big|_{u=0} = r_0, \quad H'_0(u) \Big|_{u=0} = j m_0, \\ \frac{\partial H_k(u, z)}{\partial z} \Big|_{u=0} = r'_k(z), \quad \frac{\partial H_k(u, 0)}{\partial z} \Big|_{u=0} = r'_k(0), \quad k = 1, 2, \quad (9)$$

тогда при $u = 0$ из системы (8) получим систему уравнений:

$$r'_1(z) - r'_1(0) - \gamma r_1(z) + \mu r_3(z) + B_1(z) \{ \lambda r_0 + \sigma m_0 \} = 0, \\ r'_2(z) - r'_2(0) + \alpha B_2(z) r_0 = 0, \\ -\mu r_3(z) + \gamma r_1(z) = 0, \\ \lambda - r'_1(0) = 0. \quad (10)$$

Складываем первое и третье уравнения системы (10), получим

$$r'_1(z) = r'_1(0) - B_1(z) \{ \lambda r_0 + \sigma m_0 \}.$$

Из четвертого уравнения имеем

$$r'_1(0) = \lambda.$$

Тогда

$$r'_1(z) = \lambda - B_1(z) \{ \lambda r_0 + \sigma m_0 \}, \\ r'_2(z) = r'_2(0) - \alpha B_2(z) r_0. \quad (11)$$

Устремим $z \rightarrow \infty$, получим, что выполняются равенства

$$\lambda = \lambda r_0 + \sigma m_0, \\ r'_2(0) = \alpha r_0.$$

Систему (11) перепишем в виде

$$r_1(z) = \lambda \int_0^z (1 - B_1(x)) dx, \quad r_2(z) = \alpha r_0 \int_0^z (1 - B_2(x)) dx. \quad (12)$$

При $z \rightarrow \infty$ из этих равенств и третьего уравнения системы (10) получим выражения

$$r_1 = \lambda b_1, \quad r_2 = \alpha b_2 r_0, \quad r_3 = \frac{\gamma}{\mu} r_1. \quad (13)$$

Значение вероятности r_0 найдем из условия нормировки в виде первого равенства в (8). Теорема доказана.

Следствие. Условием существования стационарного режима в рассматриваемой RQ-системе с дообслуживанием является выполнение неравенства

$$\lambda < \frac{\mu}{\mu + \gamma} \cdot \frac{1}{b_1} \quad (14)$$

Доказательство. Условие (14) следует из положительности вероятности r_0 в (10). Следствие доказано.

Определим пропускную способность S системы как максимальное среднее число заявок, которые могут быть обслужены в рассматриваемой системе за единицу времени. В силу неравенства (14) значение S для рассматриваемой RQ-системы с вызываемыми заявками и ненадежным прибором определяется равенством

$$S = \frac{\mu}{\mu + \gamma} \cdot \frac{1}{b_1}. \quad (15)$$

Если значение параметра λ входящего потока определять равенством $\lambda = \rho S$, то при любых значениях параметра $0 < \rho < 1$ в рассматриваемой RQ-системе существует стационарный режим, а вероятности r_k из (8) состояний прибора можно записать в виде

$$r_0 = \frac{1 - \rho}{1 + \alpha b_2}, \quad r_1 = \rho \frac{\mu}{\mu + \gamma}, \quad r_2 = \alpha b_2 \frac{1 - \rho}{1 + \alpha b_2}, \quad r_3 = \frac{\gamma}{\mu + \gamma} \rho, \quad (16)$$

который не зависит от вида функций распределения $B_1(x)$ и $B_2(x)$ времени обслуживания как поступающих, так и вызываемых заявок. При этом интенсивность λ входящего потока линейно зависит от S , которая в силу (15) не зависит от вида функций распределения $B_1(x)$ и $B_2(x)$.

Заключение

В работе была рассмотрена RQ-система M/GI/GI/1/1 с двумя классами заявок, ненадежным прибором и дообслуживанием прерванных заявок. Для предложенной модели найдено распределение вероятностей состояний прибора и условие существования стационарного режима.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Artalejo J.R., Gomez-Corral A.* Retrial queueing systems: a computational approach. Springer, 2008. P. 315.
2. *Falin G.I., Templeton J.G.C.* Retrial Queues. London: Chapman and Hall, 1997.
3. *Bhulai S., Koole G.* A queueing model for call blending in call centers // IEEE Transactions on Automatic Control. 2003. V. 48. P. 1434–1438.
4. *Deslauriers A., L'Ecuyer P., Pichitlamken J., Ingolfsson A. Avramidis A. N.* Markov chain models of a telephone call center with call blending. Computers and Operations Research. 2007. V. 34. P. 1616–1645.
5. *Choi B.D., Choi K.B., Lee Y.W.* M/G/1 retrial queueing systems with two types of calls and finite capacity // Queueing Systems. 1995. V. 19. P. 215–229.
6. *Tran-Gia P., Mandjes M.* Modeling of customer retrial phenomenon in cellular mobile networks // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 1997. V. 15. P. 1406–1414.
7. *Artalejo J.R., Phung-Duc T.* Markovian retrial queues with two way communication // J. Industrial and Management Optimization. 2012. V. 8. P. 781–806.
8. *Artalejo J.R., Phung-Duc T.* Single server retrial queues with two way communication // Applied Mathematical Modelling. 2013. V. 37. No. 4. P. 1811–1822.
9. *Nazarov A., Paul S., Gudkova I.* Asymptotic Analysis of Markovian Retrial Queue with Two-Way Communication under Low Rate of Retrials Condition // Proc. 31st European Conference on Modelling and Simulation, ECMS, Budapest, 2017. P. 687–693.
10. *Djellab N.V.* On the M/G/1 retrial queue subjected to breakdowns // RAIRO – Operations Research. 2002. V.36. No. 4. P. 299–310.
11. *Афанасьева Л.Г., Булинская Е.В.* Некоторые задачи для потоков взаимодействующих частиц // Современные проблемы математики и механики. 2009. С. 55–67.
12. *Афанасьева Л.Г., Булинская Е.В.* Математические модели транспортных систем, основанные на теории очередей // Труды МФТИ. 2010. Вып. 4(2). С. 6–21.

Пауль Светлана Владимировна, к.ф.-м.н., доцент paulsv82@mail.ru;

Назаров Анатолий Андреевич, д.т.н., профессор, nazarov.tsu@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

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

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

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ

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

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

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

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

ПРИКЛАДНОЙ ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ И ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

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

роятностей конечных случайных множеств на основе полностью вложенных иерархических копул.....	347
Скрипкин В.С., Бесчастный В.А., Острикова Д.Ю. Численный анализ скорости передачи данных в беспроводной сети с разделением пользователей на подгруппы мультивещания.....	354
Харин П.А., Поляков Н.А. К разработке имитационной модели установления соединения между парой устройств в беспроводной сети миллиметрового диапазона.....	359

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Medvedev G. Nonaffine models of yield term structure.....	362
Васильев С.А., Урусова Д.А., Салех Х.Х. Исследование устойчивости равновесия в экономико-математических моделях рынка телекоммуникаций.....	374
Георгиев В.О., Прокопьев Н.А. Исследование прикладного применения формальных математических моделей в генерации программного обеспечения.....	378
Калашников П.В. Математическая модель оценки баланса солидарно-распределительной пенсионной системы в долгосрочном периоде.....	380
Ким К.С., Смагин В.И. Синтез нестационарного экстраполятора для дискретных моделей с марковскими скачкообразными параметрами.....	388
Марченко О.В., Сергеева А.М. Математическое моделирование деформирования тяжелой упругой пластины конечной толщины под воздействием системы нагрузок.....	395
Новожилов М.А., Ивановский Р.И. Анализ и применение множественных межканальных связей в ЭЭГ.....	400
Решетникова Г.Н. Выбор поставщика при управлении заказами.....	406
Урусова Д.А., Салех Х.Х., Царева Г.О. Ценообразование на телекоммуникационные услуги в сетях 5G.....	412
Чухно О.В., Самуйлов К.Е. О применении анализа социальных сетей для исследования степени согласия экспертов в процессе группового принятия решений.....	415
Чухно Н.В., Гайдамака Ю.В. Численный анализ операторов агрегирования в процессе группового принятия решений.....	422
Шумилов Б.М. 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 *Т.С. Портнова*
Дизайн, верстка *Д.В. 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 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Таймс».
Усл. п. л. 25,69. Уч.-изд. л. 28,77. Тираж 100 экз. Заказ № 21.
