НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ
им. В.А. ТРАПЕЗНИКОВА РАН

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ (ИТММ-2020)

МАТЕРИАЛЫ
XIX Международной конференции
имени А. Ф. Терпугова
2–5 декабря 2020 г.

ТОМСК
«Издательство НТЛ»
2021

УДК 519
ББК 22.17
И74

И74 Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2020): Материалы XIX Международной конференции имени А. Ф. Терпугова (2–5 декабря 2020 г.). – Томск: Изд-во НТЛ, 2021. – 498 с.

ISBN 978-5-89503-647-1

Сборник содержит избранные материалы XIX Международной конференции имени А.Ф. Терпугова по следующим направлениям: теория массового обслуживания и ее приложения, интеллектуальный анализ данных и визуализация, информационные технологии и программная инженерия, математическое и компьютерное моделирование технологических процессов.

Для специалистов в области информационных технологий и математического моделирования.

УДК 519
ББК 22.17

Редколлегия:

А.А. Назаров, доктор технических наук, профессор,
С.П. Моисеева, доктор физико-математических наук, профессор,
А.Н. Моисеев, доктор физико-математических наук, доцент,
М.П. Фархадов, доктор технических наук, профессор,
Е.Ю. Лисовская, кандидат физико-математических наук.

Конференция проведена при поддержке
международного научно-методического центра
Томского государственного университета по математике,
информатике и цифровым технологиям в рамках
федерального проекта «Кадры для цифровой экономики»
национальной программы
«Цифровая экономика в Российской Федерации»

ISBN 978-5-89503-647-1

© Авторы. Текст, 2021
© ООО «Издательство НТЛ».
Оформление. Дизайн, 2021

СМО вида $GI^{(K)}/GI/\infty$ с групповым обслуживанием

Анна Бояркина, Светлана Моисеева,
Ирина Туренова, Алексей Шкуркин

Национальный исследовательский
Томский государственный университет, г. Томск, Россия

В данной статье рассматривается бесконечнолинейная система массового обслуживания с групповым рекуррентным входящим потоком, для исследования которой применяются метод динамического просеивания и асимптотический метод. Данная работа является обобщением результатов [1, 2] на случай неординарного рекуррентного входящего потока.

Математическая модель

Рассмотрим СМО вида $GI^{(K)}/GI/\infty$ с неординарным рекуррентным входящим потоком и групповым обслуживанием. Под групповым обслуживанием будем понимать следующее. Поступившая на обслуживание случайного размера группа заявок после обслуживания в том же составе покидает систему. Рассматриваемая система массового обслуживания имеет неограниченное число обслуживающих приборов, то есть является системой с моментальным обслуживанием (рис. 1).

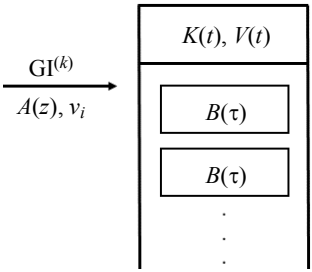

Рис. 1. СМО с неординарным рекуррентным входящим потоком и групповым обслуживанием

Для входящего рекуррентного потока моментов прихода групп определим случайную величину τ, как интервал между наступлением последовательных событий, все τ независимы и одинаково распределены. Запишем τ в виде $\tau = \frac{\xi}{N}$, где ξ – некоторая неотрицательная случайная величина с функцией распределения $A(z)$, величина $N > 0$, $N \to \infty$ – параметр растущей интенсивности потока. Тогда для функции распределения длин интервалов τ имеем

$$\mathrm{P}\{\tau < z\} = \mathrm{P}\left\{\frac{\xi}{N} < z\right\} = \mathrm{P}\{\xi < Nz\} = A(Nz) .$$

Для положительной случайной величины, определяемой функцией распределения вероятностей $A(z)$ существуют конечные математическое ожидание и дисперсия, то есть

$$a = \frac{1}{\lambda} = \int_0^\infty (1 - A(z))\,dz , \ \sigma^2 = \int_0^\infty (u - a)^2\, dA(z) . \qquad (1)$$

Неординарность поступающих требований определяется дискретной случайной величиной ξ, заданной рядом распределения $P\{\xi = i\} = \nu_i$. Входящая группа заявок размерности i занимает любые свободные приборы, где происходит их обслуживание в течение случайного времени $\tau > 0$ с функцией распределения вероятностей $B(x) = P\{\tau < x\}$. По окончании обслуживания вся группа освобождает все приборы одновременно.

Ставится задача исследования числа занятых приборов в системе. Сложность аналитического исследования числа заключается в том, обязательное условие, что все заявки группы покидают систему одновременно. Следовательно, возникает необходимость отслеживать также и число поступивших групп.

Для решения задачи предлагается использовать авторский метод динамического просеивания [3, 4] в применении к ресурсным системам [5]. Указанный подход в сочетании с асимптотическими методами в дальнейшем позволит исследовать более сложные системы с коррелированными входящими потоками.

Метод динамического просеивания

Так как особенность системы предполагает уход заявок группами того же состава, то необходимо учитывать количество находящихся в системе групп, и общее число занятых дискретных ресурсов (приборов). Обозначим $V(t)=\sum_{i=1}^{K(t)}\nu_i$ – общее количество занятых приборов в системе в момент времени и пусть $K(t)$ – число групп в системе в момент времени t, $t \ge t_0$. Будем считать, что в начальный момент времени система была пуста.

Очевидно, что процесс $\{K(t),V(t)\}$ не будет являться марковским, так как время обслуживания есть положительная случайная величина, имеющая произвольное распределение и мы не знаем, сколько осталось времени до окончания обслуживания той или иной группы. Поэтому будет использоваться метод динамического просеивания [3], который позволяет учитывать только те группы, которые не закончили к рассматриваемому моменту времени своё обслуживание в системе.

В применении к рассматриваемой системе метод заключается в следующем. Фиксируется момент времени $T \ge t_0$. Вводятся динамические вероятности: $S(t,T)=1-B(T-t)$ – вероятность того, что группа размера ν, поступившая в систему в момент времени $t<T$, к моменту времени T не закончит обслуживание и будет занимать ν приборов, и противоположная вероятность $1-S(T,t)$ для тех пачек, которые покинули. Обозначим $N(t)$ – число групп событий просеянного потока, а $W(t)$ – общее число занимаемых просеянными заявками дискретных ресурсов, наступивших на промежутке $[t_0,T)$, в просеянном потоке.Известно, что в момент времени T законы распределения вероятностей двумерных случайных величин $\{K(t),V(t)\}$ и $\{N(t),W(t)\}$ совпадают [4].

Для построения системы дифференциальных уравнений Колмогорова воспользуемся методом введения дополнительной компоненты. Для марковизации двумерного случайного процесса $\{N(t),W(t)\}$ добавим компоненту $z(t)$ – остаточное время от момента t до момента наступления следующего события в исходном рекуррентном потоке. Таким образом, трехмерный случайный процесс $\{z(t),N(t),W(t)\}$ является марковским, следовательно, для его распределения вероятностей

$P\{z(t) < z, N(t) = n, W(t) = w\} = P(z,n,w,t)$, для $z > 0$, запишем систему дифференциальных уравнений Колмогорова для $z > 0$, $w, n = 0,1,2,...$:

$$\frac{1}{N}\frac{\partial P(z,n,w,t)}{\partial t} = \frac{\partial P(z,n,w,t)}{\partial z} + \frac{\partial P(0,n,w,t)}{\partial z}(A(z)-1) +$$

$$+S(t)A(z)\left[\sum_{k=0}^{w}\frac{\partial P(0,n-1,w-k,t)}{\partial z}\nu_k - \frac{\partial P(0,n,w,t)}{\partial z}\right], \qquad (2)$$

с начальным условием

$$P(z,n,w,t_0) = \begin{cases} R(z), & n = w = 0, \\ 0, & \text{иначе}, \end{cases}$$

где $R(z)$ – стационарное распределение вероятностей значений случайного процесса $z(t)$, определяемое выражением

$$R(z) = \lambda\int_0^z (1 - A(x))dx, \text{ где } \lambda = \left[\int_0^\infty (1 - A(x))dx\right]^{-1}.$$

Определим функцию вида

$$h(z,u,\nu,t) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{jun}\sum_{w=0}^{\infty} e^{jyw}P(z,n,w,t),\ z > 0, \qquad (3)$$

которую будем называть частичной характеристической функцией.

Очевидно, что

$$h(\infty,u,\nu,t) = h(u,\nu,t) = M\left\{e^{juN(t)}e^{j\nu W(t)}\right\} = \sum_{n=0}^{\infty} e^{jun}\sum_{w=0}^{\infty} e^{j\nu w}P(n,w,t).$$

Также характеристическую функцию числа событий в пачке, будем обозначать

$$V^*(\nu) = M\left\{e^{j\nu\xi}\right\} = \sum_{k=0}^{\infty} e^{j\nu k}\nu_i.$$

Учитывая (3), уравнение (2) запишем в виде

$$\frac{1}{N}\frac{\partial h(z,u,\eta,t)}{\partial t} = \frac{\partial h(z,u,\nu,t)}{\partial z} + \frac{\partial h(0,u,\nu,t)}{\partial z}(A(z)-1) +$$

$$+\frac{\partial h(0,u,\nu,t)}{\partial z}S(t)A(z)(e^{ju}V^*(\nu)-1), \qquad (4)$$

с начальным условием

$$h(z,u,\nu,t_0)=R(z)\,. \qquad (5)$$

Асимптотический анализ

Далее для нахождения асимптотического решения уравнения (4) с начальными условиями (5) воспользуемся методом асимптотического анализа при условии растущей интенсивности входящего потока [3, 4]. В работе доказаны теоремы.

Теорема 1. Асимптотическая характеристическая функция первого порядка трехмерного процесса $\{z(t),N(t),W(t)\}$ для системы $\mathrm{GI}^{(K)}/\mathrm{GI}/\infty$ при условии растущей интенсивности входящего потока имеет вид

$$h(z,u,\nu,t)\approx R(z)\exp\left\{N\lambda\left[ju+j\nu a\right]\int_{t_0}^{t}S(\tau)d\tau\right\},$$

где $a=M\{\xi\}=\sum_{i=0}^{\infty}i\nu_i$ – математическое ожидание размера группы.

Теорема 2. Асимптотическое при условии растущей интенсивности входящего потока совместное стационарное распределение вероятностей двумерного процесса числа групп, находящихся на обслуживании суммарного числа занятых приборов в системе $\mathrm{GI}^{(K)}/\mathrm{GI}/\infty$ является двумерным гауссовским распределением вероятностей с параметрами:

- вектором математических ожиданий

$$\mathbf{a}=\left[N\lambda b \quad N\lambda ab\right],$$

- ковариационной матрицей

$$\mathbf{K}=\begin{bmatrix} N\left(\lambda b+\kappa\beta\right) & aN\left(\lambda b+\kappa\beta\right) \\ aN\left(\lambda b+\kappa\beta\right) & \mathrm{N}\left(\lambda a_2 b+\kappa a^2\beta\right)\end{bmatrix},$$

где $b=\int_0^{\infty}\left(1-B(\tau)\right)d\tau$ – математическое ожидание времени обслуживания группы; $\beta=\int_0^{\infty}\left(1-B(\tau)\right)^2 d\tau$ – математическое ожидание минимума случайных величин времени обслуживания группы заявок; λ – интен-

сивность входящего рекуррентного потока моментов поступления групп заявок; $\kappa = \lambda^3 \left(\sigma^2 - \frac{1}{\lambda^2} \right)$.

Выводы

Таким образом, построена математическая модель системы массового обслуживания с рекуррентным неординарным входящим потоком и групповым обслуживанием типа $\mathrm{GI}^{(K)} / \mathrm{GI} / \infty$, отличие которой заключается в том, что поступаемые группы покидают систему в том же составе. Построена модификация метода асимптотического анализа для исследования общего числа занимаемых приборов в условии растущей интенсивности входящего потока. Показано, что исследуемый процесс является асимптотически нормальным.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Tikhonenko O.M.* Generalized Erlang problem for queueing systems with bounded total size // Probl. Peredachi Inf. 2005. V. 41. No. 3. P. 64–75; Problems Inform. Transmission. 2005. V. 41. No. 3. P. 243–253.
2. *Tikhonenko O.M.*, *Kempa W.* Queueing system with processor sharing and limited memory under control of the AQM mechanism // Avtomat. i Telemekh. 2015. No. 10. P. 90–105; Autom. Remote Control. 2015. V. 76. No. 10. 1784–1796.
3. *Моисеев А.Н.*, *Назаров А.А.* Бесконечнолинейные системы и сети массового обслуживания. Томск: Изд-во НТЛ, 2015. 240 с.
4. *Lisovskaya E.*, *Moiseeva S.*, *Pagano M.*, *Potatueva V.* Study of the MMPP/GI/∞ queueing system with random customers' capacities // Информ. и её примен. 2017. V. 11. No. 4. P. 109–117.
5. *Bushkova T.*, *Pavlova E.*, *Rozhkova S.*, *Moiseeva S.*, *Pagano M.* Resource queueing system MMPP(2,ν)|GI2|∞ with parallel service of multiple paired customers //CCIS. 2019. V. 1109. P. 136–149.
6. *Galileyskaya A.A.*, *Lisovskaya E.Yu.*, *Moiseeva S.P.*, *Danilyuk E.Yu.* Asymptotic stationary probability distribution of total amount of physics experimental data // Russ. Phys. J. 2020. V. 62. No. 10. P. 1779–1788.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

QUEUING THEORY AND APPLICATION

Yves Adou, Ekaterina Markova. To queueing system model performance measures analysis under network slicing 5
Kirill Ageev, Eduard Sopin. Analysis of the simplified network slicing model 11
Anilkumar M.P., K.P. Jose. An eigen value approach to a discrete-time queueing model with *N*-policy on two modes of service 17
P. Beena, K.P. Jose. A MAP/PH(1), PH(2)/2 inventory system with production, multiple servers and vacations 24
Anastasia Daraseliya, Eduard Sopin. Optimization of task offloading thresholds in the fog computing system 31
Dhanya Babu, Varghese. C. Joshua, Achyutha Krishnamoorthy. A queueing system with probabilistic joining strategy for priority customers 37
Elmira Kalimulina. On convergence of queuing network with changing structure to stationary distribution 43
Maksim Korshikov, Eduard Sopin. Analysis of the processor sharing systems with random serving rate coefficients 46
Achyutha Krishnamoorthy, Varghese C. Joshua, Ambily P. Mathew. A reliability problem with Interdependent Lifetimes 52
Eugene Lebedev, Vadim Ponomarov, Oksana Pryshchepa. The exact formulas for state-dependent Markov retrial queues 58
Eugene Lebedev, Hanna Livinska. Gaussian approximation and reducing of dimension for a general-type multichannel network 64
Khamis Abdullah Khamis AL Maqbali, Varghese C. Joshua, Achyutha Krishnamoorthy. On A single server queueing inventory system with common life time for inventoried items 70
Agassi Melikov[1], V. Divya, Sevinc Aliyeva. Analyses of feedback queue with positive server setup time and impatient calls 77
Faina Moskaleva, Ekaterina Lisovskaya, Yuliya Gaidamaka. A two-class service system for performance analysis of network slicing with QoS Isolation 82

Anatoly Nazarov, Tuan Phung-Duc, Yana Izmailova. Asymptotic-diffusion analysis of multiserver retrial queueing system with priority customers 88
Anatoly Nazarov, Tuan Phung-Duc, Svetlana Paul, Olga Lizyura, Ksenia Shulgina. Asymptotic analysis of Markovian retrial queue with unreliable server and two-way communication under low rate of retrials condition 99
Anatoly Nazarov, Maria Samorodova. Asymptotic waiting time analysis of a M/M/1 retrial queueing system 105
Hamza Nemouchi, Mohamed Hedi Zaghouani, János Sztrik. Simulation analysis in cognitive radio networks with unreliability and abandonment 110
Nisha Mathew, Varghese Joshua, Achyutha Krishnamoorthy. On a MMAP/(PH,PH)/1/(∞,N) queueing-inventory system 115
K.R. Ranjith, Achyutha Krishnamoorthy, B. Gopakumar. Analysis of a PH/PH/1 queue with interdependence 122
Stepan Rogozin, Evsey Morozov. Stability condition of a modified Erlang loss system with different service rates 126
Sandhya E., C. Sreenivasan, Sajeev S. Nair. An explicit solution for an inventory model with positive lead time and backlogs 131
Smija Skaria, Sajeev S. Nair. Transient analysis of an inventory model with instantaneous replenishment and catastrophes 138
János Sztrik, Ádám Tóth, Elena Danilyuk, Svetlana Moiseeva. Simulation of retrial queueing system M/G/1 with impatient customers, collisions and unreliable server 145
János Sztrik, Ádám Tóth. Some special features of finite-source retrial queues with collisions, an unreliable server and impatient customers in the orbit 152
Алексей Благинин, Иван Лапатин, Анатолий Назаров. Исследование двумерного выходящего потока марковской модели узла обработки запросов с повторными обращениями и вызываемыми заявками 159
Анна Бояркина, Светлана Моисеева, Ирина Туренова, Алексей Шкуркин. СМО вида $GI^{(K)}/GI/\infty$ с групповым обслуживанием 166
Татьяна Бушкова, Анастасия Галилейская Екатерина Лисовская, Светлана Моисеева. Асимптотический анализ ресурсной гетерогенной СМО $(MMPP+2M)^{(v)}/M/\infty$ 172
Константин Вытовтов, Елизавета Барабанова, Владимир Вишневский. Аналитический метод анализа случайных процессов с

непрерывным временем и дискренными состояниями при времязависимых вероятностях переходов 178
Максим Жарков, Михаил Павидис. Об использовании четырехфазных систем массового обслуживания для описания работы грузовых и сортировочных железнодорожных станций 184
Владимир Задорожный, Татьяна Захаренкова. Метод бесконечных разметок в системах с неизвестным временем обслуживания поступающих заявок 188
Владимир Задорожный, Микеле Пагано, Татьяна Захаренкова. Применение метода бесконечных разметок к сетям с коммутацией пакетов 194
Андрей Зорин, Ксения Сизова. Метод решения стационарных уравнений для процесса приоритетного обслуживания с разделением времени в случайной среде 200
Валентина Клименок, Александр Дудин, Иван Ванькович. Стационарные характеристики системы массового обслуживания с повторными вызовами и поиском на орбите 205
Дмитрий Копать, Михаил Маталыцкий. Анализ ожидаемого дохода в открытой сети с ограниченным числом заявок и обходами ими систем обслуживания 211
Анатолий Назаров, Екатерина Павлова. Исследование СМО вида MMPP|M|N с обратной связью методом асимптотически диффузионного анализа 217
Анатолий Назаров, Светлана Рожкова, Екатерина Титаренко. Исследование системы с обратной связью, рекуррентным обслуживанием и неординарным пуассоновским входящим потоком 223
Анна Полховская, Ольга Бобкова, Светлана Моисеева. Ресурсная RQ-система с коллизиями 228
Павел Приступа, Павел Михеев, Сергей Сущенко. Прямая коррекция ошибок на внутрисегментном уровне транспортного протокола 232
Екатерина Пройдакова, Виктория Санникова. Математическое моделирование и исследование приоритетной управляющей системы с непостоянной интенсивностью обслуживания требований 238
Светлана Рожкова, Наталья Воронина, Александра Семашко. Исследование RQ-системы M/M/1 с ненадежным прибором асимптотическим и матричным методами 244

Елена Станкевич, Игорь Тананко. Метод анализа замкнутых сетей массового обслуживания с системами типа $M_a/M^{[x,y]}/1$ 251
Елена Станкевич, Игорь Тананко. Приближенный метод анализа замкнутых сетей массового обслуживания с ненадежными системами и групповым обслуживанием 255
Гурами Цициашвили, Анатолий Назаров, Александр Моисеев. Асимптотическая оценка интенсивности сборки пуассоновских потоков 258

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

INFORMATION TECHNOLOGIES AND SOFTWARE ENGINEERING

Marat Gainutdinov, Aleksey Shkurkin, Anastasia Pichugina. Development of back-end of the service for internationalization of web-applications..... 265
Алексей Бабанов, Елена Квач. «IS-A»-отношение, как способ представления взаимосвязи обобщенных и специализированных понятий 271
Людмила Демиденко. Проектирование базовой архитектуры модуля «Расписание» системы Alterum Med..... 278
Игорь Жуков, Юрий Костюк. Программная реализация заданий по программированию с многовариантными решениями 285
Денис Змеев, Лидия Иванова, Руфина Рафикова. О представлении прогресса проекта по разработке программного обеспечения в форме динамической байесовской сети 291
Олег Змеев, Юлия Протасевич, Данила Соколов. Поддержка настраиваемых типов проектов в системе автоматизации управления Git-репозиториями для использования в процессе обучения..... 298
Татьяна Кетова, Евгения Соколова. Формальная модель образовательной программы в области компьютерных наук с точки зрения международного стандарта ACM и IEEE 303
Яна Куликова, Дмитрий Качалов, Маис Паша Оглы Фархадов. Сценарии управления беспилотными транспортными средствами в среде «Умного города»..... 308
Яна Лебедева, Вячеслав Вавилов. Разработка системы автоматизации процессов обращения кассовой техники в банковской организации 314

Евгений Полин, Александр Моисеев, Константин Войтиков. Имитационное моделирование СМО с входящими потоками, параметры которых зависят от состояния системы 320
Вадим Тренькаев. Обзор исследований по проблеме достижения высокой производительности протокола OPC UA 324

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELLING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Mary Michel Begre, Warren Kassy Dougg Feussi, Shakhmurad Kanzitdinov, Sergey Vasilyev. Stability analysis and motion of the Kapitsa pendulum 330
Mohamed Adel Bouatta, Irina Kolosova, Evgeniya Korshok, Darya Vasilyeva. Kadyshevsky equation numerical analysis with periodic boundary conditions on adaptive grids 336
Jozil Takhirov. A reaction-diffusion-advection competition model with a free boundary 339
Sergey Pichugin. Problem definition for LEO system switching technique development 345
Анжела Абдразакова, Татьяна Булгакова, Антон Войтишек. Об особенностях выбора ортонормированных систем функций в рандомизированных численных проекционных функциональных алгоритмах 350
Даниэль Перес Акоста, Сергей Васильев, Шахмурад Канзитдинов, Игорь Левичев. Построение решений задач оптимального управления динамическими системами в бесконечномерных пространствах с малым параметром 356
Антон Войтишек, Ярослав Постовалов, Данил Черкашин. Система численного моделирования одномерных случайных величин NMPUD: формирование банка плотностей, автоматизация математических выкладок и приложения 363
Мохамед Адель Буатта, Сергей Васильев, Вячеслав Федорченко. Численный анализ на адаптивных сетках многомерного уравнения Фоккера – Планка с малым параметром 369
Никита Беляков, Рустам Бикмурзин, Дмитрий Федченко. Об использовании конечных автоматов при моделировании наноструктур 373

Ирина Гендрина. Использование метода фиктивных переменных для исследования пространственной характеристики систем видения через атмосферу 377
Антон Есин. Исследование принципов применения моделей многозначной логики в современных приложениях 383
Антон Есин. Теоретические аспекты построения современных систем управления на базе многозначной логики 389
Вячеслав Кувыкин, Максим Брюханов. Математическое и компьютерное моделирование системы согласования материального баланса в нефтепереработке и нефтехимии 394
Вячеслав Кувыкин, АртемКолпаков, Елена Колпакова. Параметрический анализ математических моделей оптимального планирования нефтепереработки и компьютерное моделирование..... 398
Ольга Кузоватова. Компьютерное моделирование локализации деформации сыпучей среды в сходящемся канале 403
Мария Шкленник, Александр Моисеев. Реализация механизма сбора и обработки статистических данных потоков заявок в системе имитационного моделирования ODIS..... 409

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

INTELLIGENT DATA ANALYSIS AND VISUALIZATION

Alyona Borisovskaya. Methods of spelling correction in information retrieval systems 414
Ivan Brokarev, Mais Farkhadov, Sergey Vaskovskii. Recurrent neural networks to analyze the quality of natural gas 419
Ivan Brokarev, Sergey Vaskovskii. Analysis of reliability of gas analysis system based on vector Wiener process 423
Victoria Shamraeva. Analysis of business processes of construction and operation of highways on a toll basis using BIM tools..... 429
Ирина Баранова. Применение метода двудольных множеств событий в задачах регрессионного анализа многомерных разнотипных данных 441
Инна Батраева, Александра Крючкова. Алгоритм репрезентации кастомизированных диалектологических корпусов для Саратовского диалектологического корпуса русского языка 447
Светлана Гагарина, Юрий Гагарин. Прогнозирование частных показателей индекса активного долголетия 450

Степан Гилин. Решение задачи распознавания образов при помощи алгоритма гибридной СММ-нейросети 454
Валерий Голышев, Дарья Семенова. Нечёткий анализ формальных понятий: метод α-сечения 462
Эллада Ибрагимова, Дарья Семенова. Распознавание *k*-кластеризуемости знаковых графов 468
Анна Ивлева, Сергей Смирнов. Первичный концептуальный анализ сестринского дела для экспертной советующей системы 473
Александр Солдатенко, Дарья Семенова. Алгоритм HGFC нахождения формальных понятий 478

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 483

Научное издание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ (ИТММ-2020)

МАТЕРИАЛЫ XIX Международной конференции имени А. Ф. Терпугова 2–5 декабря 2020 г.

Редактор *Т.С. Портнова*

Дизайн, верстка *Д.В. Фортеса*

ООО «Издательство научно-технической литературы»
634034, г. Томск, ул. Студенческая, 4, тел. (3822) 53-10-35

Изд. лиц. ИД № 04000 от 12.02.2001. Подписано к печати 24.02.2021.
Формат 60 × 84 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Таймс».
Усл. п. л. 28.95. Уч.-изд. л. 32.42. Тираж 100 экз. Заказ № 4.