



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

Исследование системы $MMPP|GI|_{\infty}$ с бесконечным значением среднего времени обслуживания

А.А. Назаров, Е.Е. Худяшова

Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Системы массового обслуживания с бесконечным числом приборов представляют собой эффективный математический инструмент для исследования широкого круга реальных систем [1, 2]. Основными методами их исследования являются метод многомерных цепей Маркова и метод дополнительной переменной [3]. В тех случаях, когда не удаётся найти характеристики системы в явном виде, используют асимптотические методы [4–6].

Потоки в реальных системах, как правило, не являются пуассоновскими, ординарными или потоками без последствия. В результате многих исследований было получено, что использование моделей с пуассоновскими потоками приводит к искажению характеристик функционирования системы. В работах [7, 8] было показано, что наиболее адекватными моделями таких систем являются $MMPP$ -, MAR -, $VMAR$ -потоки. Поэтому исследование систем с неограниченным числом приборов и входящим модулированным марковским потоком является актуальной задачей.

В данной работе проводится исследование системы с неограниченным числом приборов, произвольной функцией распределения времени обслуживания с бесконечным значением среднего времени обслуживания, на вход которой поступает марковский модулированный поток.

1. Математическая модель

Рассмотрим систему массового обслуживания (см. рис.1), на вход которой поступает марковский модулированный пуассоновский поток заявок ($MMPP$ -поток), заданный матрицей инфинитезимальных характеристик Q и диагональной матрицей Λ условных интенсивностей λ_k . Продолжительности обслуживания заявок стохастически независимы, одинаково распределены и имеют функцию распределения $B(x)$, для которой выполняется равенство

$$\int_0^{\infty} (1 - B(x)) dx = \infty. \quad (1)$$

Поступающая заявка занимает любой из свободных приборов. Завершив обслуживание, заявка покидает систему. При этом полагаем, что в начальный момент времени система свободна.

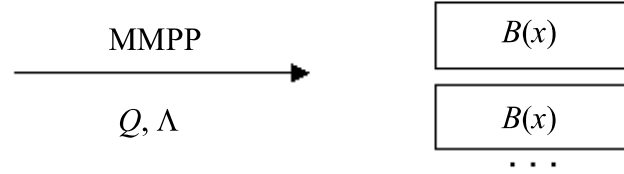


Рис. 1. Система массового обслуживания MMPP|GI| ∞

Обозначим $i(t)$ – число занятых приборов в момент времени t ; $k(t)$ – цепь Маркова, управляющая MMPP-поток.

Чтобы исследовать такую систему массового обслуживания, воспользуемся методом просеянного потока [5]. Предлагаемый метод позволит свести проблему исследования немарковской системы обслуживания с неограниченным числом приборов к задаче анализа нестационарного марковизируемого потока.

Метод просеянного потока

Обозначим $n(t)$ – число событий просеянного потока, наступивших за время t на интервале $[0, t]$. Тогда $P(k, n, t) = P\{k(t) = k, n(t) = n\}$ – распределение вероятностей числа занятых приборов просеянного потока в момент времени t . Доказано [5], что выполняется равенство

$$P\{k(T) = k, i(T) = m\} = P\{k(T) = k, n(T) = m\}, \quad m = \overline{0, \infty}.$$

Поэтому для нахождения распределения вероятностей $P\{k(T)=k, i(T)=i\}$ числа i занятых приборов в системе в момент времени $t=T$ достаточно найти распределение вероятностей числа $n(t)$ событий просеянного потока, наступивших за время t , и положить $t=T$.

Обозначим $S(t)$ – вероятность того, что заявка входящего потока, поступившая в момент времени $t \in [0; T]$, будет находиться в системе в момент времени $t = T$, занимая один из её приборов:

$$S(t) = 1 - B(T - t), \quad 0 \leq t \leq T, \quad (2)$$

Распределение вероятностей числа занятых приборов удовлетворяет системе дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$\partial P(k, n, t) / \partial t = \lambda_k S(t) (P(k, n-1, t) - P(k, n, t)) + \sum_v P(v, n, t) q_{vk}.$$

Начальное условие для решения $P(k, n, t)$ в момент времени t_0 запишем в виде $P(k, n, 0) = \begin{cases} R(k), & \text{если } n = 0, \\ 0, & \text{если } n > 0, \end{cases}$ где $R(k)$ – стационарное распределение вероятностей значений цепи Маркова $k(t)$.

Составим систему уравнений, определяющих частичные характеристические функции $H(k, u, t) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{jun} P(k, n, t)$, где $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица. Получим следующее уравнение:

$$\begin{cases} \partial H(k, u, t) / \partial t = \lambda_k H(k, u, t) S(t) (e^{ju} - 1) + \sum_v H(v, u, t) q_{vk}, \\ H(k, u, 0) = R(k). \end{cases} \quad (3)$$

Для дальнейшего удобства введём векторы $H(u, t)$ и R с компонентами $H(k, u, t)$ и $R(k)$ соответственно.

Математическое ожидание числа занятых приборов

Обозначим $\partial H(u, t) / \partial u|_{u=0} = jm(t)$, где $m(t)$ – вектор частичных первых моментов. Тогда (3) примет вид

$$\partial m(t) / \partial t = m(t)Q + RS(T)\Lambda.$$

Умножим предыдущее равенство на единичный вектор-столбец E , в силу равенства (2) и после замены $t=T$ получим выражение для определения математического ожидания числа занятых приборов:

$$m(T)E = \kappa \int_0^T (1 - B(x)) dx, \quad \text{где } \kappa = R\Lambda E. \quad (4)$$

Дисперсия числа занятых приборов системы

Введём векторную характеристическую функцию $H_2(u, t)$ числа событий просеянного потока, наступивших за время t на интервале $[0, t]$:

$$H(u, t) = H_2(u, t) \exp \left\{ ju \kappa \int_0^t S(x) dx \right\}.$$

Подставим это выражение в систему (3) и получим

$$\partial H_2(u, t) / \partial t = H_2(u, t) \left[Q + (e^{ju} - 1) \Lambda S(t) - ju \kappa S(t) \right]. \quad (5)$$

Продифференцируем это равенство по u и, введя обозначение $\partial H_2(u, t) / \partial u|_{u=0} = j m_0(t)$, где $m_0(t)$ – вектор центрированных частичных первых моментов числа заявок в системе, получим

$$\begin{cases} \partial m_0(t) / \partial t = m_0(t) Q + R(\Lambda - \kappa I) S(t), \\ m_0(0) = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Несложно убедиться, что $m_0(t)E = 0$. Разложим функцию $H_2(u, t)$ в ряд: $H_2(u, t) = R + j u m_0(t) + ((ju)^2 / 2) d(t) + o(u^3)$ и подставим это равенство в (5). Запишем отдельно выражение для одинаковых степеней ju и $(ju)^2$:

$$\begin{aligned} m'_0(t) &= m_0(t) Q + R(\Lambda - \kappa I) S(t), \\ d'(t) &= d(t) Q + 2m_0(t)(\Lambda - \kappa I) S(t) + R\Lambda S(t), \end{aligned} \quad (7)$$

где $d(t)$ – вектор дисперсий центрированного процесса.

Умножим справа (7) на единичный вектор-столбец E и получим

$$d(t)E = \kappa \int_0^t S(x) dx + 2 \int_0^t m_0(x) [\Lambda - \kappa I] E S(x) dx. \quad (8)$$

Основной проблемой для нахождения аналитического выражения для дисперсии является то, что вектор-функция $m_0(x)$ в уравнении (8) неизвестна. Можно показать, что решение $m_0(x)$ системы (6) неоднородных линейных дифференциальных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами имеет вид

$$m_0(t) = \left[\int_0^t S(x) R(\Lambda - \kappa I) (A^{-1}(x))^T dx \right] A^T(t), \text{ где } A(x) = \text{diag} [x_i e^{k_i x}]. \quad (10)$$

Тогда запишем уравнение для дисперсии (8) в момент времени $t = T$.

$$d(T)E = m(T) + 2 \int_0^T \int_0^x S(y) R(\Lambda - \kappa I) (A^{-1}(y))^T (\Lambda - \kappa I) E dy S(x) dx. \quad (11)$$

На основе полученных математического ожидания (4) в момент времени $t = T$ и дисперсии (11) построим гауссовскую аппроксимацию распределения вероятностей числа заявок в системе $MMPP|GI|_\infty$.

Дискретная гауссовская аппроксимация дискретного распределения вероятностей $P(i, T)$ числа заявок в системе

Дадим следующее определение. Дискретной гауссовской аппроксимацией $P_1(i, T)$ нестационарного (в силу условия (1)) распределения вероятностей $P(i, T)$ числа $i(T)$ заявок в момент времени $t = T$ в системе

$MMPP|GI|^\infty$ будем называть распределение вероятностей $P_1(i, T)$, определяемое равенством

$$P_1(i, T) = (G(i + 0.5, T) - G(i - 0.5, T)) [1 - G(-0.5, T)]^{-1}; \quad (12)$$

где $G(x, T)$ – функция гауссовского распределения с параметрами, определяемыми математическим ожиданием $m(T)E$ из (4) и дисперсией $d(T)E$ из (11) числа заявок в системе.

Для оценки точности предлагаемой аппроксимации будем применять расстояние Колмогорова Δ , определяемое равенством

$$\Delta = \max_{0 \leq i < \infty} \left| \sum_{n=0}^{\infty} (P(n, T) - P_1(n, T)) \right|. \quad (24)$$

При нахождении значений точности Δ оценку исходного нестационарного распределения вероятностей $P(i, T)$ найдём, применяя имитационное моделирование системы $MMPP|GI|^\infty$ при заданных значениях матрицы инфинитезимальных характеристик Q и матрицы условных интенсивностей Λ :

$$Q = \begin{bmatrix} -1 & 0.6 & 0.4 \\ 0.2 & -0.4 & 0.2 \\ 0.5 & 0.4 & -0.9 \end{bmatrix} \quad \Lambda = \begin{bmatrix} 5 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 15 \end{bmatrix}.$$

При этом интенсивность входящего потока $\lambda = 10$.

Функцию распределения $B(x)$ времени обслуживания заявок, удовлетворяющую свойству (1), возьмём в виде $B(x) = x^\gamma / (1 + x^\gamma)$, $0 < \gamma \leq 1$.

Расстояние Колмогорова между результатами имитационного моделирования и гауссовской аппроксимацией

γ	T				
	1	5	10	20	50
1	0.101	0.036	0.025	0.019	0.01
0,5	0.113	0.043	0.030	0.021	0.010
0,25	0.118	0.046	0.034	0.023	0.016

Будем считать, что нас удовлетворяет точность $\Delta < 0.05$. Тогда, как видно из результатов численного моделирования, областью применимости гауссовской дискретной аппроксимации является значение параметра времени $T \geq 5$, при котором расстояние Колмогорова Δ даёт значение меньше 0.05.

Заключение

Рассматривается система массового обслуживания $MMPP|GI|_{\infty}$ с неограниченным числом приборов и бесконечным значением среднего времени обслуживания. В нестационарном режиме найдены среднее значение и дисперсия числа приборов, занятых в системе в произвольный момент времени $t = T > 0$ при условии, что в начальный момент $t = 0$ система свободна.

Для системы предложено использование гауссовской аппроксимации распределения вероятностей числа занятых приборов, с помощью имитационного моделирования установлена область её применимости при выбранных значениях параметров.

В дальнейших исследованиях планируется выполнить асимптотический анализ систем с неограниченным числом приборов и бесконечным значением среднего времени обслуживания в предельном условии $T \rightarrow \infty$, что позволит найти не только моменты числа занятых приборов, но также и их предельное распределение вероятностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьева Л.Г., Руденко И.В. Системы обслуживания $GI|GI|_{\infty}$ и их приложения к анализу транспортных моделей // Теория вероятностей и её применение. 2012. Т. 57. Вып. 3. С. 427–452.
2. Носова М.Г. Автономная немарковская система массового обслуживания и ее применение в задачах демографии: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18. Томск, 2010. 204 с
3. Назаров А.А., Терпугов А.Ф. Теория массового обслуживания. Томск: Изд-во НТЛ, 2011. 228 с.
4. Reynolds J.F. Some results for the bulk-arrival infinite-server Poisson queue // Oper. Res. 1968. V.16. P.186–189.
5. Мусеев А.Н., Назаров А.А. Бесконечнолинейные системы и сети массового обслуживания. Томск: Изд-во НТЛ. 2015. 240 с.
6. Назаров А.А., Мусеева С.П. Метод асимптотического анализа в теории массового обслуживания. Томск: Изд-во НТЛ, 2006. 112 с.
7. Movaghar A. Analysis of a Dynamic Assignment of Impatient Customers to Parallel Queues // Queueing systems. 2011. V. 67. No. 3. P. 251–273.
8. Klemm A., Lindermann C., Lohmann M. Modeling IP traffic using the batch Markovian arrival process // Performance Evaluation. 2003. V. 54. P. 923–930.

Худяшова Екатерина Евгеньевна, аспирант, kopnova.e@gmail.com;
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 $M MAP_k G_k \infty$ 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 $M/E_2/1$ 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.
