



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

Прямая коррекция ошибок на внутрисегментном уровне транспортного протокола

Павел Приступа, Павел Михеев, Сергей Сущенко

*Национальный исследовательский
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

Важнейшим показателем качества взаимодействия сетевых приложений является пропускная способность транспортных соединений. Данная операционная характеристика в значительной мере определяется транспортным протоколом и его параметрами – шириной окна и длительностью тайм-аута [1]. Моделирование абонентского соединения и анализ его потенциальных возможностей выполнялся в [2–11] и др. работах. Математическое моделирование классического транспортного протокола с решающей обратной связью выполнено в [2–8], имитационное исследование быстродействия протокола проведено в [9, 10]. Но результаты получены при существенных ограничениях на параметры протокола и факторы, определяющие быстродействие транспортного соединения. В современных транспортных протоколах для снижения объема повторно передаваемого трафика получают широкое распространение технологии прямой коррекции ошибок [12–14]. Примером реализации такой технологии является протокол QUIC кампании Google [12]. Математическая модель транспортного протокола с технологией прямой коррекции ошибок в межсегментном пространстве рассмотрена в [14]. В данной работе рассмотрена математическая модель транспортного соединения в фазе информационного переноса с механизмом прямой коррекцией ошибок в виде цепи Маркова с дискретным временем. На основе модели предложен анализ условий, обеспечивающих преимущество в быстродействии транспортного протокола с технологией прямой коррекции ошибок в пространстве каждого сегмента перед классическим транспортным протоколом.

Рассмотрим процесс переноса данных между абонентами транспортного протокола, основанного на алгоритме с решающей обратной связью [1] и функционирующего в режиме селективного или группового отказа. Полагаем, что подтверждения получателя о корректности приема данных переносятся в сегментах встречного потока. Считаем,

что управляющий транспортный протокол имеет дополнительную логику внутрисегментной прямой коррекции ошибок. При этом источник перед отправкой каждого сегмента делит его на $A \geq 1$ фрагментов равного размера, к ним добавляет $B - A$, $B \geq A$ избыточных фрагментов той же длины и передает в транспортное соединение расширенный сегмент. Каждый фрагмент снабжается служебной информацией, позволяющей обнаружить в нем возможные ошибки и восстановить из B фрагментов исходный сегмент в точке приема. Искажение до $B - A$ произвольных фрагментов расширенного сегмента позволяет на стороне получателя восстановить исходный сегмент и не инициировать повторные передачи. Пусть f_f и f_r – достоверность передачи фрагмента вдоль транспортного соединения от источника до адресата и обратно соответственно. Тогда вероятность доставки исходного сегмента адресату с учетом возможности его восстановления получателем с помощью механизма прямой коррекции ошибок задается соотношением

$$\Psi_f = \sum_{i=A}^B C_i^B f_f^i (1 - f_f)^{B-i}. \text{ Данные параметрические зависимости от } A \text{ и}$$

B определяют математическую модель различных методов прямой коррекции ошибок. Считаем, что участки переприема вдоль тракта передачи данных имеют одинаковое быстроедействие, а длительность цикла передачи расширенного сегмента в отдельном звене составляет t . Управление потоком данных реализуется механизмом скользящего окна [1] размера $W \geq 1$. Процесс информационного переноса расширенных сегментов в транспортном соединении может быть описан Марковским процессом с дискретным временем, кратным длительности такта t , в силу того, что время между получениями подтверждений имеет геометрическое распределение [2]. Цепь Маркова задает активность отправителя и изменение размера очереди расширенных сегментов в источнике, ожидающих подтверждения. Область возможных состояний цепи Маркова определяется длительностью тайм-аута ожидания подтверждения S , выраженной в количестве циклов продолжительности t . Сумма длин прямого и обратного трактов может быть интерпретирована как круговая задержка D , выраженная в длительностях t . Состояниям цепи Маркова $i = \overline{0, W}$ соответствует размер очереди переданных, но не подтвержденных сегментов в источнике потока, а состояниям

$i = \overline{W+1, S-1}$ – время, в течение которого отправитель не активен и ожидает получения подтверждения о корректности приема переданной последовательности из W сегментов. Из нулевого состояния в $D-1$ -е источник продвигается с каждым тактом t с вероятностью детерминированного события. В состояниях $i \geq D-1$ после истечения очередного дискретного цикла t к отправителю начинают прибывать подтверждения и, в зависимости от результатов доставки, отправитель передает новые сегменты (при положительном подтверждении), либо повторно – искаженные. Завершение цикла пребывания в состоянии $D-1$ соответствует времени доведения первого сегмента до адресата и получения на него подтверждения. Дальнейший рост номера состояния происходит с вероятностью искажения подтверждения $1 - \Psi_r$ в обратном тракте. В состояниях $i \geq D-1$ в режиме селективного отказа получение подтверждения порождает переход в $D-1$ -е состояние при $W \geq D$ или в состояние $D+W-2-i$ при $W \leq D$. В режиме группового отказа для исходных состояний $i \geq D-1$ возврат в состояния $D-1$ (при $W \geq D$) или $D+W-2-i$ (при $W \leq D$) происходит при получении подтверждения только в случае успешной доставки адресату дошедших к данному моменту до получателя $i - D + 1$ расширенных сегментов, в противном случае следует возврат в нулевое состояние, поскольку очередь переданных, но не подтвержденных сегментов в этот момент обнуляется. В силу того, что в состояниях $i \geq W$ источник приостанавливает отправку сегментов, получение подтверждений в состояниях $i = \overline{W, D+W-3}$ приводит к переходу в состояния $D+W-2-i$, а из состояний $i = \overline{D+W-2, S-2}$ – в нулевое. Это справедливо для селективного отказа, а в режиме группового отказа указанные изменения состояний реализуются при поступлении положительных подтверждений. В состоянии $S-1$ истекает тайм-аут ожидания подтверждения от получателя о корректности принятых сегментов и происходит безусловный переход в нулевое состояние во всех режимах отказа.

Важнейшей операционной характеристикой протокола является его пропускная способность, определяемая параметрами тракта передачи данных, накладными расходами и особенностями протокольных процедур управления передачей [1, 2]. Нормированное быстродействие транспортного соединения определяется средним числом доставленных

получателю неискаженных сегментов за среднее время между двумя последовательными поступлениями подтверждений. Поскольку время между приходами подтверждений распределено по геометрическому закону, то пропускная способность определится зависимостями [2]

$$Z_s(W, S, D, A, B) = \Psi_r \left\{ \sum_{i=D-1}^{D+W-2} (i-D+2) \Psi_f P_i + W \Psi_f \sum_{i=D+W-1}^{S-1} P_i \right\}$$

$$\text{и } Z_g(W, S, D, A, B) = \Psi_f \Psi_r \left\{ \sum_{i=D-1}^{D+W-2} \frac{1 - \Psi_f^{i-D+2}}{1 - \Psi_f} P_i + \frac{1 - \Psi_f^W}{1 - \Psi_f} \sum_{i=D+W-1}^{S-1} P_i \right\}$$

для селективной и групповой процедур отказа соответственно.

Эффективное применение технологии прямой коррекции ошибок предполагает поиск коэффициента фрагментации сегмента A и числа дополнительных избыточных фрагментов $B-A$ для коррекции ошибок, обеспечивающих максимальное быстродействие транспортного соединения с заданными характеристиками и протокольными параметрами. Наличие избыточных фрагментов в передаваемой последовательности увеличивает вероятность доставки получателю сегмента, однако это достигается за счет роста накладных расходов в виде времени переноса дополнительных данных. В связи с этим возникает задача поиска в многомерном признаковом пространстве области значений характеристик транспортного соединения, параметров транспортного протокола и механизма прямой коррекции ошибок, обеспечивающей превосходство управляющей процедуры с прямой коррекцией ошибок перед классической протокольной процедурой с решающей обратной связью без использования коррекции ошибок. Определим выигрыш в быстродействии от применения механизма ПКО по сравнению с классической протокольной процедурой с решающей обратной связью в виде

$$\Delta(A, B) = Z(W, S, D, A, B) - Z(W, S, D, 1, 1).$$

В общем случае сравнительный анализ удастся провести только численно. В ряде случаев за счет снижения размерности признакового пространства область положительных значений выигрыша удастся найти в простом аналитическом виде. В режиме селективного отказа, полагая $W \rightarrow \infty$ либо абсолютно надежным обратный тракт передачи данных ($f_r = 1$), выигрыш приобретает относительно простой аналитический

вид. Для параметров прямой коррекции ошибок $B = A + 1, A \geq 1$ область положительных значений выигрыша существует для $A \geq 2$ на интервале $f_f \in (0, 1 - 1/A^2)$. Максимальное значение выигрыша достигается для $f_f = 1 - 1/A$. С ростом параметра прямой коррекции ошибок A положение максимума выигрыша дрейфует вправо по координате f_f , а максимальный выигрыш растет. Для технологических параметров механизма прямой коррекции ошибок $B = A + 2, A \geq 1$ положительный выигрыш достигается на области значений достоверности доставки фрагментов $f_f \in (0, (A - 1)(A + 2)/A(A + 1))$, $A \geq 2$, а максимум – в точке $f_f = 1 - \sqrt{2/A(A + 1)}$. В режиме группового повтора для абсолютно надежного обратного тракта передачи данных ($f_r = 1$) положительные значения выигрыша при $A = 1, B = 2$ достигаются для достоверности передачи фрагмента в прямом тракте транспортного соединения на интервалах $f_f \in (0, D - 2/D - 1), W \geq D, D > 2$ и $f_f \in (0, 2 - D/W - 1), 1 + D/2 < W < D$. Для нагруженного транспортного соединения ($W \geq D$) с ростом длительности круговой задержки D область положительных значений выигрыша расширяется, максимум растет по кривой с насыщением и его положение сдвигается в область большей достоверности доставки фрагментов f_f . Зависимость выигрыша от параметра A при $B = A + 1, A \geq 1$ имеет экстремальный характер. Для недогруженного транспортного соединения ($1 + D/2 < W < D$) выигрыш с расширением окна от значения $W = 1 + D/2$ до $W = D - 1$ область положительных значений выигрыша по координате f_f расширяется, а максимум выигрыша растет и дрейфует вправо. Такой же эффект имеет место с увеличением параметра прямой коррекции ошибок A для $B = A + 1$. При выполнении условия $W = 1 + D/2$ рост длительности круговой задержки D приводит к сужению по координате f_f области положительных значений выигрыша и снижению преимуществ технологии прямой коррекции ошибок.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Fall K., Stevens R.* TCP/IP Illustrated. Volume 1: The Protocols (2nd Edition). Addison-Wesley Professional Computing Series, 2012. 1017 p.
2. *Kokshenev V.V., Mikheev P.A., Sushchhenko S.P.* Comparative analysis of the performance of selective and group repeat transmission models in a transport protocol // *Automation and Remote Control.* 2017. V. 78. No 2. P. 247–261.
3. *Kokshenev V., Mikheev P., Suschenko S., Tkachyov R.* Analysis of the throughput in selective mode of transport protocol // *CCIS.* 2016. V. 678. P. 168–181.
4. *Bogushevsky D., Mikheev P., Pristupa P., Suschenko S.* The time-out length influence on the available bandwidth of the selective failure mode of transport protocol in the load data transmission path // *CCIS.* 2018. V. 919. P. 120–131.
5. *Kassa D.F.* Analytic Models of TCP Performance: PhD Thesis. University of Stellenbosch, 2005. 199 p.
6. *Giordano S., Pagano M., Russo F., Secchi R.* Modeling TCP startup performance // *Journal of Mathematical Sciences.* 2014. V. 200. Iss. 4. P. 424–431.
7. *Kravets O.Ya.* Mathematical modeling of parameterized TCP protocol // *Automation and Remote Control.* 2013. V. 74. No. 7. P. 1218–1224.
8. *Arvidsson A., Krzesinski A.* A model of a TCP link // *Proceedings of the 15th International Teletraffic Congress Specialist Seminar.* 2002.
9. *Olsen Y.* Stochastic modeling and simulation of the TCP protocol // *Uppsala Dissertations in mathematics* 28. 2003. 94 p.
10. *Mikheev P., Pristupa P., Suschenko S.* Performance of transport connection with selective failure mode when competing for throughput of data transmission path // *CCIS.* 2019. V. 1141. P. 89–103.
11. *Nikitinskiy M.A., Chalyy D.Ju.* Performance analysis of trickles and TCP transport protocols under high-load network conditions // *Automatic Control and Computer Sciences.* 2013. V. 47. No. 7. P. 359–365.
12. *Shalin R., Kesavaraja D.* Multimedia data transmission through TCP/IP using hash based FEC with AUTO-XOR scheme // *ICTACT Journal on Communication Technology.* 2012. V. 03. Iss. 03. P. 604–609.
13. *Herrero R.* Modeling and comparative analysis of forward error correction in the context of multipath redundancy // *Telecommunication Systems. Modelling, Analysis, Design and Management.* 2017. V. 65(4). P. 783–794.
14. *Mikheev P., Suschenko S., Tkachev R.* Estimation of high-speed performance of the transport protocol with the mechanism of forward error correction // *Communications in Computer and Information Science.* 2017. V. 700. P. 259–268.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

QUEUING THEORY AND APPLICATION

<i>Yves Adou, Ekaterina Markova.</i> To queueing system model performance measures analysis under network slicing.....	5
<i>Kirill Ageev, Eduard Sopin.</i> Analysis of the simplified network slicing model	11
<i>Anilkumar M.P., K.P. Jose.</i> An eigen value approach to a discrete-time queueing model with N -policy on two modes of service.....	17
<i>P. Beena, K.P. Jose.</i> A MAP/PH(1), PH(2)/2 inventory system with production, multiple servers and vacations.....	24
<i>Anastasia Daraseliya, Eduard Sopin.</i> Optimization of task offloading thresholds in the fog computing system	31
<i>Dhanya Babu, Varghese. C. Joshua, Achyutha Krishnamoorthy.</i> A queueing system with probabilistic joining strategy for priority customers	37
<i>Elmira Kalimulina.</i> On convergence of queueing network with changing structure to stationary distribution.....	43
<i>Maksim Korshikov, Eduard Sopin.</i> Analysis of the processor sharing systems with random serving rate coefficients	46
<i>Achyutha Krishnamoorthy, Varghese C. Joshua, Ambily P. Mathew.</i> A reliability problem with Interdependent Lifetimes	52
<i>Eugene Lebedev, Vadim Ponomarov, Oksana Pryshchepa.</i> The exact formulas for state-dependent Markov retrial queues	58
<i>Eugene Lebedev, Hanna Livinska.</i> Gaussian approximation and reducing of dimension for a general-type multichannel network	64
<i>Khamis Abdullah Khamis AL Maqbali, Varghese C. Joshua, Achyutha Krishnamoorthy.</i> On A single server queueing inventory system with common life time for inventoried items	70
<i>Agassi Melikov¹, V. Divya, Sevinc Aliyeva.</i> Analyses of feedback queue with positive server setup time and impatient calls.....	77
<i>Faina Moskaleva, Ekaterina Lisovskaya, Yuliya Gaidamaka.</i> A two-class service system for performance analysis of network slicing with QoS Isolation	82

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

непрерывным временем и дискретными состояниями при времязависимых вероятностях переходов.....	178
<i>Максим Жарков, Михаил Пavidис.</i> Об использовании четырех- фазных систем массового обслуживания для описания работы грузовых и сортировочных железнодорожных станций.....	184
<i>Владимир Задорожный, Татьяна Захаренкова.</i> Метод бесконеч- ных разметок в системах с неизвестным временем обслужива- ния поступающих заявок	188
<i>Владимир Задорожный, Микеле Пагано, Татьяна Захаренкова.</i> Применение метода бесконечных разметок к сетям с коммута- цией пакетов.....	194
<i>Андрей Зорин, Ксения Сизова.</i> Метод решения стационарных уравнений для процесса приоритетного обслуживания с раз- делением времени в случайной среде.....	200
<i>Валентина Клименок, Александр Дудин, Иван Ванькович.</i> Стацио- нарные характеристики системы массового обслуживания с повторными вызовами и поиском на орбите	205
<i>Дмитрий Копать, Михаил Матальцкий.</i> Анализ ожидаемого до- хода в открытой сети с ограниченным числом заявок и обхо- дами ими систем обслуживания.....	211
<i>Анатолий Назаров, Екатерина Павлова.</i> Исследование СМО вида ММРР М N с обратной связью методом асимптотически диф- фузионного анализа.....	217
<i>Анатолий Назаров, Светлана Рожкова, Екатерина Титаренко.</i> Исследование системы с обратной связью, рекуррентным об- служиванием и неординарным пуассоновским входящим по- током.....	223
<i>Анна Полховская, Ольга Бобкова, Светлана Моисеева.</i> Ресурсная RQ-система с коллизиями.....	228
<i>Павел Приступа, Павел Михеев, Сергей Суценко.</i> Прямая кор- рекция ошибок на внутрисегментном уровне транспортного протокола.....	232
<i>Екатерина Пройдакова, Виктория Санникова.</i> Математическое моделирование и исследование приоритетной управляющей системы с непостоянной интенсивностью обслуживания тре- бований	238
<i>Светлана Рожкова, Наталья Воронина, Александра Семашко.</i> Исследование RQ-системы M/M/1 с ненадежным прибором асимптотическим и матричным методами	244

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

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

INFORMATION TECHNOLOGIES AND SOFTWARE ENGINEERING

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

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

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELLING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

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

<i>Ирина Гендрина.</i> Использование метода фиктивных переменных для исследования пространственной характеристики систем видения через атмосферу.....	377
<i>Антон Есин.</i> Исследование принципов применения моделей многозначной логики в современных приложениях	383
<i>Антон Есин.</i> Теоретические аспекты построения современных систем управления на базе многозначной логики.....	389
<i>Вячеслав Кувыкин, Максим Брюханов.</i> Математическое и компьютерное моделирование системы согласования материального баланса в нефтепереработке и нефтехимии.....	394
<i>Вячеслав Кувыкин, Артем Колпаков, Елена Колпакова.</i> Параметрический анализ математических моделей оптимального планирования нефтепереработки и компьютерное моделирование.....	398
<i>Ольга Кузоватова.</i> Компьютерное моделирование локализации деформации сыпучей среды в сходящемся канале	403
<i>Мария Шкленник, Александр Мусеев.</i> 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

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

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