

*Intellectual Technologies
on Transport
No 2*



*Интеллектуальные технологии
на транспорте
№ 2*

*Санкт-Петербург
St. Petersburg
2021*

**Интеллектуальные технологии на транспорте
№ 2, 2021**

ISSN 2413-2527

Сетевой электронный научный журнал, свободно распространяемый через Интернет.
Публикуются статьи на русском и английском языках с результатами исследований
и практических достижений в области интеллектуальных технологий
и сопутствующих им научных исследований.

Журнал основан в 2015 году.

Учредитель и издатель

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС)

Главный редактор

Хомоненко А. Д., д.т.н., проф., С.-Петербург, РФ

Сопредседатели редакционного совета

Панычев А. Ю., ректор ПГУПС, С.-Петербург, РФ

Чаркин Е. И., зам. ген. директора по ИТ ОАО «РЖД», Москва, РФ

Редакционный совет

Ададулов С. Е., проф., Москва, РФ
Дудин А. Н., д.т.н., проф., БГУ, Минск, Беларусь
Корниенко А. А., проф., ПГУПС, С.-Петербург, РФ
Ковалец П., проф., Техн. ун-т, Варшава, Польша
Меркурьев Ю. А., проф., РТУ, Рига, Латвия
Нестеров В. М., проф., СПбГУ, С.-Петербург, РФ

Пустарнаков В. Ф., зам. ген. дир. «Газинформсервис»,
С.-Петербург, РФ
Титова Т. С., проф., проректор ПГУПС,
С.-Петербург, РФ
Федоров А. Р., ген. дир. «ДигДез», С.-Петербург, РФ
Юсупов Р. М., проф., чл.-корр. РАН, С.-Петербург, РФ

Редакционная коллегия

Бубнов В. П., проф., С.-Петербург, РФ – зам. гл. ред.
Александрова Е. Б., проф., С.-Петербург, РФ
Атилла Элчи, проф., ун-т Аксарай, Турция
Басыров А. Г., проф., С.-Петербург, РФ
Безродный Б. Ф., проф., Москва, РФ
Благовещенская Е. А., проф., С.-Петербург, РФ
Булавский П. Е., д.т.н., доц., С.-Петербург, РФ
Василенко М. Н., проф., С.-Петербург, РФ
Глухов А. П., д.т.н., Москва, РФ
Гуда А. Н., проф., Ростов-на-Дону, РФ
Железняк В. К., проф., Новополоцк, Беларусь
Заборовский В. С., проф., С.-Петербург, РФ
Зегжда П. Д., проф., С.-Петербург, РФ
Канаев А. К., проф., С.-Петербург, РФ
Котенко А. Г., д.т.н., доц., С.-Петербург, РФ
Куренков П. В., проф., Москва, РФ
Лецкий Э. К., проф., Москва, РФ

Макаренко С. И., д.т.н., доц., С.-Петербург, РФ
Мирзоев Т. А., асс. проф., Джорджия, США
Наседкин О. А., к.т.н., доц., С.-Петербург, РФ
Никитин А. Б., проф., С.-Петербург, РФ
Новиков Е. А., д.т.н., доц., С.-Петербург, РФ
Охтилев М. Ю., проф., С.-Петербург, РФ
Привалов А. А., проф., С.-Петербург, РФ
Соколов Б. В., проф., С.-Петербург, РФ
Таранцев А. А., проф., С.-Петербург, РФ
Утепбергенов И. Т., проф., Алматы, Казахстан
Филипченко С. А., к.т.н., доц., Москва, РФ
Фозилов Ш. Х., проф., Ташкент, Узбекистан
Фу-Ниан Ху, проф., Цзянсу, Китай
Хабаров В. И., проф., Новосибирск, РФ
Ходаковский В. А., проф., С.-Петербург, РФ
Чехонин К. А., проф., Хабаровск, РФ
Ялышев Ю. И., проф., Екатеринбург, РФ

Адрес редакции:

190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9, ауд. 1–210
e-mail: itt-pgups@yandex.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций,
свидетельство Эл № ФС77-61707 от 07 мая 2015 г.

Журнал зарегистрирован в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

Периодичность выхода – 4 номера в год. Выпуски журнала доступны на сайте <http://itt-pgups.ru>.

Копии архивов с выпусками журнала проходят государственную регистрацию как электронное издание
сетевого распространения в НТЦ "Информрегистр".

Информация предназначена для детей старше 12 лет.

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», 2021

Intellectual Technologies on Transport

Issue 2, 2021

ISSN 2413-2527

Network electronic scientific journal, open access. It publishes articles in Russian and English with the results of research and practical achievements in the field of intelligent technologies and associated research.

Founded in 2015.

Founder and Publisher

Federal State Educational Institution of Higher Education
«Emperor Alexander I Petersburg State Transport University»

Editor-in-Chief

Khomonenko A. D., Dr. Sc., Prof., St. Petersburg, Russia

Co-chairs of the Editorial Council

Panychev A. Y., rector of PSTU, St. Petersburg, Russia
Charkin E. I., CIO of JSC «Russian Railways», Moscow, Russia

Editorial Council Members

Adadurov S. E., Prof., Moscow, Russia
Dudin A. N., Prof., BSU, Minsk, Belarus
Kornienko A. A., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia
Kovalets P., Prof., Tech. University, Warsaw, Poland
Merkuryev Y. A., Prof., RTU, Academician of the
Latvian Academy of Sciences, Riga, Latvia
Nesterov V. M., Prof., SPbSU, St. Petersburg, Russia

Pustarnakov V. F., Deputy CEO at «Gazinformservice» Ltd.,
St. Petersburg, Russia
Titova T. S., Prof., Vice-Rector, PSTU, St. Petersburg, Russia
Fedorov A. R., CEO at «Digital Design» Ltd.,
St. Petersburg, Russia
Yusupov R. M., Prof., Corr. Member of RAS,
St. Petersburg, Russia

Editorial Board Members

Bubnov V. P., Prof., St. Petersburg, Russia –
Deputy Editor-in-Chief
Aleksandrova E. B., Prof., St. Petersburg, Russia
Atilla Elci, Prof., Aksaray University, Turkey
Basyrov A. G., Prof., St. Petersburg, Russia
Bezrodny B. F., Prof., Moscow, Russia
Blagoveshchenskaya E. A., Prof., St. Petersburg, Russia
Bulavsky P. E., Dr. Sc., As. Prof., St. Petersburg, Russia
Vasilenko M. N., Prof., St. Petersburg, Russia
Glukhov A. P., Dr. Sc., St. Petersburg, Russia
Guda A. N., Prof., Rostov-on-Don, Russia
Zheleznyak V. K., Prof., Novopolotsk, Belarus
Zaborovsky V. S., Prof., St. Petersburg, Russia
Zegzhda P. D., Prof., St. Petersburg, Russia
Kanaev A. K., Prof., St. Petersburg, Russia
Kotenko A. G., Dr. Sc., As. Prof., St. Petersburg, Russia
Kurenkov P. V., Prof., Moscow, Russia
Letsky E. K., Prof., Moscow, Russia

Makarenko S. I., Dr. Sc., As. Prof.,
St. Petersburg, Russia
Mirzoev T. A., As. Prof., Georgia, USA
Nasedkin O. A., As. Prof., St. Petersburg, Russia
Nikitin A. B., Prof., St. Petersburg, Russia
Novikov E. A., Dr. Sc., As. Prof., St. Petersburg, Russia
Okhtilev M. Y., Prof., St. Petersburg, Russia
Privalov A. A., Prof., St. Petersburg, Russia
Sokolov B. V., Prof., St. Petersburg, Russia
Tarantsev A. A., Prof., St. Petersburg, Russia
Utepbergenov I. T., Prof., Almaty, Kazakhstan
Filipchenko S. A., As. Prof., Moscow, Russia
Fozilov Sh. Kh., Prof., Tashkent, Uzbekistan
Fu-Nian Hu, Prof., Jiangsu, China
Khabarov V. I., Prof., Novosibirsk, Russia
Khodakovskiy V. A., Prof., St. Petersburg, Russia
Chekhonin K. A., Prof., Khabarovsk, Russia
Yalyshev Y. I., Prof., Ekaterinburg, Russia

Editorial address:

190031, St. Petersburg, Moskovsky ave., 9, aud. 1–210
e-mail: itt-pgups@yandex.ru

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications and Mass Media,
EL No. FS77-61707 testimony from May 7, 2015.

The journal is registered in the Russian Science Citation Index (RSCI).

Frequency of release - 4 issues per year. Issues of the magazine are available at <http://itt-pgups.ru>.

Copies of the archives with the issues of the journal are state-registered as an electronic publication of network distribution
in the Scientific and Technical Center «Informregister».

The content is for children over the age of 12.

© Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Emperor Alexander I Petersburg State Transport University», 2021

Содержание

Баранов И. А., Агунов А. В.

Моделирование процессов компенсации реактивной мощности в системе тягового электроснабжения с помощью MATLAB-Simulink 5

Бубнов В. П., Султонов Ш. Х., Бараусов Д. В.

Нестационарная модель надежности вычислительной системы с холодным резервированием 13

Дергунов Н. Д., Кожомбердиева Г. И., Бураков Д. П.

Разработка клиент-серверного Java-приложения на платформе Android для контроля пребывания студента в вузе 19

Пасс И. Д. Забродин А. В.

Система анализа и визуализации параметров окружающей среды с возможностью геопривязки 26

Шардаков К. С.

Особенности программной реализации численно-аналитической модели параллельно-последовательной нестационарной системы обслуживания 33

Басыров А. Г., Степанов И. В., Лупашко М. Н.

Стратегия организации информационных процессов в автономных подвижных объектах на основе минимизации энерговременных затрат 45

*Переводы докладов, представленных на международном семинаре
«Модели и методы исследования информационных систем на транспорте»
на базе кафедр «Информационные и вычислительные системы» и «Высшая математика».
С.-Петербург. Россия. 11-12 декабря 2020 г.*

Хомоненко А. Д., Иванова Н. В., Руохомаа Х.

Информационно-аналитические методы социотехнической системы на основе концепции Умного города..... 49

Литвинова В. В., Моисеев В. И., Рунёв Е. В.

Стохастическая модель процесса токосъема с контактной сети токоприемника электроподвижного состава при высоких скоростях движения 55

Contents

Baranov I. A., Agunov A. V.
Modeling Reactive Power Compensation in a Traction Power Supply System
Using MATLAB-Simulink 5

Bubnov V. P., Sultonov Sh. Kh., Barausov D. V.
Non-Stationary Model of Reliability of a Computer System with Cold Redundancy 13

Dergunov N. D., Kozhombardiya G. I., Burakov D. P.
Development of Client-Server Java Application on the Android Platform for Monitoring
the Student's Stay at the University 19

Pass I. D., Zabrodin A. V.
System for Analyzing and Visualization Environmental Parameters with the Possibility
of Georeferencing 26

Shardakov K. S.
Features of the Software Implementation of a Numerical-Analytical Model
of a Parallel-Sequential Non-Stationary Queueing System 33

Basyrov A. G., Stepanov I. V., Lupashko M. N.
Strategy for Organizing Information Processes in Autonomous Mobile Objects Based
on Minimizing Energy and Time Costs 45

*Translations of reports presented at the Models and Methods for Researching Information Systems
in Transport Workshop on the basis of the departments
«Information and Computer Systems» and «Higher Mathematics».
St. Petersburg, Russian Federation, December 11-12, 2020.*

Khomonenko A. D., Ivanova N. V., Ruohomaa H.
Informational-Analytic Methods for Sociotechnical System on the Basic of Smart City Concept 49

Litvinova V. V., Moiseev V. I., Runev E. V.
Stochastic Model of Thermal Processes in the Contact Network at Arc Discharges
Occurring at High Speeds of Movement 55

Моделирование процессов компенсации реактивной мощности в системе тягового электроснабжения с помощью MATLAB-Simulink

И. А. Баранов, д.т.н. А. В. Агунов

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия
baranov@pgups.ru, alexagunov@mail.ru

Аннотация. Рассматривается моделирование процессов компенсации реактивной мощности, приведена разработанная модель и результаты вычислений, полученных с ее помощью. Моделирование процессов компенсации позволяет упростить работу проектирования усиления системы тягового электроснабжения с помощью компенсирующих устройств, а также снизить затраты на проведение исследований влияния предполагаемого усиления.

Ключевые слова: регулируемые компенсирующие устройства, системы тягового электроснабжения, компенсация реактивной мощности, Simulink, емкостная компенсация, фильтр низких частот.

ВВЕДЕНИЕ

Железная дорога является одной из основных транспортных структур страны. Поэтому она должна полностью обеспечивать быстрые и качественные перевозки грузов и пассажиров по сети железных дорог. Непосредственно способствует этим показателям электрификация, которая является ключевым звеном технического прогресса на транспорте. Она помогает существенно увеличить пропускную способность железных дорог, производительность и условия труда, эффективность работы, связанной с перевозками, а также снизить потребление топливно-энергетических ресурсов. Сегодня более 50 % протяженности железных дорог Российской Федерации работает на электрической тяге, а она, в свою очередь, обеспечивает 83,6 % грузо- и пассажирооборота Российских железных дорог [1–4].

Рост числа перевозок по железной дороге создает необходимость в таких параметрах, как высокая надежность устройств электроснабжения (уменьшение числа отказов технических средств), безаварийность работы, а также снижение потерь при получении, переработке и распределении электроэнергии регламентированного качества между потребителями [5–7].

Системы тягового электроснабжения (СТЭ) представляют собой сложные электротехнические комплексы, которые оказывают значительное влияние в виде помех на смежные линии систем автоматики, связи и телемеханики, а также на сети внешнего электроснабжения. При этом СТЭ обладают рядом немаловажных особенностей.

Первая особенность — электроподвижной состав (ЭПС) переменного тока является однофазной нелинейной

нагрузкой. А около 90 % локомотивов, используемых на территории РФ, оснащены двухполупериодными выпрямительными установками и коллекторными тяговыми двигателями. Что говорит о преобладании в спектре потребляемого тока ЭПС низкочастотных нечетных гармоник (3, 5 и 7-й). А несинусоидальные токи вызывают искажения напряжений в тяговой сети и в системе внешнего электроснабжения.

Вторая особенность заключается в том, что при гармониках около 500 Гц и выше необходимо учитывать распределенный характер параметров контактной сети, а именно: есть волновые процессы, которые, в свою очередь, обуславливаются резонансными явлениями, из-за которых могут возникать перенапряжения на токоприемниках ЭПС.

Третья особенность — это динамический характер тяговых нагрузок, вызываемый изменением режима работы ЭПС и его движением, при котором переменные нагрузки вызывают существенные колебания активной и реактивной мощностей. Для достижения наиболее устойчивого режима работы СТЭ необходима регулируемая компенсация реактивной мощности, которая изменяется в зависимости от величины тяговой нагрузки [8–10].

Регулируемые поперечные компенсирующие устройства (ПКУ) и регулируемые устройства продольной компенсации (УПК) являются основными средствами, цель которых — поддержание установленного нормального уровня напряжения на токоприемнике и качества электроэнергии в СТЭ. Установка ПКУ и УПК способна решить следующие задачи по усилению СТЭ:

- 1) компенсация реактивной мощности, что способствует повышению напряжения в контактной сети;
- 2) увеличение среднего значения напряжения на токоприемниках ЭПС за счет подавления мощных низкочастотных гармоник;
- 3) снижение режимных перенапряжений в контактной сети;
- 4) ослабление высокочастотных гармоник для снижения негативного влияния тяговой сети на смежные линии;
- 5) демпфирование резонансных явлений, вызванных волновыми процессами в тяговой сети [11–13].

Таким образом, задача усиления СТЭ является весьма актуальной. А применение моделирования процессов

компенсации позволяет упростить процесс проектирования усиления СТЭ за счет регулируемых устройств компенсации реактивной мощности и снизить затраты на исследования влияния проектируемого усиления СТЭ на устройства СТЭ и систему электроснабжения в целом.

ОПИСАНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ МОДЕЛИ

В программном пакете MATLAB-Simulink разработана модель для исследований процессов, происходящих

при усилении СТЭ за счет регулируемых устройств компенсации (рис. 1), которая состоит из следующих элементов [14–17]:

1. Модель системы внешнего электроснабжения (рис. 2).
2. Модель системы тягового электроснабжения (рис. 3).
3. Модель электропдвижного состава 2ЭС5К (рис. 4).
4. Модель регулируемого компенсирующего устройства с фильтром низких частот (рис. 5).

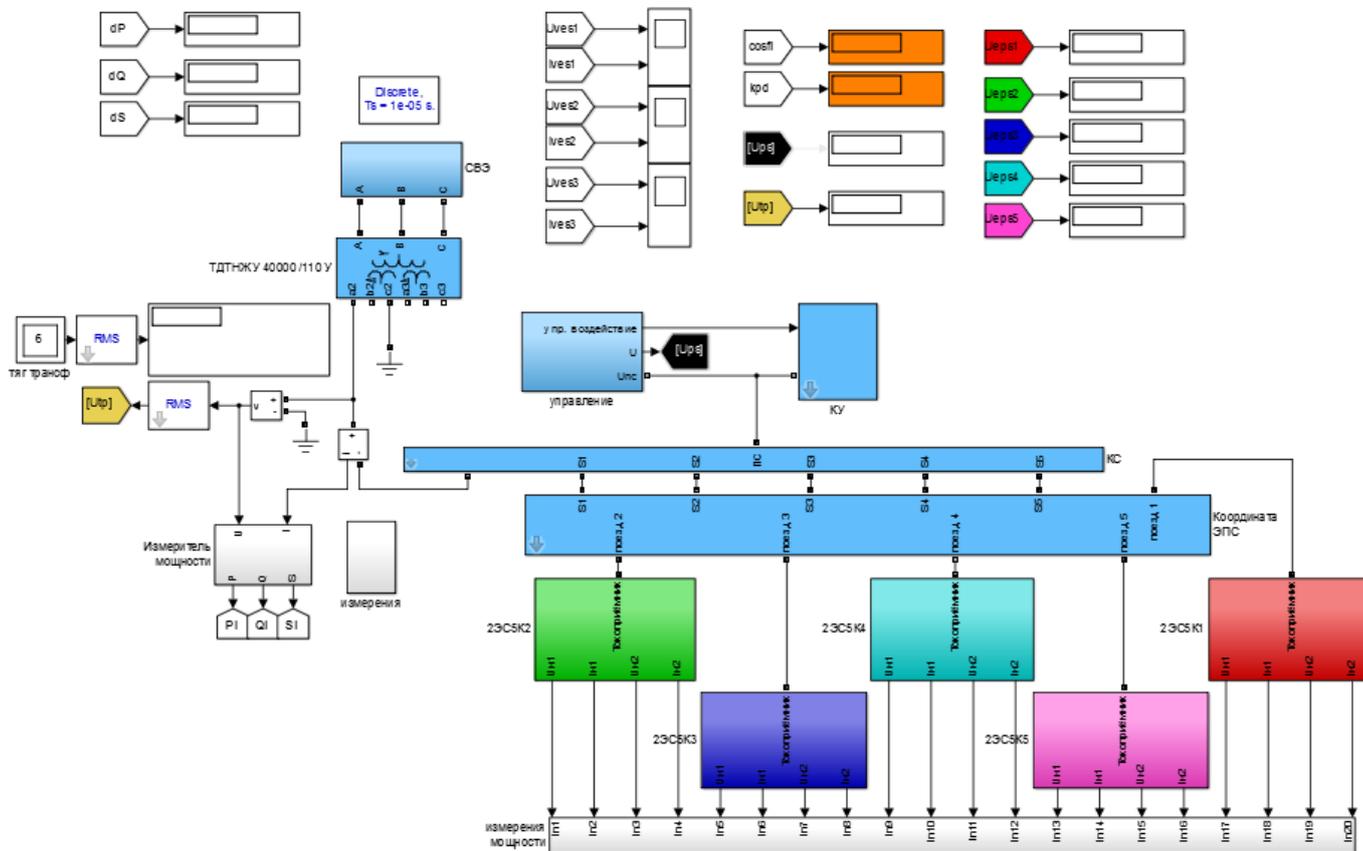


Рис. 1. Разработанная модель

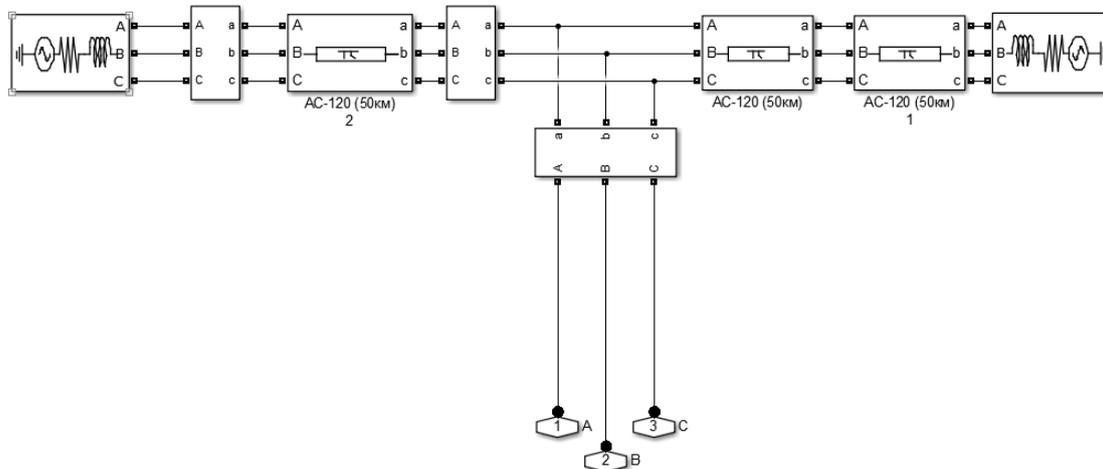


Рис. 2. Модель системы внешнего электроснабжения

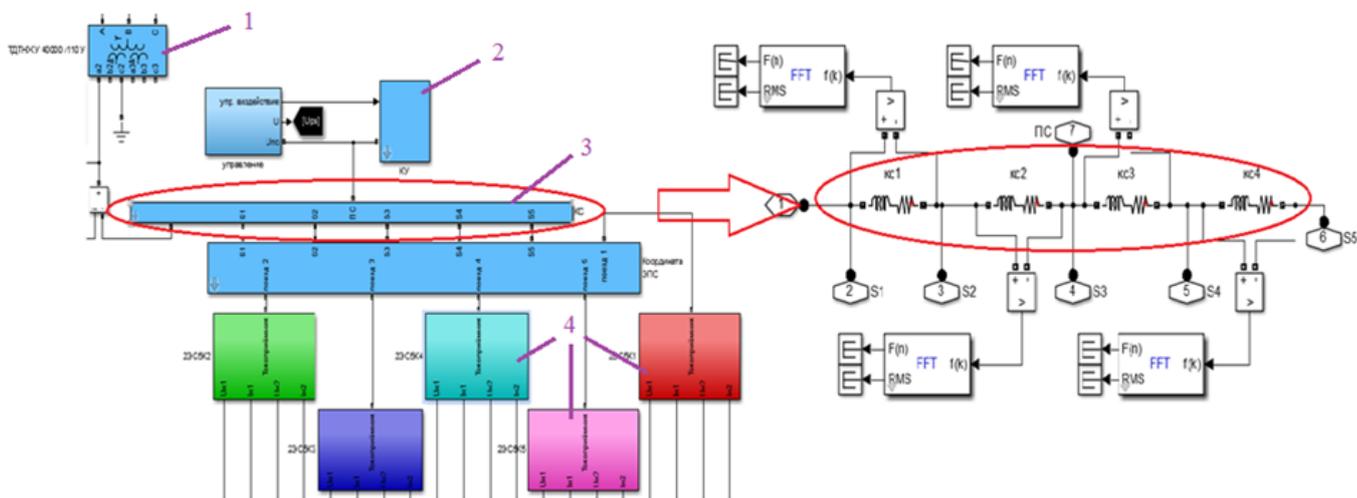


Рис. 3. Модель системы тягового электроснабжения

1 — понижающий тяговый трансформатор ТДТНЖУ 40000/110У; 2 — регулируемое устройство компенсации реактивной мощности; 3 — тяговая сеть, представленная активно-индуктивным сопротивлением; 4 — электроподвижной состав типа 2ЭС5К.

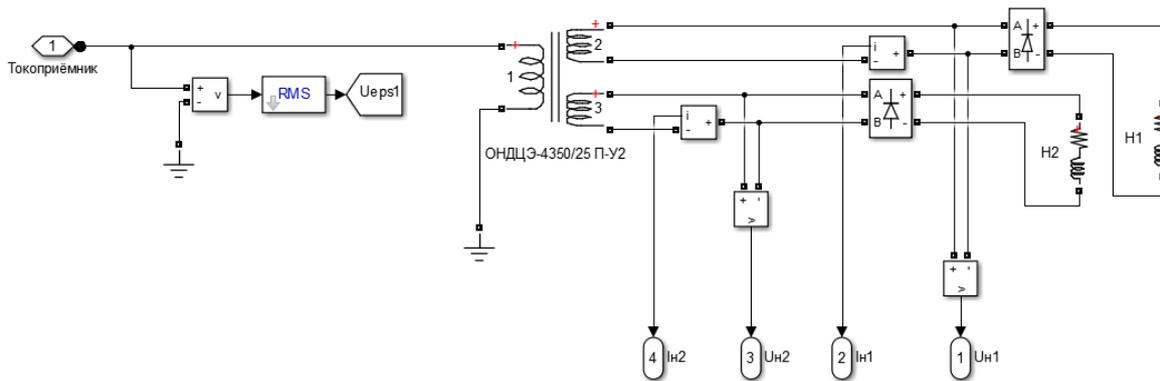


Рис. 4. Модель электроподвижного состава 2ЭС5К

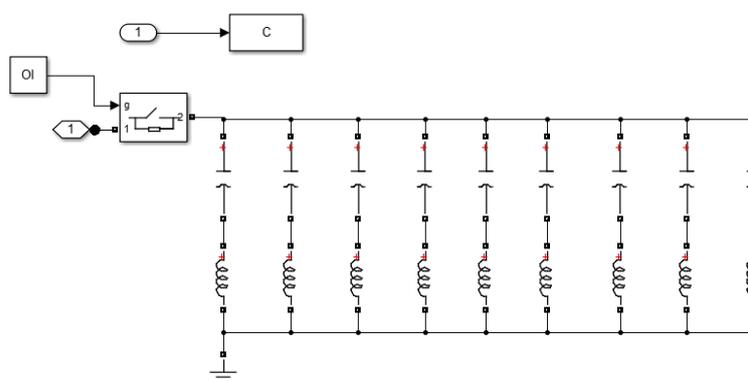


Рис. 5. Модель регулируемого компенсирующего устройства с фильтром низких частот

Для расчетов взят режим одностороннего питания, как наиболее тяжелый из режимов.

Расчеты произведены посредством мгновенных схем для разных точек положение ЭПС на межподстанционной зоне (МПЗ) при наличии устройства компенсации и при его отсутствии. Максимальное количество ЭПС на МПЗ (60 км) — 5 штук, то есть между ЭПС 15 км. Движение начинается первым поездом из координаты S1 и заканчивается пятым поездом в координате S5. Статические характеристики нагрузки ЭПС приведены на рисунке 6.

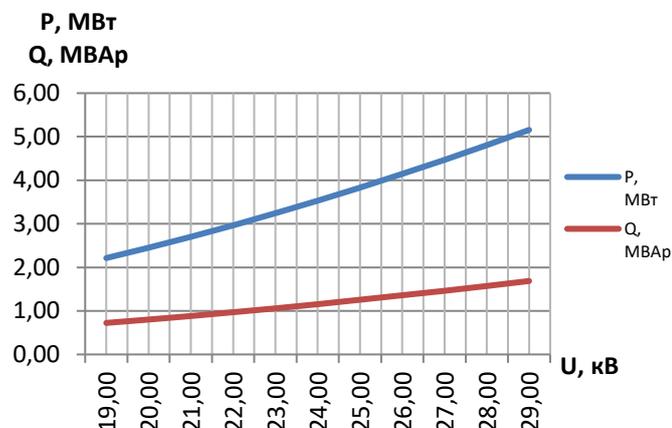


Рис. 6. Статические характеристики нагрузки ЭПС

Для каждой мгновенной схемы выполняется гармонический анализ напряжения и осциллограммы токов и напряжений в тяговой сети и системе внешнего электропитания, чтобы наглядно показать фильтрующее действие устройства компенсации.

В разработанной математической модели уставка Q стремится к нулю.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ

С помощью разработанной модели произведен расчет 9 мгновенных схем, что соответствует прохождению 5 поездов по МПЗ друг за другом. Результаты расчета при отсутствии ПКУ сведены в таблицу 1. По рисунку 7 можно видеть, что напряжение на тяговой подстанции (ТП) понижается до отметки в 23 кВ, а на посту секционирования (ПС) — до 19 кВ.

Таблица 1

Результаты расчетов схемы при отключенном устройстве компенсации

Мгновенная схема №	Напряжение на ТП, кВ	Напряжение на ПС, кВ	Напряжение ЭПС 1, кВ	Напряжение ЭПС 2, кВ	Напряжение ЭПС 3, кВ	Напряжение ЭПС 4, кВ	Напряжение ЭПС 5, кВ	КПД, %	cosφ
1	25,08	25,06	25,08	-	-	-	-	95,6	0,928
2	24,58	23,95	23,95	24,58	-	-	-	96,9	0,914
3	24,05	22,24	22,24	22,82	24,05	-	-	96,2	0,894
4	23,57	20,64	20,11	20,64	21,76	23,57	-	94,5	0,869
5	23,14	19,22	17,75	18,22	19,22	20,82	23,14	92,3	0,843
6	23,59	19,61	-	18,11	18,59	19,61	21,24	89,9	0,815
7	24,05	20,53	-	-	18,97	19,48	20,53	89,0	0,810
8	24,53	22,05	-	-	-	20,41	20,94	89,5	0,826
9	25,03	23,72	-	-	-	-	22,54	90,3	0,866

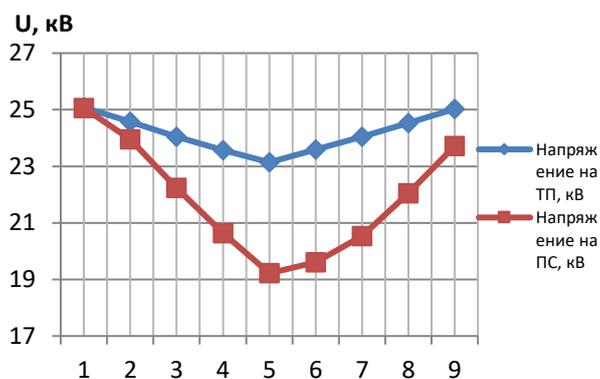


Рис. 7. График изменения напряжения на тяговой подстанции и посту секционирования для системы тягового электропитания без компенсации

По графику изменения уровней напряжения на токоприемнике ЭПС (рис. 8) видно, что на 5-й мгновенной схеме, когда на МПЗ находятся все 5 поездов, напряжение на токоприемнике наиболее удаленных поездов опускается ниже минимального значения в 19 кВ и даже ниже 18 кВ.

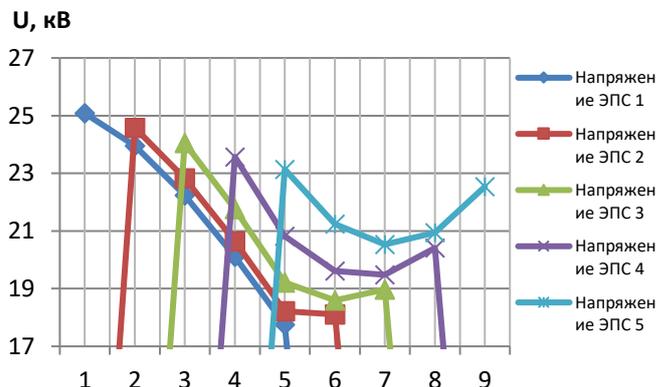


Рис. 8. График изменения напряжения на токоприемниках ЭПС для СТЭ без компенсации

На рисунке 9 заметно уменьшение КПД ниже отметки 90 %, что очень низко по современным меркам электрических систем, также видно уменьшение среднего коэффициента мощности (cos φ) системы до 0,81.

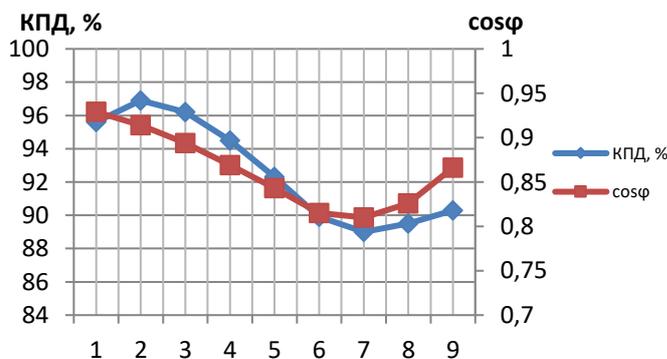


Рис. 9. График изменения КПД и коэффициента мощности cos φ для СТЭ без компенсации

На рисунке 10 представлен гармонический состав в тяговой сети, который в свою очередь очень сильно влияет на систему внешнего электроснабжения (СВЭ) и смежные линии.

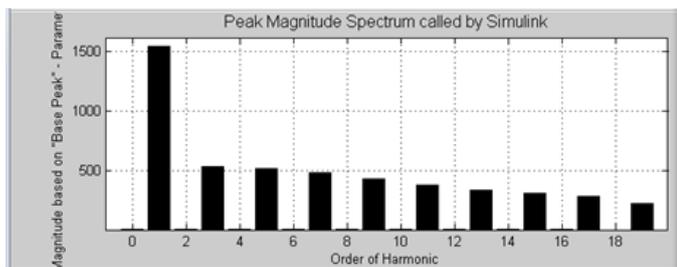


Рис. 10. Гармонический состав в тяговой сети без компенсации

Такой же расчет произведен при подключении регулируемого ПКУ. Полученные результаты (табл. 2) говорят об увеличении напряжения на ТП, которое даже в самый загруженный момент (мгновенная схема 5) не опускается ниже 24 кВ, и ПС, где напряжение едва переходит границу в 22 кВ (рис. 11).

Таблица 2

Результаты расчетов схемы при включенном устройстве компенсации

Мгновенная схема №	Напряжение на ТП, кВ	Напряжение на ПС, кВ	Напряжение ЭПС 1, кВ	Напряжение ЭПС 2, кВ	Напряжение ЭПС 3, кВ	Напряжение ЭПС 4, кВ	Напряжение ЭПС 5, кВ	КПД, %	cosφ
1	25,33	25,94	25,33	-	-	-	-	95,4	0,998
2	25,09	25,71	25,07	25,09	-	-	-	96,7	0,997
3	24,73	24,58	24,58	24,3	24,73	-	-	96,2	0,994
4	24,28	23,25	22,66	23,25	23,37	24,28	-	94,8	0,984
5	23,89	22,1	20,44	20,97	22,1	22,55	23,89	92,9	0,973
6	24,18	21,77	-	20,14	20,66	21,77	22,55	91,0	0,958
7	24,54	22,21	-	-	20,55	21,07	22,21	90,4	0,956
8	24,91	23,32	-	-	-	21,57	22,13	90,6	0,964
9	25,26	24,47	-	-	-	-	23,24	91,2	0,981

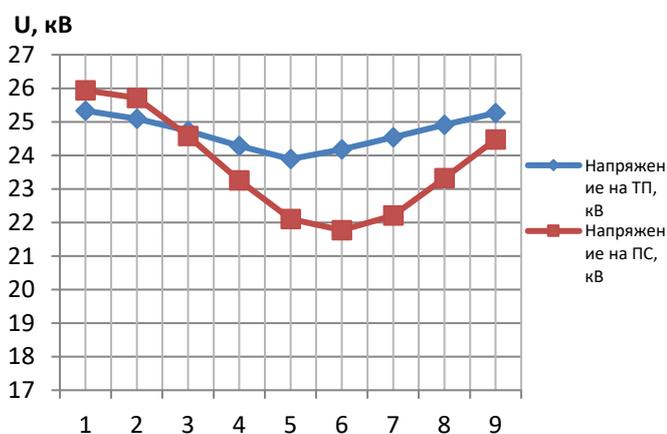


Рис. 11. График изменения напряжения на тяговой подстанции и посту секционирования для системы тягового электроснабжения при компенсации

По напряжениям на токоприемниках наблюдается повышение уровня напряжения, которое даже для самых отдаленных поездов в наиболее нагруженный момент не опускается ниже 20 кВ (рис. 12).

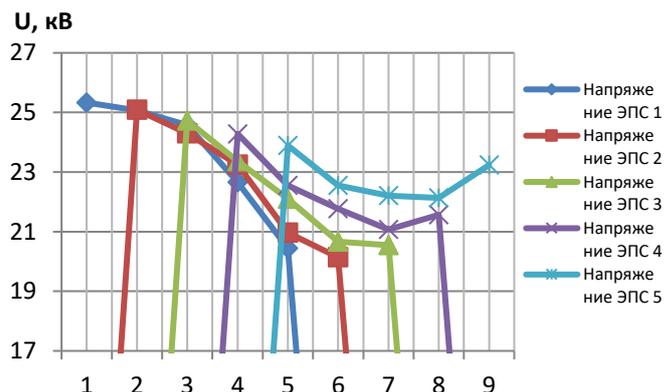


Рис. 12. График изменения напряжения на токоприемниках ЭПС для СТЭ при компенсации

КПД все еще достаточно сильно падает, но уже не переходит границу в 90 %, ввиду того что специально был выбран наиболее тяжелый режим работы. А вот коэффициент мощности заметно увеличивается и держится в границах 0,95–0,99, что говорит об эффективности регулируемого ПКУ (рис. 13). Также, поскольку компенсирующее устройство используется совместно с фильтром низких частот, по спектру гармоник (рис. 14) видно, что они практически полностью гасятся фильтром.

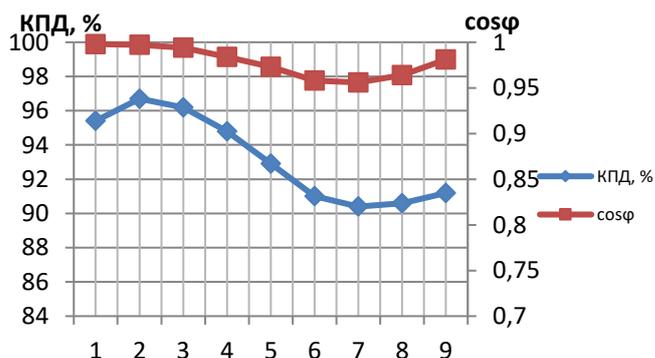


Рис. 13. График изменения КПД и коэффициента мощности cos φ для СТЭ при компенсации

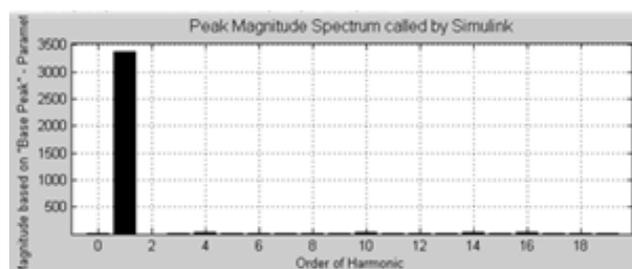


Рис. 14. Гармонический состав в тяговой сети при компенсации

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная в программном пакете MATLAB-Simulink модель позволяет производить расчет мгновенных схем и оценивать влияния системы тягового электроснабжения на систему внешнего электроснабжения, а также устройств емкостной компенсации реактивной мощности на уровень напряжения в контактной сети и на саму систему тягового электроснабжения в целом. Кроме того, предшествующее построению конкретной СТЭ компьютерное моделирование позволяет достичь максимально эффективного использования времени и материальных ресурсов разработчика за счет выявления нерациональных или даже ошибочных технических решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об энергетической стратегии ОАО «РЖД» на период до 2010 года и на перспективу до 2030 года: распоряжение ОАО «РЖД» от 11.02.2008 № 269р. URL: <http://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=35> (дата обращения 14.06.2021).
2. Об утверждении Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года и плана мероприятий на 2008–2015 годы по ее реализации: распоряжение Правительства Российской Федерации от 17.06.2008 № 877-р.
3. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 22.11.2008 № 1734-р (с изм. от 11.06.2014 № 1032-р; 12.05.2018 № 893-р).
4. Гапанович, В. А. Энергетическая стратегия и электрификация российских железных дорог / В. А. Гапанович, С. Н. Епифанцев, В. А. Овсейчук; под общ. ред. Г. П. Кутового; Российская акад. естественных наук, Отд-ние «Науч. основы регулирования естественных монополий». — Москва: Эко-Пресс, 2012. — 195 с.
5. Игнатенко, И. В. Электроснабжение железных дорог: Учебное пособие: в 2 ч. / И. В. Игнатенко; Дальневосточный гос. ун-т путей сообщения. — Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2013. — Ч. 1. — 2013. — 113 с.
6. Чернов, Ю. А. Электроснабжение электрических железных дорог: Учебное пособие для студентов вузов ж.-д. транспорта / Ю. А. Чернов; Московский гос. ун-т путей сообщения (МИИТ). — Москва: МИИТ, 2006. — Ч. 3. — 2012. — 170 с.
7. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. — Москва: Транспорт, 1982. — 528 с.
8. Герман, Л. А. Регулируемые установки емкостной компенсации в системах тягового электроснабжения железных дорог: Монография / Л. А. Герман, А. С. Серебряков; Московский гос. ун-т путей сообщения (МГУПС). — Москва: РОАТ МГУПС, 2012. — 211 с.
9. Требования нормативных документов к конденсаторным установкам // Регулируемые установки емкостной компенсации в системах тягового электроснабжения железных дорог / Л. А. Герман, А. С. Серебряков. — Москва: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. — С. 29–34.
10. Тер-Оганов, Э. В. Электроснабжение железных дорог: учебник для студентов университета (УрГУПС) специальности 190901.65 «Системы обеспечения движения поездов» специализации «Электроснабжение железных дорог» / Э. В. Тер-Оганов, А. А. Пышкин. — Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2014. — 431 с.
11. Герман, Л. А. Наука на службе электрификации железных дорог // Евразия Вести. 2013. № 10. С. 11–12.
12. Тюриков, А. М. Электроэнергетическая инфраструктура тягового электроснабжения // Евразия Вести. 2014. № 10. С. 26.
13. Герман, Л. А. Регулируемые установки емкостной компенсации тягового электроснабжения // Евразия Вести. 2011. № 10. С. 16–17.
14. Агунов, А. В. Компьютерное моделирование системы тягового электроснабжения переменного тока / А. В. Агунов, А. Н. Марикин, Д. А. Соколов // Электроника и электрооборудование транспорта. 2019. № 5. С. 38–40.
15. Р 640. Общие методы выбора параметров и оценки эффективности применения устройств компенсации реактивной мощности в тяговой сети переменного тока. Памятка ОСЖД. I издание. Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 27–30 октября 2015 г. // Организация сотрудничества железных дорог (ОСЖД). — Варшава: Комитет ОСЖД, 2015. — 13 с.
URL: <http://osjd.org/ru/8954/page/106077?id=2583> (дата обращения 14.06.2021).
16. Основы компьютерного проектирования и моделирования устройств электроснабжения: Учебное пособие / А. И. Бурьяноватый, М. А. Иванов, Э. А. Иванова, А. Е. Шаговик. — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2020. — 56 с.
17. Соколов, Д. А. Моделирование систем тягового электроснабжения в MATLAB-Simulink / Д. А. Соколов, А. В. Агунов // Тезисы докладов Десятого международного симпозиума «Eltrans 10.0» (Элтранс-2019), посвященного 210-летию со дня основания первого транспортного вуза России — Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (09–11 октября 2019 г., Санкт-Петербург). — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2019. — Ч. 2. — 2019. — С. 61–62.

Modeling Reactive Power Compensation in a Traction Power Supply System Using MATLAB-Simulink

I. A. Baranov, PhD A. V. Agunov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
Saint Petersburg, Russia

baranov@pgups.ru, alexagunov@mail.ru

Abstract. Discusses the modeling of reactive power compensation processes, shows the developed model and the results of calculations obtained with its help. Modeling the compensation processes will simplify the design work for the amplification of the traction power supply system using compensating devices, as well as reduce the cost of researching the effect of the expected amplification.

Keywords: adjustable compensating devices, traction power system amplification, reactive power compensation, Simulink, capacitive compensation, low-pass filter.

REFERENCES

1. On the Energy Strategy of Russian Railways JSC for the Period Up To 2010 and for the Future Until 2030: Order of the Russian Railways JSC [Ob energeticheskoy strategii OAO «RZhD» na period do 2010 goda i na perspektivu do 2030 goda: rasporyazhenie OAO «RZhD»] from February 11, 2008 No. 269r. Available at: <http://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=35> (accessed 14 June 2021).
2. On Approval of the Strategy for the Development of Railway Transport in the Russian Federation Until 2030 and the Action Plan for 2008–2015 for Its Implementation: Order of the Government of the Russian Federation [Ob utverzhdenii Strategii razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda i plana meropriyatiy na 2008–2015 gody po ee realizatsii: rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii] from June 17, 2008 No. 877-r.
3. On Approval of the Transport Strategy of the Russian Federation for the Period Up To 2030: Order of the Government of the Russian Federation [Ob utverzhdenii Transportnoy strategii Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda: rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii] from November 22, 2008 No. 1734-r (last ed. May 12, 2018 No. 893-r).
4. Gapanovich V. A., Epifantsev S. N., Ovseychuk V. A. Energy strategy and electrification of russian railways [Energeticheskaya strategiya i elektrifikatsiya rossiyskikh zheleznikh dorog]. Moscow, Eko-Press Publishing House, 2012, 195 p.
5. Ignatenko I. V. Railway power supply: Study guide [Elektrosnabzhenie zheleznikh dorog: Uchebnoe posobie], Part 1. Khabarovsk, Far Eastern State Transport University, 2013, 113 p.
6. Chernov Yu. A. Power supply of electric railways: Study guide [Elektrosnabzhenie elektricheskikh zheleznikh dorog: Uchebnoe posobie], Part 3. Moscow, Moscow State Transport University (MIIT), 2012, 170 p.
7. Markvardt K. G. Power supply of electrified railways [Elektrosnabzhenie elektrifitsirovannykh zheleznikh dorog]. Moscow, Transport Publishing House, 1982, 528 p.
8. German L. A., Serebryakov A. S. Regulated units of capacitive compensation in traction power supply systems of railways: Monography [Reguliruemye ustanovki emkostnoy kompensatsii v sistemakh tyagovogo elektrosnabzheniya zheleznikh dorog: Monografiya]. Moscow, Russian Open Academy of Transport of the Moscow State Transport University, 2012, 211 p.
9. Requirements of regulatory documents for condensing units [Trebovaniya normativnykh dokumentov k kondensatornym ustanovkam]. In: German L. A., Serebryakov A. S. Regulated units of capacitive compensation in traction power supply systems of railways [Reguliruemye ustanovki emkostnoy kompensatsii v sistemakh tyagovogo elektrosnabzheniya zheleznikh dorog]. Moscow, Educational and Methodical Center for Education in Railway Transport, 2015, Pp. 29–34.
10. Ter-Oganov E. V., Pyshkin A. A. Power supply of railways: Textbook [Elektrosnabzhenie zheleznikh dorog: Uchebnik]. Yekaterinburg, Ural State University of Railway Transport, 2014, 431 p.
11. German L. A. Science at the Service of Railway Electrification [Nauka na sluzhbe elektrifikatsii zheleznikh dorog], *Eurasia Vesti [Evraziya Vesti]*, 2013, No. 10, Pp. 11–12.
12. Tyurikov A. M. Electric Power Infrastructure of Traction Power Supply [Elektroenergeticheskaya infrastruktura tyagovogo elektrosnabzheniya], *Eurasia Vesti [Evraziya Vesti]*, 2014, No. 10, P. 26.
13. German L. A. Regulated Units of Capacitive Compensation of Traction Power Supply [Reguliruemye ustanovki emkostnoy kompensatsii tyagovogo elektrosnabzheniya], *Eurasia Vesti [Evraziya Vesti]*, 2011, No. 10, Pp. 16–17.
14. Agunov A. V., Marikin A. N., Sokolov D. A. AC Traction Power Network Computer Simulation [Komp'yuternoe modelirovanie sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya peremennogo toka], *Electronics and Electrical Equipment of Transport [Elektronika i elektrooborudovanie transporta]*, 2019, No. 5, Pp. 38–40.
15. P 640. General Methods for Selecting Parameters and Assessing the Effectiveness of the Use of Reactive Power Compensation Devices in the AC Traction Network. OSJD leaflets. First edition [P 640. Obshchie metody vybora parametrov i otsenki effektivnosti primeneniya ustroystv kompensatsii reaktivnoy moshchnosti v tyagovoy seti peremennogo toka. Pamyatka OSZhD. Pervoe izdanie]. Warsaw, Organization for Railways Cooperation, 2015, 13 p. Available at: <http://osjd.org/ru/8954/page/106077?id=2583> (accessed 14 June 2021).

16. Bur'yanovatyy A. I., Ivanov M. A., Ivanova E. A., Shagovik A. E. Fundamentals of computer design and modeling of power supply devices: Study guide [Osnovy komp'yuternogo proektirovaniya i modelirovaniya ustroystv elektrosnabzheniya: Uchebnoe posobie]. Saint Petersburg, PSTU, 2020, 56 p.

17. Sokolov D. A., Agunov A. V. Modeling of Traction Power Supply Systems in MATLAB-Simulink [Modelirovanie sistem tyagovogo elektrosnabzheniya v MATLAB-Simulink], *Theses of the Tenth International Symposium «Eltrans 10.0» [Tezisy dokladov Desyatogo mezhdunarodnogo simpoziuma «Eltrans 10.0»] (Eltrans 2019), St. Petersburg, Russia, October 09–11, 2019, Part 2.* Saint Petersburg, PSTU, 2019, Pp. 61–62.

Нестационарная модель надежности вычислительной системы с холодным резервированием

д.т.н. В. П. Бубнов, Ш. Х. Султонов, Д. В. Бараусов

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия

bubnov1950@yandex.ru, sultonovsh@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается модель функционирования вычислительной системы, построенной на базе микропроцессоров с холодным резервированием. Модель не ограничена предположением об экспоненциальности распределений и используется для моделирования процесса отказов и перехода на резервные микропроцессоры, находящиеся в холодном резерве, с произвольным законом распределения временных интервалов. Аппроксимация неоднородно-эрланговским распределением производится по первым двум начальным моментам, полученным из статистики распределения времени до отказа основного вычислительного модуля и распределения времени перехода на резервный вычислительный модуль. Приводятся результаты вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: нестационарная модель надежности, аппроксимация произвольной плотности вероятностей, вычислительная система, уравнения Чепмена — Колмогорова.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вычислительные системы, находящиеся в контуре управления технологическими процессами и объектами (космические аппараты, электростанции, объекты жизнеобеспечения и т. п.), для повышения надежности строятся по принципу многоканального резервирования. Как правило, для исследования надежности функционирования подобных систем используются стационарные модели надежности при предположении об экспоненциальности распределения временных интервалов до отказа работающего модуля и временных интервалов перехода на резервный. Однако, как теоретический, так и практический интерес представляет рассмотрение нестационарной модели надежности вычислительной системы, с произвольными законами распределения временных интервалов [1–3].

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭРЛАНГОВСКОЙ АППРОКСИМАЦИИ

Аппроксимация неоднородно-эрланговским распределением производится по первым двум начальным моментам, полученным из статистики с интенсивностями $\lambda_j, \bar{\lambda}_j$ распределения времени до отказа j -го вычислительного модуля и интенсивностями распределения $\mu_j, \bar{\mu}_j$ времени перехода на резервный $j + 1$ вычислительный модуль [4, 5].

Для аппроксимации исходной плотности по двум начальным моментам (часто встречающийся в практических расчетах случай) целесообразно плотность неоднородно-эрланговского распределения.

Система уравнений для определения параметров аппроксимирующего распределения (например, для вычисления $\mu_j, \bar{\mu}_j$) имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2} = f_1 \\ \frac{1}{\mu_1^2} + \frac{1}{\mu_1\mu_2} + \frac{1}{\mu_2} = f_2. \end{cases} \quad (1)$$

Из (1) получается

$$\mu_{1,2} = \frac{f_1 \pm \sqrt{4f_2 - 3f_1^2}}{2(f_1 - f_2)}. \quad (2)$$

Из (2) следует, что вещественные параметры имеются при аппроксимации исходной плотности с коэффициентом вариации $1/\sqrt{2} \leq \eta < 1$.

При использовании аппроксимации в диапазоне $0 < \eta < 1/\sqrt{2}$ целесообразно использовать комплексно-сопряженные параметры $\mu_1 = \alpha + j\beta$, $\mu_2 = \alpha - j\beta$.

Подставив в (2) вместо μ_1 и μ_2 их комплексное значение получим:

$$\alpha = \frac{f_1}{2(f_1^2 - f_2)}, \beta = \frac{\sqrt{3f_1^2 - 4f_2}}{2(f_1^2 - f_2)}. \quad (3)$$

Так как β должно быть вещественным, то подкоренное выражение (3) должно быть больше или равно нулю. Подкоренное выражение при аппроксимации гамма-плотности произвольного вида равно

$$\frac{3\chi^2}{\lambda^2} - \frac{2\chi(\chi+1)}{\lambda^2} = \frac{\chi(\chi-2)}{\lambda^2},$$

то есть $\chi > 2$. Связав полученный вывод со значением коэффициента вариации, получается, что комплексно-сопряженные параметры двухэтапного неоднородно-эрланговского распределения имеют место при выравнивании плотности произвольного вида с коэффициентом вариации $\eta < 1/\sqrt{2}$. Аналогично можно вычислить параметры $\lambda_j, \bar{\lambda}_j$ аппроксимирующего распределения между временными моментами отказов вычислительных модулей [6–8].

Состояние системы в каждый момент времени характеризуется вектором (j, k, l) , где j — номер вычислительного модуля, находящегося в рабочем состоянии; k — номер этапа неоднородно-эрланговского распределения времени до отказа; l — номер этапа неоднородно-эрланговского распределения времени перехода на резервный вычислительный модуль. Граф переходов и состояний НСО представлен на рисунке 1.

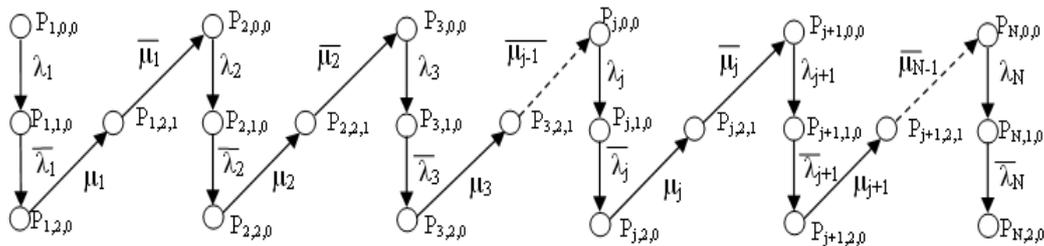


Рис. 1. Граф переходов и состояний модели надежности

ПРОЦЕСС ВЫЧИСЛЕНИЯ

ОДНОРОДНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Общее уравнение системы однородных дифференциальных уравнений Чепмена — Колмогорова, описывающей данный процесс, имеет вид:

$$\frac{dP_{j,k,l}(t)}{dt} = \delta(1-k)\{\delta(j-1)\bar{\mu}_j P_{j-1,2,1}(t) - \lambda_j P_{j,0,0}(t)\} + \delta(k)\delta(2-k)\{\lambda_j P_{j,0,0}(t) - \bar{\lambda}_j P_{j,1,0}(t)\} + \delta(k-1)\delta(1-l)\{\bar{\lambda}_j P_{j,1,0}(t) - \delta(N-j)\mu_j P_{j,2,0}(t)\} + \delta(l)\delta(N-j)\{\mu_j P_{j,2,0}(t) - \bar{\mu}_j P_{j,2,1}(t)\},$$

где $j = \overline{1, N}, k = \overline{0, 2}, l = \overline{0, 1}, \delta(m) = \begin{cases} 1, & \text{если } m > 0; \\ 0, & \text{если } m \leq 0. \end{cases}$

Общее число состояний N_c вычисляется по формуле

$$N_c = 4N - 1.$$

Для каждого момента времени t должно соблюдаться условие нормировки вида

$$\sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=0}^2 \sum_{l=0}^1 P_{j,k,l}(t) + \sum_{k=0}^2 P_{N,k,0}(t) = 1.$$

Задав начальные условия к системе в виде

$$P_{j,k,l}(0) = \begin{cases} 1, & \text{если } j = 1, k = 0, l = 0; \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

можно найти численное решение соответствующей задачи Коши для произвольного значения t . Используя решения системы (1) [5, 9], можно получить показатели функциональной надежности системы: вероятность нахождения системы в работоспособном состоянии (4), математическое ожидание числа отказавших вычислительных модулей (5):

$$P_0(t) = \sum_{j=1}^N \sum_{k=0}^1 P_{j,k,0}(t), \tag{4}$$

$$R(t) = \sum_{j=1}^N j \sum_{l=0}^1 P_{j,2,l}(t). \tag{5}$$

Была выполнена программная реализация данного метода [6, 10–13]. С помощью разработанного программного комплекса был исследован диапазон изменения коэффициентов вариации исходных распределений времени до отказов и до перехода на резервный от 1 до 0. Далее приведены наиболее показательные результаты расчетов, иллюстрирующие использование предлагаемой модели надежности с неоднородно-эрланговским распределением длительности интервалов между моментами отказа и длительности интервалов между моментами перехода на резервный вычислительный модуль.

Для сравнения приведены также результаты, полученные с использованием предположения об экспоненциальном распределении интервалов между моментами отказов и восстановлений вычислительных модулей [14–16]. Расчеты приведены для системы, содержащей $N = 3$ микропроцессоров. Средние длины временных интервалов между отказами $T_1 = 65$ ч., $T_2 = 75$ ч., $T_3 = 100$ ч. Средние длины временных интервалов между восстановлениями $T_1^B = 0,0125$ ч., $T_2^B = 0,03$ ч.

На рисунке 2 приведены графики вероятности нахождения системы в работоспособном состоянии $N = 3$ вычислительных модулей для различных значений коэффициентов вариации $v = 0,7, 0,8, 1,0$. На рисунке 3 приведены графики математического ожидания числа отказавших микропроцессоров при $N = 3$ для различных значений коэффициентов вариации $v = 0,7, 0,8, 1,0$.

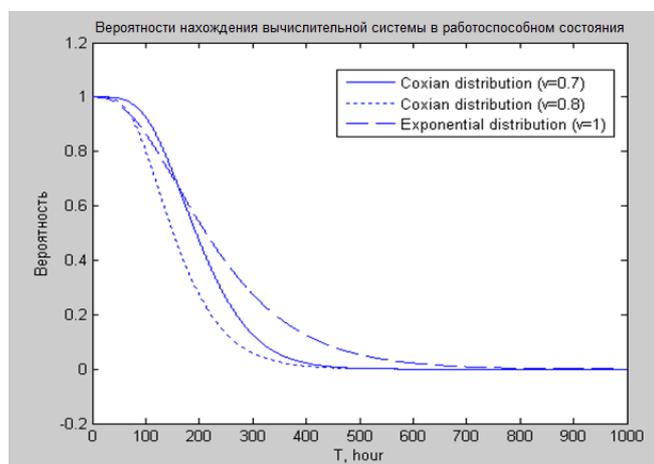


Рис. 2. Вероятность нахождения вычислительной системы в работоспособном состоянии

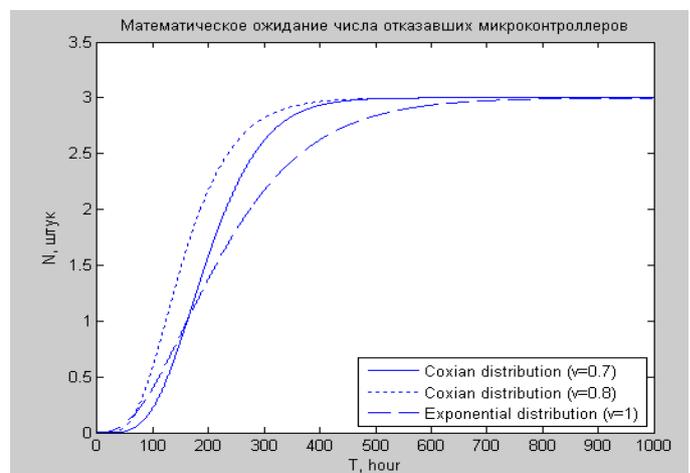


Рис. 3. Математическое ожидание числа отказавших вычислительных модулей

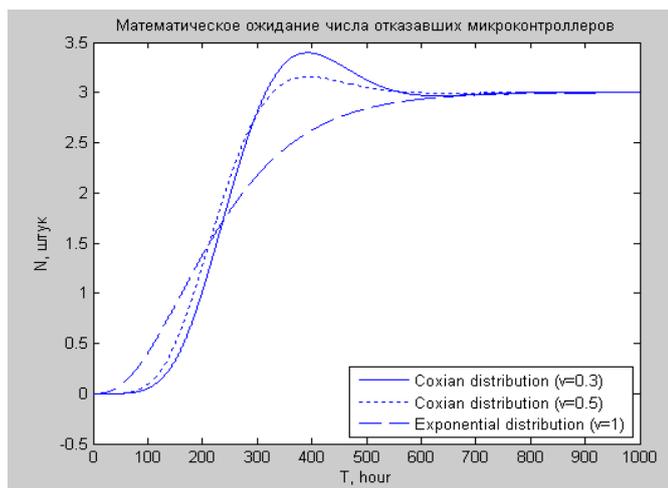


Рис. 4. Математическое ожидание числа отказавших вычислительных модулей

При коэффициенте вариации, стремящемся к нулю, значительно увеличивается влияние комплексной составляющей параметров аппроксимации плотности. Этим и объясняется наличие «всплесков» на графиках, представленных на рисунках 4 и 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные вычислительные эксперименты демонстрируют, что при коэффициенте вариации исходных распределений, близком к нулю, возрастает влияние комплексных составляющих аппроксимирующих распределений, что приводит к «всплеску» в диапазоне от 300 до 500 часов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бубнов, В. П. Аппроксимационный метод исследования немарковских систем: Учебное пособие / В. П. Бубнов; Федеральное агентство ж.-д. транспорта, ФГБОУ ВПО ПГУПС. — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2014. — 37 с.
2. Bubnov, V. P. Software Reliability Model with Coxian Distribution of Length of Intervals Between Errors Detection and Fixing Moments / V. P. Bubnov, A. D. Khomonenko, A. V. Tyrva // 35th Annual IEEE Computer Software and Applications Conference Workshops (COMPSACW 2011) (Munich, Germany, 18–21 July 2011). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011. — Pp. 310–314. DOI: 10.1109/COMPSACW.2011.58.
3. Бубнов, В. П. Особенности программной реализации численно-аналитического метода расчета моделей нестационарных систем обслуживания / В. П. Бубнов, А. С. Еремин, С. А. Сергеев // Труды СПИИРАН. 2015. Вып. 1 (38). С.218–232. DOI: 10.15622/sp.38.12.
4. Shardakov, K. S. Generating of the Coefficient Matrix of the System of Homogeneous Differential Equations / K. S. Shardakov, V. P. Bubnov, A. N. Pavlov // First Workshop Computer Science and Engineering in the framework of the 5th International Scientific-Methodical Conference «Problems of Mathematical and Natural-Scientific Training in Engineering Education» (CSITinMNSTinEE2018) (St. Petersburg, Russia, 08–09 November 2018). CEUR Workshop Proceedings. 2019. Vol. 2341. Pp. 42–47. DOI: 10.24412/1613-0073-2341-42-47.

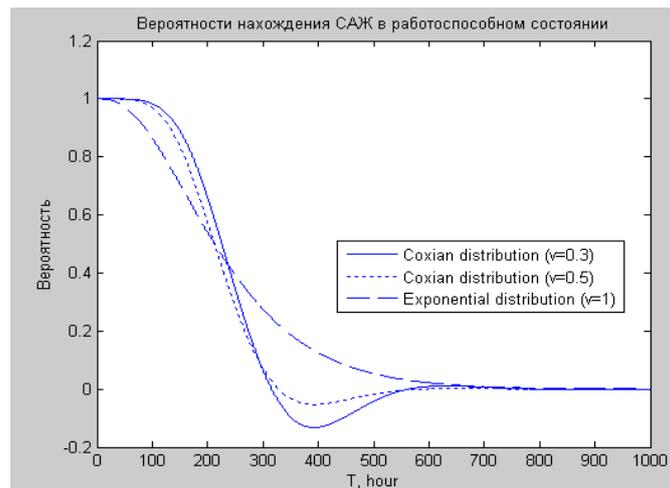


Рис. 5. Вероятность нахождения системы в работоспособном состоянии

5. Бубнов, В. П. Обзор существующих моделей нестационарных систем обслуживания и методов их расчета / В. П. Бубнов, В. И. Сафонов, К. С. Шардаков // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 3. С. 65–121. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10303.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617625 Российская Федерация. Программный комплекс аналитико-имитационных моделей для расчёта вероятностно-временных характеристик нестационарных систем обслуживания: № 2015614100: заявл. 19.05.2015; опубл. 20.08.2015 / С. А. Сергеев, В. П. Бубнов, В. В. Бубнов; заявитель ООО «Научно-технический центр инновационных космических технологий СПИИРАН». — 1 с.

7. Смагин, В. А. Математические модели для расчета количественных характеристик оптимального квантования информации / В. А. Смагин, В. П. Бубнов, Ш. Х. Султонов // Транспортные системы и технологии. 2021. Т. 7, № 1. С. 46–58. DOI: 10.17816/transsyst20217146-58.

8. Проурзин, О. В. Влияние неэкспоненциальности законов распределений на показатели надежности двухканальной кластерной вычислительной системы / О. В. Проурзин, Ш. Х. Султонов // Инфокоммуникационные технологии: актуальные вопросы цифровой экономики: Сборник научных трудов I Международной научно-практической конференции (Екатеринбург, Россия, 17–18 февраля 2021 г.) / под ред. В. П. Шувалова; сост. Д. В. Кусайкин, Н. В. Будылдина, [и др.]. — Екатеринбург: УрТИСИ СибГУТИ, 2021. — С. 248–251.

9. Barausov, V. A. Simulation Modeling in Methods and Designs for Detecting Ice or Snow Buildup on Control Surface in MATLAB/SIMULINK Dynamic Modeling Environment / V. A. Barausov, V. P. Bubnov, Sh. Kh. Sultonov // Proceedings of the Workshop «Models and Methods for Researching Information Systems in Transport 2020» on the basis of the departments «Information and Computer Systems» and «Higher Mathematics» (MMRIST 2020) (St. Petersburg, Russia, 11–12 December 2020). CEUR Workshop Proceedings. 2021. Vol. 2803. Pp. 136–141. DOI: 10.24412/1613-0073-2803-136-141.

10. Barausov, V. A. Control Software for Surface Ice and Snow Detecting Device / V. A. Barausov, V. P. Bubnov, Sh. Kh. Sultonov // Proceedings of Models and Methods of Information Systems Research Workshop in the frame of the Betancourt International Engineering Forum (MMISR 2019) (St. Petersburg, Russia, 04–05 December 2019). CEUR Workshop Proceedings. 2020. Vol. 2556. Pp. 75–79. DOI: 10.24412/1613-0073-2556-75-79.

11. Методы и модели исследования сложных систем и обработки больших данных: Монография / И. Ю. Парамонов, В. А. Смагин, Н. Е. Косых, А. Д. Хомоненко; под ред. В. А. Смагина, А. Д. Хомоненко. — Санкт-Петербург: Лань, 2020. — 236 с. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

12. Smagin, V. A. Application of the Concentration Function in Fuzzy Sets Theory / V. A. Smagin, E. M. Shurygin // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2020. № 1 (21). С. 16–23.

13. Смагин, В. А. Математическая модель детерминированных и случайных процессов в виде последовательного гиперфрактального распределения / В. А. Смагин, В. П. Бубнов // Автоматика на транспорте. 2019. Т. 5, № 2. С. 145–159. DOI 10.20295/2412-9186-2019-5-2-145-159.

14. Новиков, А. Н. Алгоритм определения вариантов структуры системы передачи единиц величин с заданными ограничениями / А. Н. Новиков, В. А. Смагин, О. А. Ширямов // Труды Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского. 2018. № 660. С. 89–99.

15. Integration of the MATLAB System and the Object-Oriented Programming System C# Based on the Microsoft COM Interface for Solving Computational and Graphic Tasks / S. E. Adadurov, Y. S. Fomenko, A. D. Khomonenko, A. V. Krasnovidov // Intelligent Algorithms in Software Engineering: Proceedings of the 9th Computer Science On-line Conference (CSOC 2020), Volume 1 (Zlin, Czech Republic, 15 July 2020). Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 1224 / R. Silhavy (eds). — Cham: Springer Nature, 2020. — Pp. 581–589. DOI: 10.1007/978-3-030-51965-0_51.

16. Data Processing in High-Performance Computing Systems / A. Adamov, A. I. Buranbaeva, S. I. Gindin, [et al.] // Big Data and Advanced Analytics = Big Data и анализ высокого уровня: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции (Минск, Республика Беларусь, 20–21 мая 2020 г.): в 3-х ч. — Ч. 1. — Минск: Бестпринт, 2020. — С. 33–52.

Non-Stationary Model of Reliability of a Computer System with Cold Redundancy

Grand PhD V. P. Bubnov, Sh. Kh. Sultonov, D. V. Barausov
Emperor Alexander I Petersburg State Transport University
Saint Petersburg, Russia
bubnov1950@yandex.ru, sultonovsh@yandex.ru

Abstract. A model of the functioning of a computing system based on microprocessors with cold redundancy is considered. The model is not limited by the assumption of exponential distributions and is used to simulate the process of failures and the transition to standby microprocessors in a cold standby with an arbitrary law of distribution of time intervals. The approximation by a non-uniform Erlang distribution is performed according to the first two initial moments obtained from the statistics of the distribution of time before the failure of the main computational module and the distribution of the transition time to the backup computational module. The results of computational experiments are presented.

Keywords: non-stationary reliability model, approximation of an arbitrary probability density, computing system, Chapman-Kolmogorov equations.

REFERENCES

1. Bubnov V. P., Sergeev S. A. Approximation method for the study of non-Markov systems: Study guide [Aproximatsionnyy metod issledovaniya nemarkovskikh sistem: Uchebnoe posobie]. St. Petersburg, PSTU, 2014, 37 p.
2. Bubnov V. P., Tyrva A. V., Khomonenko A. D. Software Reliability Model with Coxian Distribution of Length of Intervals Between Errors Detection and Fixing Moments, *Proceedings of the 35th Annual IEEE Computer Software and Applications Conference Workshops (COMPSACW 2011)*, Munich, Germany, July 18–21, 2011, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011, Pp. 310–314. DOI: 10.1109/COMPSACW.2011.58.
3. Bubnov V. P., Eremin A. S., Sergeev S. A. Program Implementation of the Numerical-Analytical Method for Computation of Non-Stationary Service System Models [Osobnosti programmnoy realizatsii chislenno-analiticheskogo metoda rascheta modeley nestatsionarnykh sistem obsluzhivaniya], *SPIIRAS Proceedings [Trudy SPIIRAN]*, 2015, Is. 1 (38), Pp. 218–232. DOI: 10.15622/sp.38.12.
4. Shardakov, K. S., Bubnov V. P., Pavlov A. N. Generating of the Coefficient Matrix of the System of Homogeneous Differential Equations, *First Workshop Computer Science and Engineering in the framework of the 5th International Scientific-Methodical Conference «Problems of Mathematical and Natural-Scientific Training in Engineering Education» (CSITinMNSTinEE2018)*, St. Petersburg, Russia, November 08–09, 2018. *CEUR Workshop Proceedings*, 2019, Vol. 2341, Pp. 42–47. DOI: 10.24412/1613-0073-2341-42-47.
5. Bubnov V. P., Safonov V. I., Shardakov K. S. Overview of Existing Models of Non-Stationary Queuing Systems and Methods for Their Calculation [Obzor sushchestvuyushchikh modeley nestatsionarnykh sistem obsluzhivaniya i metodov ikh rascheta], *Systems of Control, Communication and Security [Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti]*, 2020, No. 3, Pp. 65–121. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10303.
6. Sergeev S. A., Bubnov V. P., Bubnov V. V. Software Complex of Analytical and Simulation Models for Calculating the Probabilistic-Time Characteristics of Non-Stationary Service Systems [Programmnyy kompleks analitiko-imitatsionnykh modeley dlya rascheta veroyatnostno-vremennykh kharakteristik nestatsionarnykh sistem obsluzhivaniya]. Certificate of State registration of the computer program RU No. 2015617625, published at August 08, 2015.
7. Smagin V. A., Bubnov V. P., Sultonov Sh. Kh. Mathematical Models for Calculating the Quantitative Characteristics of the Optimal Quantization of Information [Matematicheskie modeli dlya rascheta kolichestvennykh kharakteristik optimal'nogo kvantovaniya informatsii], *Transportation Systems and Technology [Transportnye sistemy i tekhnologii]*, 2021, Vol. 7, No. 1, Pp. 46–58. DOI: 10.17816/transsyst20217146-58.
8. Prourzin O. V., Sultonov Sh. Kh. The Influence of the Non-Exponentiality of the Distribution Laws on the Reliability Indicators of a Two-Channel Cluster Computer System [Vliyaniye neeksponentsial'nosti zakonov raspredeleniy na pokazateli nadezhnosti dvukhkanal'noy klasternoy vychislitel'noy sistemy], *Infocommunication Technologies: Current Issues of the Digital Economy: Collection of Scientific Papers of the I International Scientific and Practical Conference [Infokommunikatsionnye tekhnologii: aktual'nye voprosy tsifrovoy ekonomiki: Sbornik nauchnykh trudov I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*, Yekaterinburg, Russia, February 17–18, 2021. Yekaterinburg, Ural Technical Institute of Communications and Informatics Siberian State University of Telecommunications and Information Science, 2021, Pp. 248–251.
9. Barausov V. A., Bubnov V. P., Sultonov Sh. Kh. Simulation Modeling in Methods and Designs for Detecting Ice or Snow Buildup on Control Surface in MATLAB/SIMULINK Dynamic Modeling Environment, *Proceedings of the Workshop «Models and Methods for Researching Information Systems in Transport 2020» on the basis of the departments «Information and Computer Systems» and «Higher Mathematics» (MMRIST 2020)*, St. Petersburg, Russia, December 11–12, 2020. *CEUR Workshop Proceedings*, 2021, Vol. 2803, Pp. 136–141. DOI: 10.24412/1613-0073-2803-136-141.
10. Barausov V. A., Bubnov V. P., Sultonov Sh. Kh. Control Software for Surface Ice and Snow Detecting Device, *Proceedings of Models and Methods of Information Systems Research Workshop in the frame of the Betancourt International Engineering Forum (MMISR 2019)*, St. Petersburg,

Russia, December 04–05, 2019. *CEUR Workshop Proceedings*, 2020, Vol. 2556, Pp. 75–79.

DOI: 10.24412/1613-0073-2556-75-79.

11. Paramonov I. Yu., Smagin V. A., Kosykh N. E., Khomonenko A. D. Methods and models for the study of complex systems and Big Data processing: Monography [Metody i modeli issledovaniya slozhnykh sistem i obrabotki bol'shikh dannykh: Monografiya]. St. Petersburg, LAN Publishing House, 2020, 236 p.

12. Smagin V. A., Shurygin E. M. Application of the Concentration Function in Fuzzy Sets Theory, *Intellectual Technologies on Transport [Intellektual'nye tekhnologii na transporte]*, 2020, No. 1 (21), Pp. 16–23.

13. Smagin V. A., Bubnov V. P. Mathematical Model of Determinated and Random Processes in the Form of Consistent Hyperfractal Distribution [Matematicheskaya model' determinirovannykh i sluchaynykh protsessov v vide posledovatel'nogo giperfraktal'nogo raspredeleniya], *Automation in Transport [Avtomatika na transporte]*, 2019, Vol. 5, No. 2, Pp. 145–159. DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-2-145-159.

14. Novikov A. N., Smagin V. A., Shiryamov O. A. Algorithm of Determining the Variants of the Structure of the System of Scaling with Targeted Limitations [Algoritm opredeleniya variantov struktury sistemy peredachi edinits velichin s zadannymi ogranicheniyami], *Proceedings of the Mozhaisky Military Space Academy [Trudy Voenno-kosmicheskoy akademii imeni A. F. Mozhayskogo]*, 2018, No. 660, Pp. 89–99.

15. Adadurov S. E., Fomenko Y. S., Khomonenko A. D., Krasnovidov A. V. Integration of the MATLAB System and the Object-Oriented Programming System C# Based on the Microsoft COM Interface for Solving Computational and Graphic Tasks, *Intelligent Algorithms in Software Engineering: Proceedings of the 9th Computer Science On-line Conference (CSOC 2020), Zlin, Czech Republic, July 15, 2020, Volume 1. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 1224. Cham, Springer Nature, 2020, Pp. 581–589. DOI: 10.1007/978-3-030-51965-0_51.

16. Adamov A., Buranbaeva A. I., Gindin S. I., et al. Data Processing in High-Performance Computing Systems, *Big Data and Advanced Analytics: Sourcebook of the VI International Scientific and Practical Conference [Big Data i analiz vysokogo urovnya: Sbornik materialov VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*, Minsk, Republic of Belarus, May 20–21, 2020, Volume 1. Minsk, Bestprint Publishing House, 2020, Pp. 33–52.

Разработка клиент-серверного Java-приложения на платформе Android для контроля пребывания студента в вузе

Н. Д. Дергунов, к.т.н. Г. И. Кожомбердиева, к.т.н. Д. П. Бураков
Петербургский государственный университет путей сообщений Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия
piculiwar@gmail.com, kgi-liizht@yandex.ru, burakovdmitry8@gmail.com

Аннотация. В статье кратко обсуждаются особенности функционирования мобильных приложений на платформе Android и их разработки с использованием языка программирования Java. Описываются особенности виртуальной машины среды выполнения Android, содержимое архива мобильного приложения, жизненный цикл объектов Activity, обеспечивающих выполнение приложения, а также базовые классы Google Android API, предоставляющие методы сетевого взаимодействия и геолокации. В качестве примера приложения, функциональность которого лежит в русле современных тенденций создания программ для мобильных устройств, в статье представлено клиент-серверное Java-приложение для контроля пребывания студента в вузе в учебное время. Отмечается возможность использования мобильных приложений для решения сходных задач на транспорте.

Ключевые слова: Android, Dalvik, Java, мобильное приложение, клиент-серверное приложение, жизненный цикл Activity, геолокация.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие в области программной инженерии наблюдается уверенная тенденция, связанная с переносом программных продуктов на мобильные платформы. Поскольку мобильные устройства широко доступны и имеются практически у каждого, конечный пользователь все больше отдаляется от персональных компьютеров и переходит на сторону мобильных устройств. В результате в настоящее время мобильные приложения активно используются не только для развлечения, но и для решения насущных задач бизнеса: так, например, работа курьеров службы доставки «Яндекс.Еда» полностью обеспечивается использованием соответствующего приложения для смартфонов. К преимуществам смартфонов как средств для исполнения приложений относится не только их компактность, совмещенная с вычислительной мощностью, сопоставимой с мощностью персонального компьютера, но и тот факт, что они всегда находятся там, где находится пользователь приложения. Данное обстоятельство может иметь решающее значение для приложений, логика работы которых ориентирована на использование сведений о местоположении пользователя.

В настоящей статье кратко рассматриваются особенности функционирования и разработки приложений для мобильных устройств, работающих под управлением операционной системы (ОС) Android. Поскольку по состоянию на январь 2021 года более 70 % мобильных устройств работает именно на этой платформе [1], создание приложений для Android является востребованным.

Основой среды выполнения приложений на платформе Android изначально является реализация виртуальной машины Java (Java Virtual Machine, JVM), чем обусловлено использование языка программирования Java при создании программ для Android. Несмотря на продвижение в последнее время компанией Google языка Kotlin, работающего поверх JVM, говорить о вытеснении языка Java из области разработки мобильных приложений было бы преждевременно.

В качестве примера приложения, функциональность которого лежит в русле современных тенденций создания программ для мобильных устройств, в статье представлено клиент-серверное Java-приложение, позволяющее автоматизировать процесс контроля пребывания студента в вузе в учебное время на основе геолокационных данных, предоставляемых мобильным устройством студента.

Статья содержит результаты выпускной квалификационной бакалаврской работы Н. Д. Дергунова. Приложение разработано в среде разработки Android Studio с использованием сервера Apache Tomcat, СУБД PostgreSQL и может рассматриваться как действующий прототип реальной системы.

СРЕДА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ПЛАТФОРМЫ ANDROID

Приложения для платформы Android пишутся с использованием языков программирования Java и Kotlin, причем Kotlin представляет собой, по мнению разработчиков этого языка, усовершенствованный вариант Java. Вследствие этого для исполнения мобильных приложений платформа Android предоставляет среду выполнения Android Runtime (ART) с реализацией виртуальной машины Java. Среда выполнения ART пришла на смену применявшейся ранее специализированной виртуальной Java-машине Dalvik, которая использовала перекомпиляцию байт-кода приложения в машинные команды устройства во время выполнения приложения (JIT-компиляция). В отличие от нее ART перекомпилирует байт-код приложения в машинные команды во время его установки на устройство. Это позволило ускорить запуск и выполнение приложений, переключение между ними и освободить больше оперативной памяти. При этом ART обеспечивает обратную совместимость с Dalvik [2].

Несмотря на то, что Dalvik и ART являются виртуальными машинами Java, они отличаются от стандартной JVM, использующей для выполнения арифметических и логических операций специальный операционный стек.

В ART и Dalvik для этого используются регистры процессора. Размер кода в ART увеличивается, так как операнды должны включаться в состав самой инструкции, но производительность устройства при таком способе кодирования команд повышается, что является существенным плюсом из-за ограниченной вычислительной мощности мобильных устройств [3].

СОСТАВ АРХИВА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ANDROID

Приложения для платформы Android распространяются в виде специальных подписанных архивов Android Package (APK), аналогичных подобным архивам для других систем (APPX для Microsoft Windows, DEB для ОС Linux, основанных на Debian) и JAR-архивов, используемых для распространения Java-приложений. APK-файл формируется автоматически на этапе сборки приложения в Android Studio [4]. Он содержит скомпилированный байт-код классов приложения в формате Dalvik executable (в виде файлов *.dex), а также дополнительные данные — ресурсы приложения и его описание (манифест).

Архив APK включает в себя следующие папки и файлы:

- Папка META-INF, содержащая файлы:
 - MANIFEST.MF — файл описания архива (Java-манифест);
 - <name>.SF — файл подписи со списком хеш-значений соответствующих записей из файла MANIFEST.MF;
 - <name>.DSA (или RSA) — файл блока подписи приложения, включающий сертификат открытого ключа, парный закрытый ключ которого использовался при создании подписи.
- Папка lib, содержащая код библиотек Android, используемых приложением, в зависимом от платформы скомпилированном виде.
- Папка res, содержащая ресурсы приложения, которые не были скомпилированы в файл resources.arsc.
- Папка assets, содержащая активы, которые приложение может получить в процессе своей работы с помощью объекта AssetManager.
- Файл AndroidManifest.xml — дополнительный файл манифеста ОС Android, описывает имя приложения, его версию, права доступа и библиотеки ОС Android, используемые в приложении.
- classes.dex — классы приложения, скомпилированные в формате DEX, используемые ART;
- resources.arsc — файл, содержащий предкомпилированные ресурсы.

ВЫПОЛНЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЙ НА ПЛАТФОРМЕ ANDROID

Для работы мобильного приложения и его взаимодействия с сервисами ОС предоставляются специальные классы Google Android API. Для реализации необходимой функциональности приложение создает объекты требуемых классов. Базовые классы, предоставляемые Google Android API для использования в мобильных приложениях:

- **View** — базовый класс всех компонентов пользовательского интерфейса. Интерфейс Android образуется потоками этого класса.
- **Activity** — базовый класс, содержащий логику взаимодействия с компонентами пользовательского интерфейса некоторого окна приложения (производным классам обычно принято давать название <screen>Activity.java, где

<screen> — название окна или экрана, поведением которого управляет этот класс).

- **ContentProvider** — класс, предназначенный для работы с моделями данных, чаще всего — с СУБД SQLite.
- **Service** — класс, предназначенный для создания сервисов, то есть действий, которые должны выполняться в фоновых потоках приложения.
- **Intent** — класс, используемый для создания объектов сообщений, которые используются для запроса действий от других компонентов приложения. В частности, он может быть использован для запуска Activity и передачи информации службам.
- **BroadcastReceiver** — класс, который получает и управляет объекты Intent [5].

Классы типа Activity — это классы активного окна приложения. Каждый такой класс описывает логику пользовательского интерфейса некоторого окна приложения. Классы Activity приложения создаются как производные от класса Activity, предоставляемого Google Android API. Объекты типа Activity взаимодействуют с пользователем и создают окна, в которых разработчик размещает свой пользовательский интерфейс с помощью метода **setContent()**. Чаще всего объекты Activity представляют собой полноэкранные окна, но их также можно использовать и другими способами: всплывающие окна, многоэкранный режим или встроенное окно [6].

Выполнение приложения начинается с создания и запуска первого объекта Activity, класс которого отмечен специальным образом в файле AndroidManifest.xml. Этот объект Activity последовательно, в соответствии с логикой работы приложения и действиями пользователя, может передавать управление другим объектам Activity, вызывая их путем направления ОС соответствующего уведомления типа Intent. Каждый объект Activity в процессе своего существования обладает собственным *жизненным циклом*. Приложение выполняется, пока не завершены жизненные циклы всех объектов Activity.

Жизненный цикл объекта типа Activity жестко контролируется системой и зависит от доступных ресурсов, нужд пользователя и т. д. При работе с определенным окном система дает приоритет тому приложению, которое с ним ассоциировано. И наоборот, если пользователь не работает с окном приложения в течение определенного периода времени, система приостанавливает владеющее им приложение, чтобы освободить занятые им ресурсы. Так как Android — операционная система, разработанная специально для мобильных устройств, вычислительные и энергетические ресурсы которых ограничены, она жестко контролирует работу приложений [6, 7].

Перечислим методы жизненного цикла Activity как основной функциональной составляющей приложения:

- **onCreate()** — вызывается при создании (запуске) данного объекта Activity. В этом методе создаются статические элементы, загружаются и инициализируются элементы графического интерфейса, связываются данные с элементами управления и т. д. В этом методе разработчику не следует прописывать процесс долгой инициализации — это может привести к ошибке.
- **onStart()** — вызывается системой вслед за **onCreate()**, в этом методе выполняются действия, которые Activity

производит перед показом пользователю экрана, с которым этот объект ассоциирован.

- **onRestart()** — вызывается, если окно получит приоритет после вызова метода **onStop()**. Используется для специальных действий, которые нужно выполнить после повторного запуска Activity.

- **onResume()** — вызывается после **onStart()**. В этот момент пользователь взаимодействует с этим окном и ему передается приоритет. В нем можно запускать анимацию, видео и т. д.

- **onPause()** — вызывается, когда пользователь начинает работу с другим окном. Сохраняет незафиксированные данные, освобождает ресурсы.

- **onStop()** — вызывается при уничтожении окна или при переходе пользователя к другому окну. Остановленные объекты Activity хранятся в памяти и восстанавливаются при запуске. В этом методе выполняют сложные операции по сохранению данных.

- **onDestroy()** — вызывается по окончании работы Activity, при вызове метода **finish()** или в случае, когда система уничтожает данный экземпляр Activity для освобождения ресурсов.

Диаграмма, иллюстрирующая состояния объекта типа Activity в процессе работы мобильного приложения и возможные переходы между ними, приведена на рисунке 1.

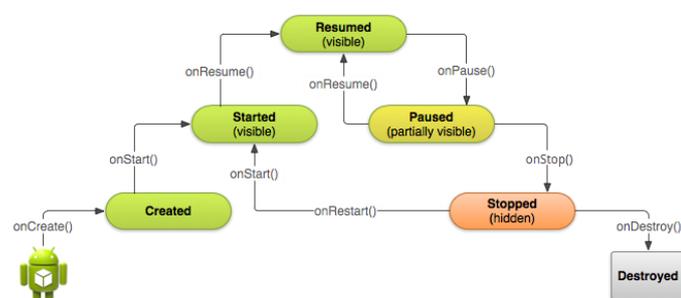


Рис. 1. Диаграмма состояний объекта Activity

РЕСУРСЫ ПРИЛОЖЕНИЯ

Ресурсы приложения — это дополнительные файлы и данные, используемые в приложении, такие как строки, изображения, разметка интерфейса, цвета и т. д. Ресурсы предназначены для увеличения независимости приложения от его окружения. В частности, разработчик может указывать альтернативные наборы ресурсов, используемые приложением при его выполнении, например в средах с различными языками пользовательского интерфейса [8].

Как и файл `AndroidManifest.xml`, ресурсы хранятся в APK приложения в виде файлов, использующих разметку XML [9]. Одним из самых важных видов ресурсов является описание макетов окон, используемых приложением. Макет окна, ассоциированного с некоторым объектом `<screen>Activity`, описывается в файле с именем `activity_<screen>.xml`, где `<screen>` — название этого окна. В файле макета определяются все элементы интерфейса и их свойства. Макет содержит корневой элемент, для которого все остальные элементы интерфейса являются дочерними. Описание каждого элемента интерфейса представляет собой XML-элемент, содержащий данные о его имени, содержимом, родительских элементах, нахождении на экране и т. д.

Описание пользовательского интерфейса в отдельных файлах макетов позволяет отделить его от непосредственно самого кода приложения, что обеспечивает возможность изменения описания пользовательского интерфейса без изменения кода классов Java. В файлах макетов может быть определен вид экрана для разных ориентаций устройства, различных размеров экрана, различных языков и т. д. [10].

APK-файл приложения для ОС Android должен обязательно включать в себя файл `AndroidManifest.xml`, содержащий всю необходимую информацию о приложении, формируемую и используемую инструментами сборки Android, ОС Android и магазином приложений Google Play. В этом файле манифеста обязательно должно быть указано:

- Название пакета приложения. Инструменты сборки Android используют эту информацию для нахождения элементов кода при сборке приложения.

- Компоненты приложения: все файлы Activity, Service, BroadcastReceiver и ContentProvider. Каждый компонент должен быть описан простейшими свойствами, такими как имя класса Java.

- Разрешения, которые требуются приложению для доступа к защищенным частям системы.

- Программные и аппаратные требования приложения [11].

Поскольку мобильные приложения, работающие в среде Android, выполняются на личном устройстве пользователя, для использования системных функций, предоставляющих доступ к личной информации пользователя (например, доступ к записной книжке или SMS) или к устройствам смартфона (например, доступ к камере или доступ в Интернет), приложение должно, с одной стороны, явно задекларировать разрешения, которые ему необходимо получить для своей работы, а с другой стороны, явно получить эти разрешения. Каждое требуемое приложению разрешение также указывается специальной записью в файле манифеста ОС Android. Существует несколько видов прав доступа:

- *Install-Time Permissions* — определяют доступ приложения во время установки. Такие разрешения обычно затрагивают функции, минимально влияющие на пользователя.

- *Normal Permissions* — позволяют получить доступ к данным и действиям, выходящим за пределы изолированной программной среды приложения. Однако эти данные и действия представляют очень небольшой риск для конфиденциальности пользователя и работы других приложений.

- *Runtime Permissions* — предоставляют приложению дополнительный доступ к ограниченным данным и позволяют приложению выполнять ограниченные действия, которые более существенно влияют на систему и другие приложения. Эти разрешения приложение должно запросить во время выполнения, прежде чем оно сможет получить доступ к ограниченным данным или выполнить ограниченные действия. Когда приложение запрашивает такое разрешение во время выполнения, система выдает запрос разрешения в виде всплывающего окна.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С СЕТЬЮ

Любое взаимодействие с сетью Интернет в современной версии Android (начиная с 3.0) должно происходить вне основного потока, обслуживающего взаимодействие

пользователя с интерфейсом приложения. Одним из способов выполнения асинхронных операций является использование объектов класса `AsyncTask`.

Этот класс предназначен для выполнения задач в фоновом режиме. Когда операции завершатся, он также позволяет обновлять представления в основном потоке событий. Если задача представляет собой серию повторяющихся операций, объект этого класса также может использоваться для публикации информации о прогрессе задачи во время ее выполнения [12].

Для создания собственной асинхронной операции разработчик должен создать производный класс и соответствующим образом переопределить его методы.

`AsyncTask` определяется тремя обобщенными параметрами: `Params` — тип объекта, используемого для передачи произвольных параметров задачи методу `doInBackground()`, `Progress` — тип объекта, используемый для передачи информации о прогрессе задачи, и `Results` — тип результата задачи. Если некоторый из этих параметров не используется, вместо него можно указать экземпляр класса `Void` [12]. Класс `AsyncTask` содержит следующие методы:

- **`onPreExecute()`** — вызывается до начала фоновой операции и используется для ее подготовки.

- **`doInBackground()`** — запускается в фоновом режиме сразу после завершения метода **`onPreExecute()`**. Разработчик определяет тип параметров, которые должны передаваться задаче и тип возвращаемого значения. В этом методе выполняются долгие и сложные операции, которые не могут выполняться в главном потоке приложения.

- **`onProgressUpdate()`** — вызывается в главном потоке и служит для оповещения о процессе выполнения фоновой задачи.

- **`onPostExecute()`** — вызывается по завершению фоновой задачи. Получает результат выполнения из метода **`doInBackground()`** и может взаимодействовать с главным потоком.

Используя объекты типа `AsyncTask`, разработчик может организовать клиент-серверное сетевое взаимодействие с использованием как стандартных средств Java, таких как `URLConnection`, так и средств, предоставляемых сторонними библиотеками, например `OkHttp`.

ПОЛУЧЕНИЕ ДАННЫХ О МЕСТОПОЛОЖЕНИИ УСТРОЙСТВА

Для получения данных о местоположении устройства Google предоставляет специальный API — `Fused Location Provider API`. Это геолокационный программный интерфейс, использующий сигналы разных датчиков, таких как GPS и Wi-Fi, для определения местоположения устройства. `Fused Location Provider` берет на себя ответственность за низкоуровневые технологии определения геолокации и предоставляет простые средства взаимодействия с ними [13].

Главная точка, через которую программа может взаимодействовать с `Fused Location Provider API` — это класс `FusedLocationProviderClient` [14]. Для получения и обновления данных местоположения `FusedLocationProviderClient` использует асинхронные операции `Task` [15]. Это класс, объект которого выполняет некоторую операцию. К объекту этого класса можно добавить различные приемники событий, такие как `OnSuccessListener` (если заданная операция

успешно выполнялась) и `OnFailureListener` (если заданная операция не была выполнена).

Основные методы взаимодействия с геолокационными данными, представленные в классе `FusedLocationProviderClient`:

- **`getLastLocation()`** — возвращает лучшее и самое последнее местоположение устройства.

- **`requestLocationUpdates()`** — запрашивает обновления геолокации.

- **`removeLocationUpdates()`** — останавливает обновления геолокации.

Инициализация экземпляра этого класса производится путем получения результата работы метода `getFusedLocationProviderClient()` класса `LocationServices`, который является частью Google Mobile Services. Для добавления в приложение функциональности получения геолокации разработчик должен реализовать обработку процесса и результата выполнений операций типа `Task`, созданных выполнением методов класса `FusedLocationProviderClient`.

КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРЕБЫВАНИЯ СТУДЕНТА В ВУЗЕ В УЧЕБНОЕ ВРЕМЯ

В качестве примера использования рассмотренных выше средств, предоставляемых платформой Android для разработки мобильных приложений, рассмотрим приложение, осуществляющее контроль пребывания студентов в вузе в учебное время. Принцип работы этого приложения заключается в следующем.

На основании сведений о времени и месте проведения занятий, извлекаемых из учебного расписания группы, устанавливается, в каком месте должен находиться студент в определенное время. С учетом того, что геолокация не может достоверно гарантировать безошибочное определение местоположения устройства, считается, что студент находится в месте проведения учебного занятия, если в момент начала занятия географические координаты его устройства попадают внутрь прямоугольника, включающего в себя учебный корпус, в котором по расписанию проводится занятие.

Очевидно, что поскольку местоположение студента требуется определять в течение учебного дня периодически, то необходимо использовать устройство, постоянно находящееся при студенте и имеющее возможность определять его местоположение. Поэтому клиентская часть приложения размещается в мобильном устройстве (смартфоне) студента в виде программы, работающей в фоновом режиме. Учитывая большое количество потенциальных пользователей-студентов и однородность операций, которые должны производиться над данными, отправляемыми клиентской частью приложения, функционирующей на мобильных устройствах студентов, для разрабатываемого приложения целесообразно использовать клиент-серверную архитектуру.

В силу специфики решаемой задачи серверная часть приложения должна предоставлять клиентской части доступ к сведениям о расписании занятий и к списочному составу групп студентов для сохранения сведений об их нахождении в вузе в учебное время. Поскольку эти данные должны храниться и обновляться централизованно, серверная часть включает в себя соответствующую базу данных.

Для организации обмена данными между клиентской и серверной частями приложения в настоящее время наиболее часто используется протокол HTTP. Вследствие этого серверная часть работает на базе веб-сервера. Одной из стандартных технологий обработки HTTP-запросов является технология Jakarta Servlet. Ее выбор обосновывается тем, что эта технология также использует язык Java, который использован и для разработки клиентской части.

Таким образом, структура приложения имеет вид, представленный на рисунке 2.

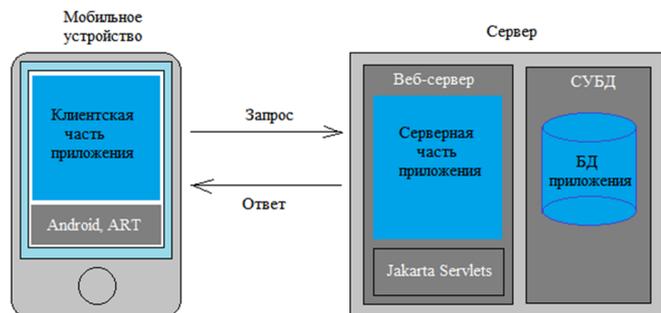


Рис. 2. Структура клиент-серверного приложения

При первом запуске на мобильном устройстве студента клиентская часть приложения запрашивает аутентификационные данные студента и отправляет их на проверку серверу с целью санкционированного получения от сервера расписания занятий и формирования графика проверок нахождения студента в вузе в соответствии с его расписанием.

После получения нужной информации от сервера клиентская часть приложения устанавливает график проверок нахождения студента в вузе в учебное время, ориентируясь при этом на расписание и время начала занятий, чтобы предотвратить проверки в иное время.

По наступлении времени начала очередного занятия клиентская часть приложения отправляет серверной части запрос на получение геолокационного прямоугольника, содержащего учебный корпус, в котором по расписанию должен находиться студент, и, получив его, проверяет, находится ли мобильное устройство студента в границах этого прямоугольника, используя геолокационные данные устройства. При этом обеспечивается приватность данных о реальном месте, в котором находится студент. В случае пребывания студента вне ожидаемого места его нахождения, его реальное местоположение не раскрывается и не фиксируется ни клиентской, ни серверной частью приложения. Результат выполненной проверки отправляется на сервер.

Кроме того, клиентская часть приложения позволяет студенту отказаться от участия в периодических проверках его нахождения в вузе. В этом случае серверной части будет отправляться сообщение о том, что местоположение студента неизвестно.

Серверная часть приложения получает запросы от клиентской части и обрабатывает их в зависимости от типа запроса:

- **Аутентификация** — проверка логина и хеша пароля, введенных студентом, на основании сведений об учетной

записи, хранящейся в базе данных, и отправка результата этой проверки клиентской части.

- **Расписание** — получение расписания из базы данных на текущий день и отправка его клиенту.

- **Время начала пар** — получение времени начала пар из базы данных и отправка клиенту этой информации.

- **Геолокационный прямоугольник** — определение корпуса вуза, в котором должен находиться студент в момент проверки по графику и отправка географических координат описывающего его прямоугольника клиентской части.

- **Запись сведений о нахождении** — получение от клиентской части сведений о нахождении студента в геолокационном прямоугольнике корпуса в момент проверки (присутствие/отсутствие/неизвестно) и запись этого результата в базу данных.

Сведения, хранящиеся в базе данных:

- **Расписание занятий.**
- **Геолокационные прямоугольники**, содержащие корпус университета.
- **Список групп студентов** и учетные записи студентов с логином и хешем их пароля.
- **Время начала учебных пар** по расписанию.
- **Таблица записей о нахождении студента** в вузе в учебное время.

В качестве логина и пароля студента приложение использует, например, логин и пароль, выданные студенту для доступа в систему дистанционного образования СДО ПГУПС, поскольку они уникальны для каждого из студентов ПГУПС.

Таким образом, разработанное приложение, с одной стороны, позволяет снизить нагрузку на преподавателей и старост групп, связанную с обязательным контролем посещения студентами занятий, а с другой — позволяет студенту самостоятельно отслеживать свое текущее расписание и просматривать свою индивидуальную статистику посещения занятий.

Поскольку серверная часть приложения реализована на базе стандартного веб-сервера, она может быть дополнена соответствующим веб-приложением, которое позволит преподавателям просматривать и при необходимости корректировать сведения о реальной посещаемости занятий студентами с целью ее правильного учета и использования при проведении промежуточных аттестаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены особенности функционирования мобильных приложений для платформы Android, а также их разработки с использованием языка программирования Java. Кратко описаны особенности виртуальной машины среды выполнения Android, содержимое архива мобильного приложения, жизненный цикл объектов Activity, обеспечивающих выполнение приложения, и базовые классы Google Android API, предоставляющие методы сетевого взаимодействия и геолокации. Приведен пример разработанного клиент-серверного мобильного приложения, предназначенного для контроля пребывания студента в вузе в учебное время.

Приложение разработано и отлажено при подготовке выпускной квалификационной бакалаврской работы

Н. Д. Дергунова в среде разработки Android Studio с использованием сервера Apache Tomcat, СУБД PostgreSQL и может рассматриваться как действующий прототип реальной системы.

Промежуточные результаты работы прошли апробацию на кафедральном заседании LXXXI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Транспорт: проблемы, идеи, перспективы», состоявшейся в ПГУПС в рамках фестиваля «Неделя науки — 2021». Материалы доклада Н. Д. Дергунова, подготовленного под руководством его соавторов, рекомендованы к публикации кафедрой «Информационные и вычислительные системы».

Полученные в процессе выполнения исследовательской работы результаты можно использовать при разработке приложений для платформы Android с использованием языка программирования Java, в том числе мобильных приложений, которые могут найти применение на транспорте. Так, по мнению авторов, на железных дорогах возможно использование мобильных приложений, например, для экспедиционного обслуживания грузов, а также для контроля работы путевых обходчиков или мобильных бригад электромехаников, обслуживающих устройства СЦБ на перегонах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Статистика Android vs iOS в 2021 году. Разбираем актуальные цифры и факты // Где Трафик? — 2021. — 03 июня. URL: http://gdetraffic.com/Analitika/Android_vs_iOS (дата обращения 04.06.2021).
2. Frumusanu, A. A Closer Look at Android RunTime (ART) in Android L // AnandTech. — 2014. — 01 July. URL: <http://www.anandtech.com/show/8231/a-closer-look-at-android-runtime-art-in-android-l> (дата обращения 29.05.2021).
3. What Is the Difference Between DVM and JVM? // Baeldung. — Last updated 17 January 2021. URL: <http://www.baeldung.com/java-jvm-vs-dvm> (дата обращения 29.05.2021).
4. Meet Android Studio // Android Developers. — Last updated 17 May 2021. URL: <http://developer.android.com/studio/intro> (дата обращения 29.05.2021).
5. Application Fundamentals // Android Developers. — Last updated 23 February 2021. URL: <http://developer.android.com/guide/components/fundamentals> (дата обращения 29.05.2021).
6. Activity // Android Developers. — Last updated 14 May 2021. URL: <http://developer.android.com/reference/android/app/Activity> (дата обращения 29.05.2021).
7. Филипс, Б. Android. Программирование для профессионалов. Третье издание = Android Programming: The Big Nerd Ranch Guide. Third Edition / Б. Филипс, К. Стюарт, К. Марсикано; пер. с англ. Е. Матвеева. — Санкт-Петербург: Питер, 2017. — 688 с. — (Для профессионалов).
8. App resources overview // Android Developers. — Last updated 14 May 2021. URL: <http://developer.android.com/guide/topics/resources/providing-resources> (дата обращения 29.05.2021).
9. Friesen, J. Java XML and JSON: Document Processing for Java SE. Second Edition. — Berkeley (CA): Apress, 2019. — 546 p. DOI: 10.1007/978-1-4842-4330-5.
10. Бурнет, Э. Привет, Android! Разработка мобильных приложений / пер. с англ. А. Заики, А. Севостьяновой. — Санкт-Петербург: Питер, 2012. — 256 с.
11. App Manifest Overview // Android Developers. — Last updated 15 May 2021. URL: <http://developer.android.com/guide/topics/manifest/manifest-intro> (дата обращения 29.05.2021).
12. Гриффитс, Дэвид Head First. Программирование для Android. Второе издание / Дэвид Гриффитс, Дон Гриффитс; перевод с английского Е. Матвеева. — Санкт-Петербург: Питер, 2018. — 912 с. — (Head First O'Reilly).
13. Fused Location Provider API // Google Developers. URL: <http://developers.google.com/location-context/fused-location-provider> (дата обращения 29.05.2021).
14. FusedLocationProviderClient // Google Developers. — Last updated 18 February 2021. URL: <http://developers.google.com/android/reference/com/google/android/gms/location/FusedLocationProviderClient> (дата обращения 29.05.2021).
15. Task // Android Developers. — Last updated 03 March 2021. URL: <http://developer.android.com/reference/com/google/android/play/core/tasks/Task> (дата обращения 29.05.2021).

Development of a Client-Server Java Application on the Android Platform for Monitoring the Student's Stay at the University

N. D. Dergunov, PhD G. I. Kozhumberdieva, PhD D. P. Burakov
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
Saint Petersburg, Russia
piculiwar@gmail.com, kgi-liizht@yandex.ru, burakovdmitry8@gmail.com

Abstract. The paper briefly discusses the features of the functioning of mobile applications on the Android platform and their development features using the Java programming language. It describes the features of the Android runtime virtual machine, the contents of the mobile application archive, the lifecycle of Activity objects that ensure application execution, as well as the base classes of the Google Android API that provide methods of network interaction and geolocation. As an example of an application whose functionality is in line with modern trends in development programs for mobile devices, the paper presents a client-server Java application for monitoring a student's stay at a university in study time. The possibility of using mobile applications for solving similar problems in the field of transport is noted.

Keywords: Android, Dalvik, Java, mobile application, client-server application, Activity lifecycle, geolocation.

REFERENCES

1. Android vs iOS statistics in 2021. Analyzing the actual figures and facts [Statistika Android vs iOS v 2021 godu. Razbiraem aktual'nye tsifry i fakty], *Gdetraffic [Gde Trafik?]*. Published online at 03 June 2021. Available at: http://gdetraffic.com/Analitika/Android_vs_iOS (accessed 04 June 2021).
2. Frumusanu A. A Closer Look at Android RunTime (ART) in Android L, *AnandTech*. Published online at 01 July 2014. Available at: <http://www.anandtech.com/show/8231/a-closer-look-at-android-runtime-art-in-android-l> (accessed 29 May 2021).
3. What Is the Difference Between DVM and JVM? *Baeldung*. Last updated 17 Jan 2021. Available at: <http://www.baeldung.com/java-jvm-vs-dvm> (accessed 29 May 2021).
4. Meet Android Studio, *Android Developers*. Last updated 17 May 2021. Available at: <http://developer.android.com/studio/intro> (accessed 29 May 2021).
5. Application Fundamentals, *Android Developers*. Last updated 23 Feb 2021. Available at: <http://developer.android.com/guide/components/fundamentals> (accessed 29 May 2021).
6. Activity, *Android Developers*. Last updated 14 May 2021. Available at: <http://developer.android.com/reference/android/app/Activity> (accessed 29 May 2021).
7. Phillips B., Stewart C., Marsicano K. *Android Programming: The Big Nerd Ranch Guide*. Third Edition [Android. Programirovanie dlya professionalov. Tret'ye izdanie]. St. Petersburg, Piter Publishing House, 2017, 688 p.
8. App resources overview, *Android Developers*. Last updated 14 May 2021. Available at: <http://developer.android.com/guide/topics/resources/providing-resources> (accessed 29 May 2021).
9. Friesen J. *Java XML and JSON: Document Processing for Java SE*. Second Edition. Berkeley (CA), Apress, 2019, 546 p. DOI: 10.1007/978-1-4842-4330-5.
10. Burnette E. *Hello, Android! Development of mobile applications [Privet, Android! Razrabotka mobil'nykh prilozheniy]*. St. Petersburg, Piter Publishing House, 2012, 256 p.
11. App Manifest Overview, *Android Developers*. Last updated 15 May 2021. Available at: <http://developer.android.com/guide/topics/manifest/manifest-intro> (accessed 29 May 2021).
12. Griffiths David, Griffiths Dawn, *Head First Android Development*. Second Edition [Head First. Programirovanie dlya Android. Vtoroe izdanie]. St. Petersburg, Piter Publishing House, 2018, 912 p.
13. Fused Location Provider API, *Google Developers*. Available at: <http://developers.google.com/location-context/fused-location-provider> (accessed 29 May 2021).
14. FusedLocationProviderClient, *Google Developers*. Last updated 18 Feb 2021. Available at: <http://developers.google.com/android/reference/com/google/android/gms/location/FusedLocationProviderClient> (accessed 29 May 2021).
15. Task, *Android Developers*. Last updated 03 Mar 2021. Available at: <http://developer.android.com/reference/com/google/android/play/core/tasks/Task> (accessed 29 May 2021).

Система анализа и визуализации параметров окружающей среды с возможностью геопривязки

И. Д. Пасс

Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения
Санкт-Петербург, Россия
pass-ilya@yandex.ru

к.и.н. А. В. Забродин

Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия
zabrodin@gups.ru

Аннотация. Описан усовершенствованный программно-аппаратный комплекс автоматизированной информационно-измерительной и управляющей системы мониторинга параметров окружающей среды, включающий в себя автоматизированную систему сбора, анализа и отображения информации с возможностью геопривязки совместно с комплексом аппаратуры для измерения соответствующих параметров. Программно-аппаратный комплекс мониторинга разработан на базе радиационного портального монитора семейства КСАРИУ.041. Входящие в состав комплекса компьютер и устройства связи расширяют функциональные возможности станции, реализуют передачу регистрируемых данных на сервер или отдельным пользователям.

Ключевые слова: система мониторинга, экологический мониторинг, автоматизированная информационная система мониторинга, геопривязка, карта, безопасность, приборы, окружающая среда.

ВВЕДЕНИЕ

Среди множества задач, возложенных на систему мониторинга чрезвычайных ситуаций и определенных в «Основах государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» [1], прежде всего следует выделить сбор, анализ и представление в соответствующие органы информации о потенциальных источниках чрезвычайных ситуаций и причинах их возникновения и прогнозирование чрезвычайных ситуаций и их масштабов. При этом государственный стандарт предусматривает групповое разделение тем, имеющих отношение к понятию «безопасность». Одной из десяти таких групп является группа № 1 «Мониторинг и прогнозирование», которая включает в себя целый ряд стандартов [2–4].

Деятельность по мониторингу и прогнозированию чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера ввиду их большого разнообразия весьма многоплановая. Она осуществляется многими организациями (учреждениями), при этом используются различные методы и средства.

Существует достаточно обширное количество работ, рассматривающих принципы построения, алгоритмы формирования и структуру информационно-измерительной и управляющей системы мониторинга параметров окружающей среды [5].

Как правило, структура автоматизированной информационной системы (АИС) мониторинга состоит из четырех

взаимосвязанных основных блоков (рис. 1), каждый из которых направлен на решение определенной группы задач [6].

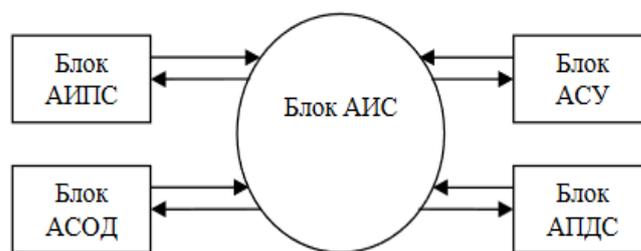


Рис. 1. Структура АИС мониторинга

Первый блок АИС составляет автоматизированная информационно-поисковая система (АИПС). Эта система представляет собой базу данных, реализованную с помощью ЭВМ. Первичная информация от разного рода приемно-регистрирующих устройств (ПРУ) (датчики разной конструкции и функционального назначения) поступает в АИПС по различным информационным каналам связи.

Вторым блоком АИС является автоматизированная система обработки данных (АСОД). Эта система проводит целенаправленную обработку и оценку поступающей информации по мониторингу техногенной обстановки.

Третий блок АИС представляет собой автоматизированную прогнозно-диагностическую систему (АПДС). С помощью этого блока решаются все вопросы по составлению перманентных (то есть непрерывно продолжающихся, повторяющихся) прогнозов в соответствии с функциональной схемой мониторинга. Этот блок реализуется с помощью геоинформационных технологий (ГИС-технологий).

Четвертый блок составляет автоматизированная система управления (АСУ), направленная на решение задач по управлению и разработке рекомендаций. Он также практически реализуется с помощью ГИС-технологий. Все четыре блока АИС связаны друг с другом и образуют единую функционирующую систему.

Целью данного проекта является разработка программно-аппаратного комплекса, позволяющего проводить экспресс-анализ различных параметров окружающей среды в рамках системы экологического мониторинга.

НАЗНАЧЕНИЕ СИСТЕМЫ

Предлагаемая к рассмотрению система предназначена для сбора и последующей обработки различных величин, связанных с факторами техногенного влияния на окружающую среду, с их привязкой и отображением в геоинформационной системе с целью оценки и формирования прогнозов экологической обстановки на территории народно-хозяйственных промышленных объектов и территорий различного назначения.

В основу концепции разработанного комплекса положен интегрированный подход [7], что означает создание систем, выполняющих весь комплекс необходимых операций, включая:

- первичные измерения;
- сбор, передачу, накопление и обработку измерительных данных;
- анализ экологической ситуации;
- поддержку принятия решений по управлению экологической обстановкой;
- распределение результатов мониторинга между заинтересованными потребителями.

Благодаря анализу и систематизации полученных измерений в программном комплексе, оператору становится доступна информация о показателях, превышающих допустимую норму с их визуальным отображением на карте. Что, в свою очередь, позволяет более детально проинформировать уполномоченные органы для принятия своевременных решений и мер с целью устранения вредоносного фактора и восстановления штатного режима функционирования объектов в границах оцениваемой территории, если позволяют обстоятельства.

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

Исходя из общей структуры АИС, приведенной на рисунке 1, предлагаемая к рассмотрению система включает в себя автоматизированную систему сбора, обработки и отображения информации совместно с комплексом аппаратуры для измерения параметров окружающей среды. Программно-аппаратный комплекс, который может устанавливаться на автоматизированное рабочее место оператора, включает: программу настройки, серверную часть, программу сбора на локальном посту.

Структурная схема комплекса представлена на рисунке 2, где под автоматизированным рабочим местом рассматривается любой персональный компьютер, на который можно установить рассматриваемый программный комплекс, а пользователем является уполномоченное лицо, имеющее необходимую квалификацию для анализа информации, приходящей от измеряющего устройства и поступающей на средства отображения.

ПРИЕМНО-РЕГИСТРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

В качестве измеряющего устройства может быть использовано любое устройство, поддерживающее протоколы обмена с системой СС ТМК (система сбора результатов технического мониторинга и контроля объектов транспортной инфраструктуры) и доработанное в соответствии с требованиями:

- спутниковый приемник (также GNSS-приемник) — радиоприемное устройство для определения географических координат текущего местоположения антенны приемника на основе данных о временных задержках прихода



Рис. 2. Структура системы

радиосигналов, излучаемых спутниками навигационных систем. В зависимости от используемой системы навигации разделяются на GPS-приемники, ГЛОНАСС-приемники и др., однако в настоящее время большинство потребительских и профессиональных спутниковых приемников позволяют работать с несколькими спутниковыми системами навигации.

- устройство для хранения информации (например, флеш-память или другого исполнения) в случае отсутствия канала для передачи информации при работе в режиме реального времени.

В качестве приемно-регистрирующего устройства (ПРУ) в предлагаемой системе был использован монитор «ФАНТОМ», разработанный в АО «НТЦ «ЯФИ» [8]. Он сочетает в себе необходимые возможности. Монитор предназначен для обследования людей, автотранспортных и железнодорожных средств, движимых и недвижимых объектов с целью поиска и идентификации ядерных материалов и радиоактивных веществ, а также контроля радиоактивного загрязнения окружающей среды (местность, помещение) с привязкой к географической координате местности. Рассматриваемый измеритель проводит оценку мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) [9] гамма-излучения и нейтронов спектра деления, а также

производит измерение гамма-спектров, обеспечивая хранение спектров в энергонезависимой памяти.

СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

Программный комплекс представляет собой программное обеспечение, которое обеспечивает получение данных от измеряющего устройства, их обработки и отображения в удобном для конечного пользователя виде.

Программный комплекс включает в себя следующие модули: модуль картографирования, модуль отображения измерений, модуль передачи данных, графический интерфейс. Общий вид программного комплекса представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Структура программного комплекса

Модуль картографирования предоставляет доступ к картографическому сервису через сеть Internet, например к Open Street Map. С помощью этого модуля программный комплекс принимает файлы от картографического сервиса и кеширует их на АРМе. Полученные файлы можно использовать при последующих запусках программного комплекса для экономии трафика, потребляемого системой. Также в модуле предусмотрен программный таймер для периодического обновления файлов, поскольку под влиянием определенных факторов характер местности может значительно измениться, а подобные изменения обязательно необходимо учитывать. Еще одной функцией модуля является обработка действий с картой, таких как масштабирование на экране компьютера, перемещение в разные стороны, выделение объектов и т. д.

Модуль передачи данных предназначен для подключения измеряющего устройства к АРМу с целью передачи файлов измерений через проводную связь по определенному заранее разработанному протоколу передачи данных.

Вместе с тем предусмотрен и другой способ доставки файлов на АРМ для случая отсутствия канала связи во время проведения измерений — слот SD-карты, на которую будут записываться файлы, а в дальнейшем, при необходимости, переноситься на АРМ. После получения данных об измерениях модуль производит парсинг входящих данных и передает их модулю отображения измерений для дальнейших манипуляций.

Модуль отображения измерений решает задачу анализа геопространственных данных: отображение полученных измерений в графическом интерфейсе и на карте, полученную от картографического сервиса или извлеченную из кэша АРМа. При помощи этого модуля можно выделить конкретное измерение на карте и получить подробные сведения о нем. Также в модуле предусмотрена возможность выделения зоны, с целью более подробного изучения показателей на интересующей области карты.

Для управления многоуровневой структурой информационной системы комплекса авторами разработан пользовательский интерфейс, условно включающий в себя три уровня (режима) отображения данных. Интерфейс имеет следующие окна отображения: окно просмотра статуса прибора (рис. 4), окно просмотра гистограмм и графиков (рис. 5), окно просмотра измерений на карте (рис. 6).

В зависимости от выбора окна интерфейса отображаются:

- карта с нанесенными результатами измерений,
- состояние подключенного прибора,
- графики для полученных измерений.

На главной форме в соответствующих пунктах меню можно выбрать пути сохранения файлов, просмотреть информацию о программе (версию, дату выпуска, авторов) и настроить параметры персонализации.

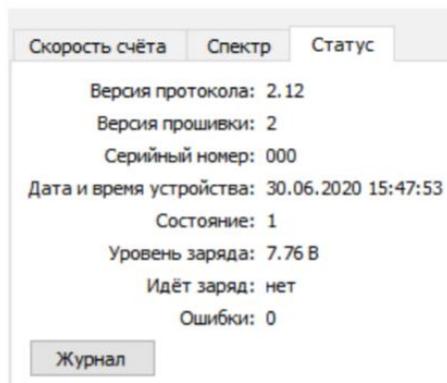


Рис. 4. Окно статуса прибора

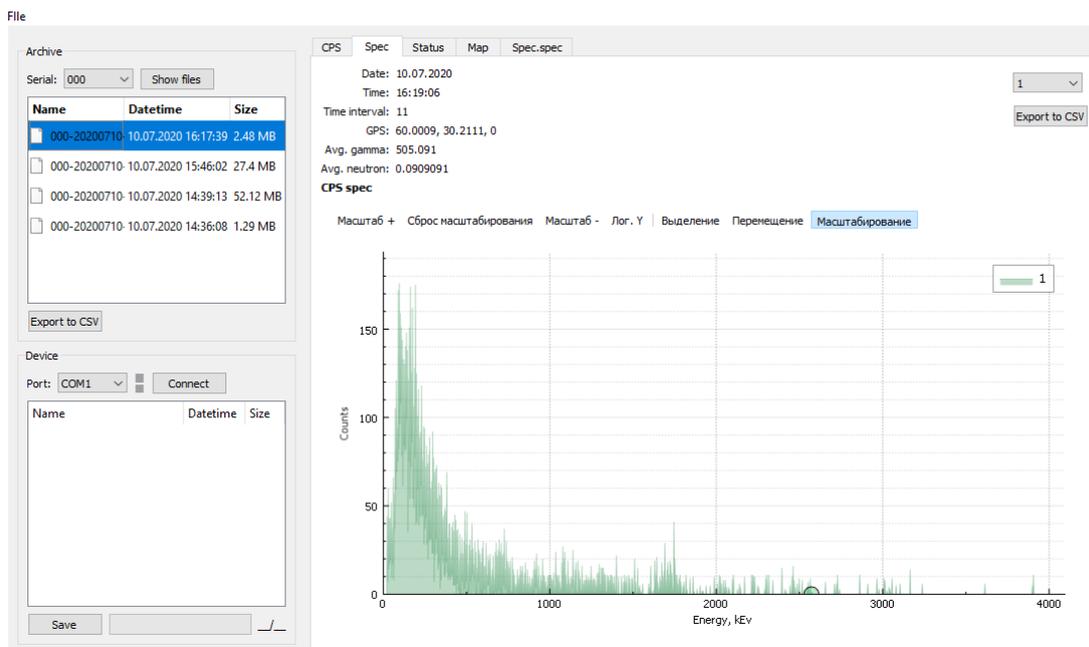


Рис. 5. Окно в режиме просмотра гистограмм и графиков

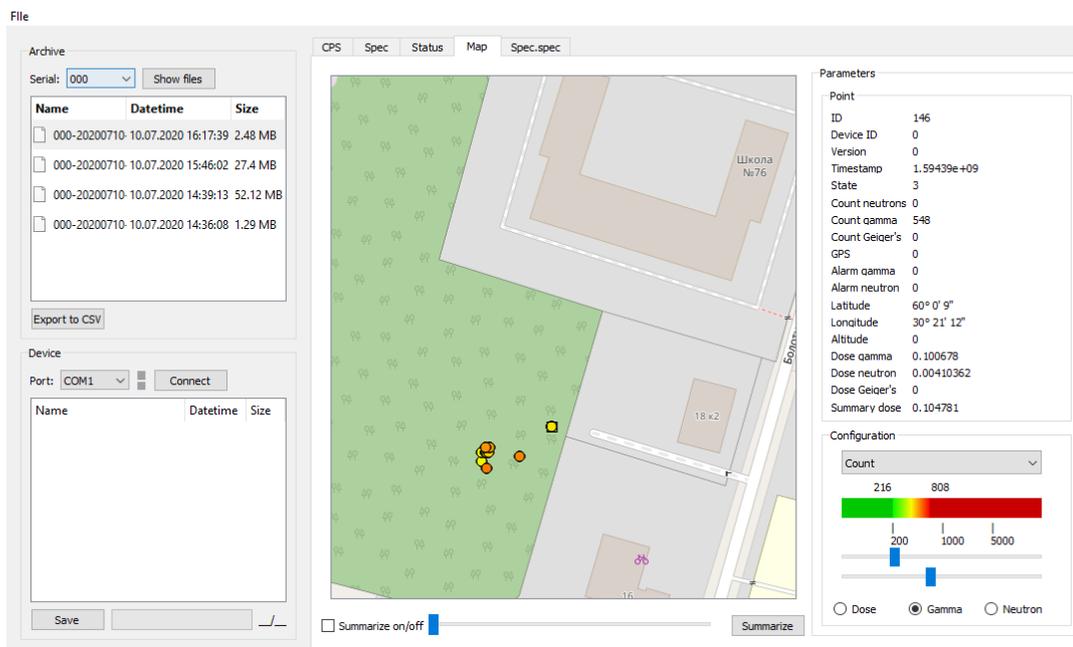


Рис. 6. Окно в режиме просмотра измерений на карте

Программный комплекс был реализован с использованием среды разработки Qt Creator [10]. Помимо того, что Qt поддерживает ряд объектно-ориентированных языков программирования, используемый фреймворк позволил реализовать ряд возможностей.

Во-первых, совместимость. Одним из важных аспектов Qt Creator является его кроссплатформенная совместимость.

Во-вторых, масштабирование. Qt обеспечивает эффективную оптимизацию производительности аппаратных ресурсов с помощью C++, позволяет увеличивать масштаб до уровня с несколькими экранами или уменьшать его, чтобы сосредоточиться на небольших устройствах.

В-третьих, легкость. Qt является гибким и простым в использовании, а его инструменты и функции доступны для упрощения процесса разработки.

Общую структуру программного комплекса можно представить в виде базовых классов, показанных на рисунке 7. На диаграмме представлены основные классы, на базе которых была спроектирована система. Все приведенные классы являются неотъемлемой частью системы. Отношения классов также показаны на диаграмме.

Класс *Main_Window* отвечает за интерфейс и его взаимодействие со всеми остальными классами. Он выполняет функцию медиатора, то есть отвечает за отправку «указаний» всем классам системы для корректных взаимодействий.

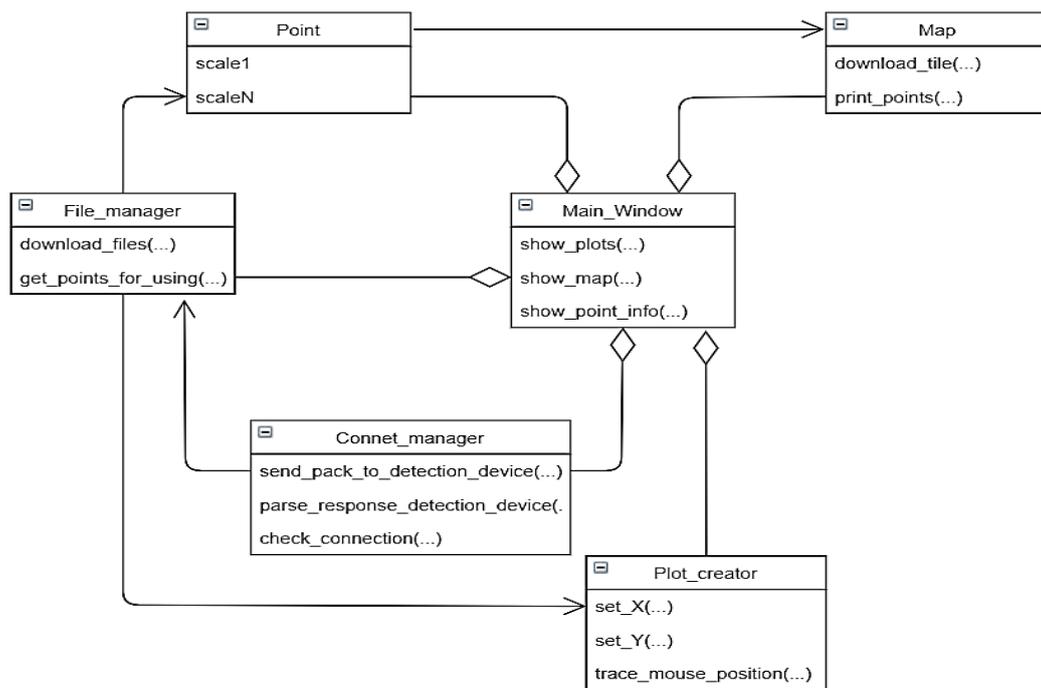


Рис. 7. Диаграмма классов программного комплекса

Класс *Plot_creator* предназначен для работы с графиками измерений.

Класс *Connet_manager* предназначен для подключения «Фантома» к ПК с целью загрузки файлов измерений через проводную связь по разработанному протоколу передачи данных.

Класс *File_manager* используется для работы с файлами измерений: после получения данных об измерениях класс производит парсинг данных и передает их классу *Main_Window* для дальнейшей обработки.

Класс *Map* отвечает за работу с полотном карты, событиями взаимодействия с картой (нажатие, перетаскивание, масштабирование), отображает измерения на карте. При помощи этого класса можно выделить конкретное измерение. Также в модуле предусмотрена возможность выделения области на карте с целью более подробного изучения показателей в интересующей зоне.

Класс *Point* содержит параметры конкретного измерения и предназначен в первую очередь для представления и передачи параметров измерения, которые будут отображаться на главном интерфейсе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наблюдение за техногенной обстановкой является острой потребностью для обеспечения экологической безопасности. В связи с этим повсеместное внедрение подобного рода систем приведет к повышению качества формирования представления о техногенной обстановке, что положительно скажется на всех аспектах развития тех или иных территорий, а в случае выявления отклонений показателей от нормы позволит принять своевременные меры по предотвращению происшествий и устранению вредоносного (или потенциально вредоносного) воздействия.

В настоящей статье описан усовершенствованный программно-аппаратный комплекс автоматизированной ин-

формационно-измерительной и управляющей системы мониторинга параметров окружающей среды, включающий в себя автоматизированную систему сбора, анализа и отображения информации с возможностью геопривязки совместно с комплексом аппаратуры для измерения соответствующих параметров, представлена его структура и схема функционирования. Представленный комплекс позволяет повысить эффективность анализа полученных измерений путем использования цифровых интерфейсов передачи данных, а также современных достижений в области геоинформационных систем.

На разработанный программный комплекс получено Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021616827 от 27.04.2021.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года: утверждены Президентом Российской Федерации 30 апреля 2012 года.
2. ГОСТ Р 22.1.01-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Основные положения = Safety in emergencies. Monitoring and forecasting. Basic principles: национальный стандарт Российской Федерации: принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 02 ноября 1995 года № 560: дата введения 1997-01-01. — Москва: ИПК Издательство стандартов, 1996. — 10 с.
3. ГОСТ Р 22.1.02-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Термины и определения = Safety in emergencies. Monitoring and forecasting. Terms and definitions: национальный стандарт Российской Федерации: принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 21 декабря 1995 года № 625: дата введения 1997-01-01. — Москва: ИПК Издательство стандартов, 1996. — 10 с.

4. ГОСТ Р 22.1.12-2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования = Safety in emergencies. Structured system for monitoring and control of building / construction engineering equipment. General requirements: национальный стандарт Российской Федерации: принят и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 марта 2005 года № 65-ст: дата введения 2005-09-15 (с изм. № 1: утверждено и введено в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 01 июня 2011 года № 110-ст: дата введения 2011-07-01). — Москва: Стандартинформ, 2005. — 14 с. (изм. № 1: ИУС № 9, 2011. — 9 с.)

5. Носкова, А. И. Обзор автоматизированных систем мониторинга / А. И. Носкова, М. В. Токранова // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2017. № 1 (9). С. 42–47.

6. Экологический мониторинг окружающей среды: Учебное пособие для вузов: в 2 т. / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Ю. Д. Эдельштейн, Д. П. Вент; под ред. П. Д. Саркисова. — Москва: Химия, 2005. — Т. 1. — 365 с. — (Для высшей школы).

7. Панарин, В. М. Техническая реализация и внедрение программно-аппаратного комплекса сбора, обработки и отображения информации совместно с комплексом аппаратуры для измерения концентраций вредных веществ «ЭКО-МОНИТОР» / В. М. Панарин, А. А. Горюнок // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. Вып. 6. С. 196–205.

8. Носимый радиационный монитор КСАР.5 «ФАНТОМ». Руководство оператора. РНПИ.1126.00.00.00 РО. — Санкт-Петербург: НТЦ «Ядерно-физические исследования», 2020. — 35 с.

9. Методика измерения параметров ионизирующих излучений для целей специальной оценки условий труда МИ ИИ.ИНТ-14.01-2018: утверждена приказом Генерального директора АО «КИОУТ» № 010-ОД от 06 декабря 2018 года. — Москва: АО «Клинский институт охраны и условий труда», 2018. — 19 с. URL: <http://docinfo.ru/mi/mi-ii-int-14-01-2018> (дата обращения 10.04.2021).

10. Qt Creator Manual // Qt Documentation. URL: <http://doc.qt.io/qtcreator/index.html> (дата обращения 10.04.2021).

System for Analyzing and Visualization Environmental Parameters with the Possibility of Georeferencing

I. D. Pass

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
Saint Petersburg, Russia
pass-ilya@yandex.ru

PhD A. V. Zabrodin

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
Saint Petersburg, Russia
zabrodin@pgups.ru

Annotation. An improved software and hardware complex of an automated information-measuring and control system for monitoring environmental parameters is described, which includes an automated system for collecting, analyzing and displaying information with the possibility of geo-linking together with a set of equipment for measuring the corresponding parameters. The software and hardware monitoring complex are developed on the basis of the radiation portal monitor of the KSAR1U.041. The computer and communication devices included in the complex expand the functionality of the station, implement the transfer of the recorded data to the server or to individual users.

Keywords: monitoring system, environmental monitoring, automated information monitoring system, geo-linking, map, security, devices, environment.

REFERENCES

1. Fundamentals of State Policy in the Field of Environmental Development of the Russian Federation for the period up to 2030 [Osnovy gosudarstvennoy politiki v oblasti ekologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda]: Approved by the President of the Russian Federation on April 30, 2012.
2. GOST R 22.1.01-95. Safety in Emergencies. Monitoring and Forecasting. Basic Principles [GOST R 22.1.01-95. Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh. Monitoring i prognozirovanie. Osnovnye polozheniya]. Effective from January 01, 1997. Moscow, Publishing House of Standards, 1996, 10 p.
3. GOST R 22.1.02-95. Safety in Emergencies. Monitoring and Forecasting. Terms and Definitions [GOST R 22.1.02-95. Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh. Monitoring i prognozirovanie. Terminy i opredeleniya]. Effective from January 01, 1997. Moscow, Publishing House of Standards, 1996, 10 p.
4. GOST R 22.1.12-2005. Safety in Emergencies. Structured System for Monitoring and Control of Building / Construction Engineering Equipment. General Requirements [GOST R 22.1.12-2005. Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh. Strukturirovannaya sistema monitoringa i upravleniya inzhenernymi sistemami zdaniy i sooruzheniy. Obshchie trebovaniya]. Effective from September 15, 2005. Moscow, StandartInform Publishing House, 2005, 14 p. (last ed. June 01, 2011, 9 p. Effective from July 01, 2011).
5. Noskova A. I., Tokranova M. V. Overview of Automated Monitoring Systems [Obzor avtomatizirovannykh sistem monitoringa], *Intellectual Technologies on Transport [Intellektual'nye tekhnologii na transporte]*, 2017, No. 1 (9), Pp. 42–47.
6. Komissarov Yu. A., Gordeyev L. S., Edelshtein Yu. D., Vent D. P. The air monitoring ecological system: A textbook for universities. In 2 Vols. Volume 1 [Ekologicheskii monitoring okruzhayushchey sredy: Uchebnoe posobie dlya vuzov. V 2 tomakh. Tom 1]. Moscow, Khimiya Publishers, 2005, 365 p.
7. Panarin V. M., Goryunkova A. A. Feasibility Andimplementation of Software and Hardware System for Collecting, Processing and Display Together with a Set of Instrumentation for Measuring Concentration of Harmful Substances «ECOMONITOR» [Tekhnicheskaya realizatsiya i vnedrenie programmno-apparatnogo kompleksa sbora, obrabotki i otobrazheniya informatsii sovmestno s kompleksom apparatury dlya izmereniya kontsentratsiy vrednykh veshchestv «EKOMONITOR»], *News of the Tula State University. Technical Sciences [Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki]*, 2014, Is. 6, Pp. 196–205.
8. Wearable radiation monitor CSAR.5 «PHANTOM». Operator's manual [Nosimyy radiatsionnyy monitor KSAR.5 «FANTOM». Rukovodstvo operatora]. Saint Petersburg, Scientific Engineering Center «Nuclear Physics Research», 2020, 35 p.
9. The Method of Measuring the Parameters of Ionizing Radiation for the Purpose of a Special Assessment of Working Conditions MI II.INT-14.01-2018 [Metodika izmereniya parametrov ioniziruyushchikh izlucheniya dlya tseley spetsial'noy otsenki usloviy truda MI II.INT-14.01-2018]. Moscow, Klin Institute of Labor Protection and Conditions, 2018, 19 p. Available at: <http://docinfo.ru/mi/mi-ii-int-14-01-2018> (accessed 10 Apr 2021).
10. Qt Creator Manual, *Qt Documentation*. Available at: <http://doc.qt.io/qtcreator/index.html> (accessed 10 Apr 2021).

Особенности программной реализации численно-аналитической модели параллельно-последовательной нестационарной системы обслуживания

К. С. Шардаков

Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия
k.shardakov@gmail.com

Аннотация. Описываются особенности программной реализации численно-аналитической модели параллельно-последовательной нестационарной системы обслуживания (НСО), описываемой системой однородных дифференциальных уравнений (ОДУ). Программная реализация выполнена на интерпретируемом языке Python3. Приведены используемые алгоритмы для генерации списка состояний и заполнения матрицы коэффициентов. Описаны ограничения при вычислениях, вызванные выбором языка программирования для реализации.

Ключевые слова: алгоритм генерации матрицы коэффициентов, нестационарная система обслуживания, Python3, программная реализация, параллельно-последовательная НСО, численно-аналитическая модель.

ВВЕДЕНИЕ

В [1] рассматривается текущее состояние вопроса о нестационарных системах массового обслуживания. Начало «нестационарной» теории массового обслуживания (ТМО) было положено в работах [2–4] и продолжено в [5, 6].

Довольно большое количество нестационарных моделей описано в [7]. В [8, 9] описана и предложена параллельно-последовательная модель, использующая рекурсивный с группировкой алгоритм генерации списка состояний системы и матрицы коэффициентов системы ОДУ Чепмена — Колмогорова. Такой алгоритм позволяет избежать построения графа состояний и переходов НСО, а также позволяет не выводить общее уравнение системы ОДУ, в отличие от работ [10–12]. В работе [13] рассмотрена программная реализация численно-аналитической модели, использующей рекурсивный алгоритм генерации матрицы коэффициентов системы ОДУ. В [14] реализована численно-аналитическая модель параллельно-последовательной НСО. В данной работе рассматриваются детали программной реализации этой модели.

ОСНОВНОЙ АЛГОРИТМ И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ МОДЕЛИ

Численно-аналитическая модель параллельно-последовательной НСО [14] представляет собой консольную утилиту, написанную на интерпретируемом языке Python3. Все результаты работы модели выводятся в консоль. В этой работе рассмотрен пример параллельно-последовательной модели с 2 прокси.

Для запуска модели в первую очередь необходимо задать исходные параметры модели в соответствующих

переменных в самых первых строках реализации модели. В модели присутствует всего один класс — класс, определяющий состояние модели. Полями этого класса являются номер состояния и вектора *in_system* и *served*. Далее в исходном коде модели определены различные методы, необходимые для ее функционирования. Затем эти методы вызываются в основном теле модели.

В ходе работы модель:

1. Инициализирует переменные с заданными начальными параметрами.

2. Запускает общий таймер — записывает текущее время *global_start_time*.

3. Вызывает метод *recursive_generate_states()*, возвращающий список всех сгенерированных состояний как описанную ранее структуру хранения и количество состояний в ней. В свою очередь внутри этого метода происходят следующие процедуры:

а) запускается таймер *generation_start_time* на время генерирования списка состояний;

б) вызывается метод *strucuture_preparation()*, генерирующий и возвращающий сформированную пустую структуру хранения списка состояний *states*, состоящую из $N + 1$ групп, разделенных на $N + 1$ подгрупп, разделенных в свою очередь на $N + 1$ подгрупп второго уровня, где N — количество возможных к поступлению на обслуживание заявок; в) создается начальное нулевое состояние *zero_patient*, все поля которого заполнены нулями и записывается в структуру, полученную на предыдущем шаге:

Состояние(*in_system* = [0, 0, 0], *served* = [0, 0]);

г) определяется метод *recursive(current_state)*, принимающий на вход состояние, с которого алгоритм должен начать процедуру формирования списка состояний (детали работы этого метода подробно описаны в следующем разделе);

д) вызывается метод *recursive(current_state)*, в качестве входного параметра начального состояния ему передается состояние *zero_patient*, сгенерированные состояния метод сохраняет в подготовленную структуру *states*;

е) вызывается метод *numbering(states)*, получающий на вход заполненную структуру со списком состояний *states*, проводящий сквозную нумерацию этих состояний и возвращающий их количество;

ж) останавливается таймер, для этого сохраненное в нем значение времени *generation_start_time* вычитается из текущего, выводится время, потраченное на генерирование списка состояний, выводится общее количество состояний *num_states*;

з) возвращается структура со списком состояний *states* и общее количество сгенерированных состояний *num_states*.

4. Вызывает метод *fill_matrix_a(states, num_states)*, принимающий на вход полученную ранее структуру со списком состояний *states* и количество состояний *num_states*, результатом работы метода является заполненная матрица коэффициентов *A*. В процессе работы метода выполняются следующие шаги:

а) создается нулевая матрица размерности *num_states*;

б) выполняются все действия алгоритма заполнения матрицы коэффициентов *A* (детальное описание будет дано далее);

в) возвращается заполненная матрица коэффициентов *A*.

5. Использует таймер *global_start_time*, сохраненное время вычитается из текущего, результат выводится как время, затраченное на формирование матрицы коэффициентов *A*.

6. Вызывает метод *is_lower_triangular(matrix_A)*, принимающий на вход матрицу коэффициентов *A* и проверяющий, что она действительно является нижнетреугольной, для этого на каждой строке проверяются все значения после главной диагонали на соответствие значения нулю. В случае, когда все такие значения равны нулю, метод возвращает «true». В противном случае, при попадании на первый ненулевой элемент метод прекращает свою работу и возвращает «false». Выводится результат проверки.

7. Дальнейшие действия практически идентичны действиям, предложенным в численно-аналитическом методе в [13], поскольку в расчетную часть метода изменения не вносились, за исключением избавления от многопоточности из-за особенностей интерпретатора Python3, о которых будет сказано далее. Заполняется вектор кратностей. Рассчитывается дополнительная матрица коэффициентов. Рассчитываются вероятности. В процессе расчета вероятностей существует несколько вариантов дальнейшей работы:

А. В изначальном варианте происходит расчет вероятностей для указанного момента времени, в полученном векторе каждое значение проверяется на предмет того, не является ли оно меньшим нуля или большим единицы. В случае срабатывания такой проверки выводятся предупреждения. Это означает, что есть ошибки в расчете, они могут быть связаны как с ошибкой в алгоритме, так и с погрешностью расчетов из-за, например, заданной слишком низкой точности. Затем вычисляется сумма результирующего вектора с вероятностями и выводится на консоль, это необходимо для дополнительной проверки верности расчетов, сумма всех вероятностей должна быть равна единице. Затем вектор со значениями рассчитанных вероятностей записывается в файл построчно и содержит в названии момент времени, для которого производился расчет.

Б. Отличие следующей итерации разработки модели только в том, что описанные в пункте А шаги выполняются в цикле несколько раз, для каждого момента времени в рамках ранее указанного количества моментов.

8. Использует таймер *global_start_time*, сохраненное время вычитается из текущего, результат выводится как полное время работы модели. Для удобства выводится способ округления чисел, заданный в начальных параметрах и использованный при расчетах модели.

На рисунке 1 представлена блок-схема с шагами работы модели, описанными выше. На рисунке 2 представлена блок-схема шага генерирования списка состояний. На рисунке 3 представлена блок-схема шага заполнения матрицы коэффициентов *A*.

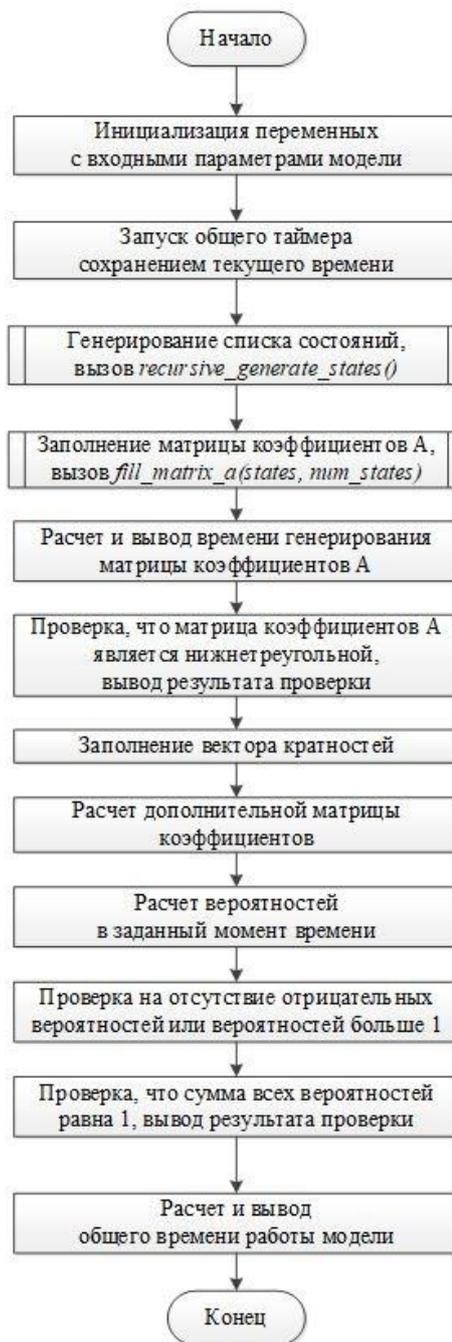


Рис. 1. Блок-схема с шагами работы модели



Рис. 2. Блок-схема с описанием шага генерирования списка состояний



Рис. 3. Блок-схема с описанием шага генерирования списка

ПРОЦЕДУРА ФОРМИРОВАНИЯ СПИСКА СОСТОЯНИЙ

Все возможные состояния НСО помещаются в специализированную структуру хранения состояний, описанную в [15] и модернизированную для хранения подгрупп второго уровня. Используется тип данных «словарь» (пары «ключ»: «значение») для быстрой проверки существования состояния и его поиска. Ключом является вектор $in_system = [in_1, in_2, in_main]$, описывающий количество заявок в системе на текущий момент. Такой ключ является уникальным в рамках подгруппы второго уровня. Описанная структура представлена на рисунке 4.

Состояние ($in_system[in_1, in_2, in_main], served[out_proxy, out_main]$)

```

Структура
Все состояния[
  Группа [ // out_main - constant
    Подгруппа [ // out_proxy - constant
      Подгруппа 2-го уровня { // in_system | - constant
        // пары ключ: значение, ключи уникальны в рамках
        // подгруппы 2-го уровня
        in_system: Состояние(in_system, served)
      }
    ]
  ]
]
    
```

Рис. 4. Структура хранения списка возможных состояний НСО

Алгоритм формирования списка состояний реализован следующим образом:

1. В первую очередь алгоритм проверяет, что в текущем состоянии количество обработанных НСО заявок $||served||$ меньше ожидаемого N , где N — количество заявок, которые могут поступить в систему ($||served|| < N$). Если это условие выполняется, алгоритм продолжает работу. Если условие не выполняется и для текущего состояния количество обработанных заявок равно ожидаемому ($||served|| = N$) — это означает, что алгоритм получил на вход поглощающее состояние. В этом случае работа прерывается, и управление возвращается на предыдущий уровень рекурсии, если он есть, иначе алгоритм завершает свою работу.

2. Следующим этапом алгоритм пытается изменить текущее состояние таким образом, чтобы смоделировать поступление новой заявки на один из прокси-серверов, при условии, что сумма обработанных НСО заявок и находящихся в системе все еще меньше ожидаемого. Происходит это в несколько шагов:

- а) создается копия вектора in_system текущего состояния под названием $new_in_system = [in_1, in_2, in_main]$;
- б) в созданной копии new_in_system увеличивается счетчик для одного из прокси, например

$$new_in_system = [in_1+1, in_2, in_main];$$

в) проверяется существование такого ключа в структуре данных простым обращением в нужную группу второго уровня по этому ключу;

г) если такой ключ существует, алгоритм повторяет предыдущие шаги для следующего прокси, если он есть;

д) если такого ключа не существует, создается новое состояние, которое описывается новым вектором new_in_system и копией вектора $served$ текущего состояния;

е) новое созданное состояние добавляется в структуру хранения, и рекурсивно вызывается метод для этого состояния, как для текущего, что запускает весь алгоритм заново для уже нового состояния.

3. Третьим этапом алгоритм пытается изменить текущее состояние таким образом, чтобы смоделировать завершение обработки заявки на одном из прокси-серверов, при условии, что сумма заявок, находящихся на обработке на прокси-серверах, больше 0 ($in_1 + in_2 > 0$). Это говорит о наличии возможности применения такого изменения. Происходит это в несколько шагов:

а) в работу берется первый прокси и проверяется наличие текущих заявок на обслуживании; если заявок нет, осуществляется переход к следующему прокси, если заявки есть — алгоритм продолжает работу;

б) создается копия вектора in_system , в которой производится декремент заявок на обслуживании текущего прокси и инкремент заявок на обслуживании основного сервера, например

$$new_in_system=[in_1-1, in_2, in_main+1];$$

в) создается копия вектора $served$, в которой производится инкремент количества обслуженных заявок первой подсистемой, например

$$new_served=[out_proxy+1, out_main];$$

г) по пути, согласно значениям нового вектора new_served , выполняется проверка существования в структуре хранения в подгруппе второго уровня нового состояния по ключу из вектора new_in_system ;

д) если такой ключ существует, алгоритм переходит к следующему прокси, если он есть, и повторяет предыдущие шаги, если же следующего прокси нет, алгоритм переходит к следующему этапу;

е) если такого ключа не существует, алгоритм создает новое состояние из новых векторов new_in_system и new_served ;

ж) новое созданное состояние добавляется в структуру хранения, и рекурсивно вызывается метод для этого состояния, как для текущего, что запускает весь алгоритм заново для уже нового состояния.

4. Четвертым, и последним, этапом алгоритм пытается изменить текущее состояние таким образом, чтобы смоделировать завершение обработки заявки на основном сервере, при условии, что в текущем состоянии на нем находятся заявки на обслуживании ($in_main > 0$). Происходит это в несколько шагов:

а) создается копия вектора in_system , в которой производится декремент заявок на обслуживании основного сервера, например

$$new_in_system=[in_1, in_2, in_main-1];$$

б) создается копия вектора $served$, в которой производится инкремент количества обслуженных заявок второй подсистемой, то есть основным сервером, например

$$new_served=[out_proxy, out_main+1];$$

в) по пути, согласно значениям нового вектора new_served выполняется проверка существования в структуре хранения в подгруппе второго уровня нового состояния по ключу из вектора new_in_system ;

г) если такой ключ существует, алгоритм завершает свою работу либо возвращает управление на предыдущий уровень рекурсии, если текущий вызов был рекурсивным;

д) если такого ключа не существует, алгоритм создает новое состояние из новых векторов new_in_system и new_served ;

е) новое созданное состояние добавляется в структуру хранения, и рекурсивно вызывается метод для этого состояния, как для текущего, что запускает весь алгоритм заново для уже нового состояния.

После того как список состояний сгенерирован, выполняется простейшая сквозная нумерация состояний.

ПРОЦЕДУРА ЗАПОЛНЕНИЯ МАТРИЦЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Последовательно перебирая состояния из сгенерированного списка и применяя правила переходов к каждому подходящему под условия состоянию, становится возможным в то же время заполнять матрицу коэффициентов.

Обозначим матрицу коэффициентов как A , номер текущего состояния — как Num . Номер состояния, из которого можно перейти в текущее, — как $From_Num$. Интенсивности поступления и обслуживания заявки с номером Num на прокси и на основном сервере — λ , μ , и μ_main соответственно. Затем для каждого состояния применим следующие правила для заполнения матрицы коэффициентов A :

1. Если текущее состояние находится **не** в последней непустой подгруппе второго уровня, заявка может поступить на обслуживание и возможен переход в следующее состояние:

$$A_{Num,Num} = A_{Num,Num} - \lambda;$$

2. Если текущее состояние находится **не** в последней подгруппе и **не** в первой непустой подгруппе второго уровня внутри своей группы, возможен переход:

а) в текущее состояние из предыдущего при поступлении новой заявки в систему:

$$A_{Num,From_Num} = A_{Num,From_Num} + \lambda;$$

б) из текущего состояния в следующее при обработке заявки одним из прокси:

$$A_{Num,Num} = A_{Num,Num} - \mu;$$

3. Если это **не** первая непустая подгруппа в своей группе, возможен переход:

а) в текущее состояние из предыдущего при обработке заявки на одном из прокси:

$$A_{Num,From_Num} = A_{Num,From_Num} + \mu;$$

б) из текущего состояния в следующее при обработке заявки основным сервером:

$$A_{Num,Num} = A_{Num,Num} - \mu_main;$$

4. Если текущее состояние находится **не** в первой группе и **не** в первой непустой подгруппе внутри своей группы, возможен переход в текущее состояние из предыдущего при обработке заявки на основном сервере:

$$A_{Num,From_Num} = A_{Num,From_Num} + \mu_main.$$

Для проверки того, что матрица является нижнетреугольной, как ожидается согласно изначальным условиям,

был введен метод *is_lower_triangular()*, проверяющий результирующую матрицу *A* на соответствие этому требованию. Метод принимает на вход саму матрицу коэффициентов *A* и для каждой строки в ней проверяет, что все значения после главной диагонали и до конца строки равны нулю.

На рисунке 5 представлена обобщенная блок-схема алгоритма генерации матрицы *A*, представляющая из себя последовательность подзадач для эмуляции продвижения заявки по системе.

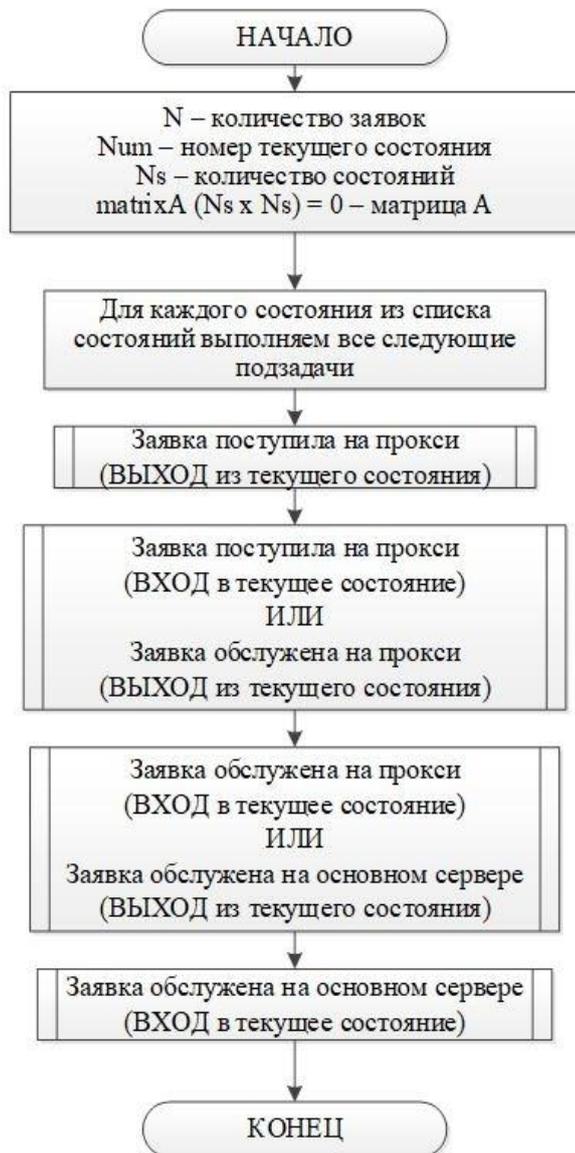


Рис. 5. Обобщенная блок-схема алгоритма генерации матрицы коэффициентов

Основная идея такого алгоритма — эмуляция перехода в следующее возможное состояние и эмуляция возврата в такое прошлое состояние, из которого можно попасть в текущее. Эмуляция достигается путем применения правил переходов и последующей проверки, существует ли состояние, полученное после применения правила, в списке уже сгенерированных. Наличие такого состояния говорит о необходимости внесения изменений в матрицу *A*. Плюсы такого подхода:

- всегда известен номер текущего состояния (одна из координат для внесения изменений в матрицу *A*);
- благодаря использованию типа данных «словарь» для подгрупп второго уровня всегда легко можно найти возможные предыдущие или будущие состояния и получить их номер, который является второй координатой для внесения изменений в матрицу *A*.

Каждая из подзадач, представленных на рисунке 5, детально представлена на рисунках 6–9. Краткое описание значений на блок-схемах:

- *group_index*, *subgroup_index* и *under_subgroup_index* — индексы группы, подгруппы и подгруппы второго уровня в структуре хранения состояний соответственно, описывающих место обрабатываемого в текущий момент состояния в структуре хранения;
- *num_of_proxies* — параметр модели, описывает количество прокси-серверов в модели;
- *Num* — номер текущего состояния;
- *From_num* — номер состояния из которого можно перейти в текущее.



Рис. 6. Блок-схема алгоритма подзадачи, выход из состояния при поступлении заявки на прокси

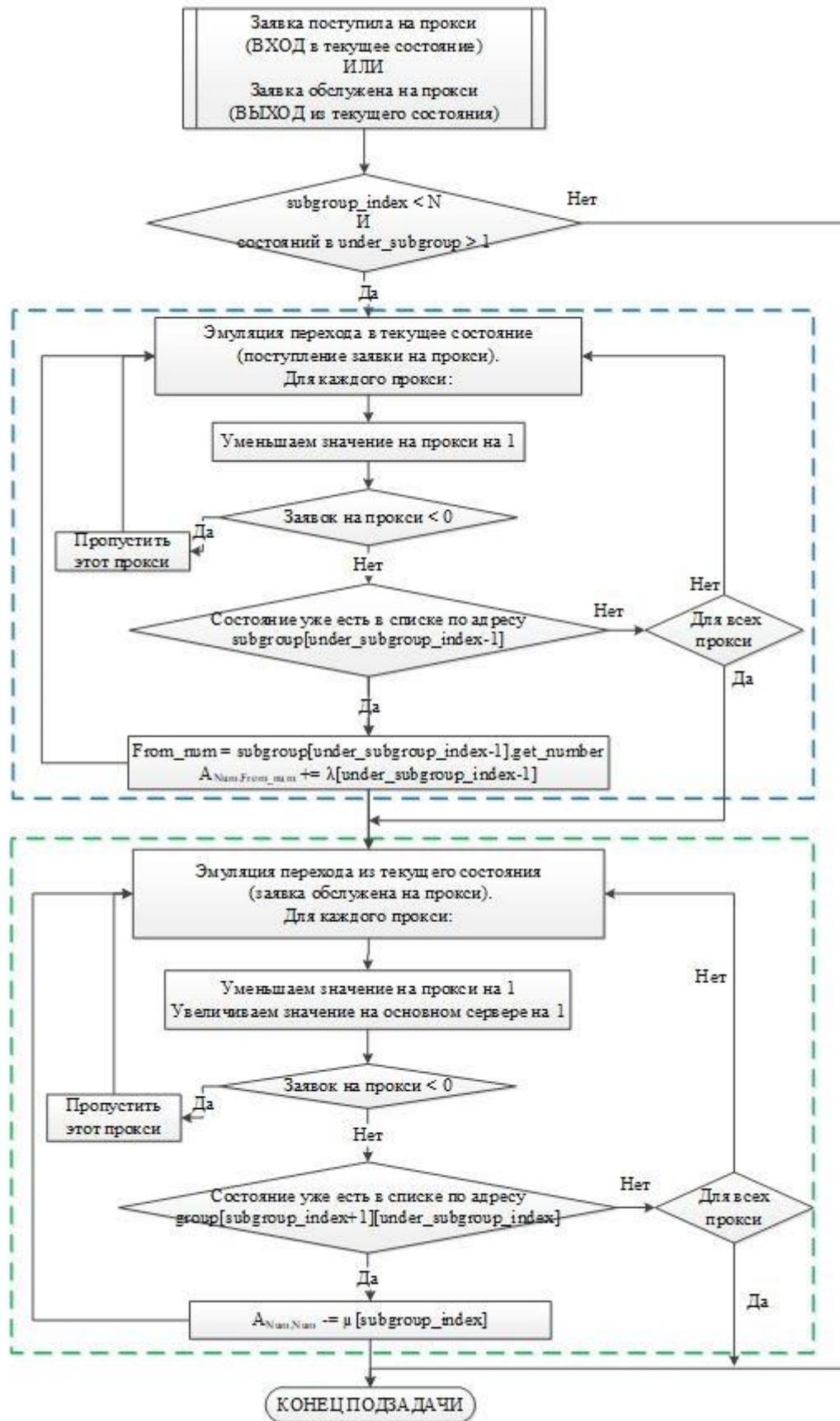


Рис. 7. Блок-схема алгоритма подзадачи, вход в состояние при поступлении заявки на прокси и выход из состояния при завершении обслуживания заявки на прокси

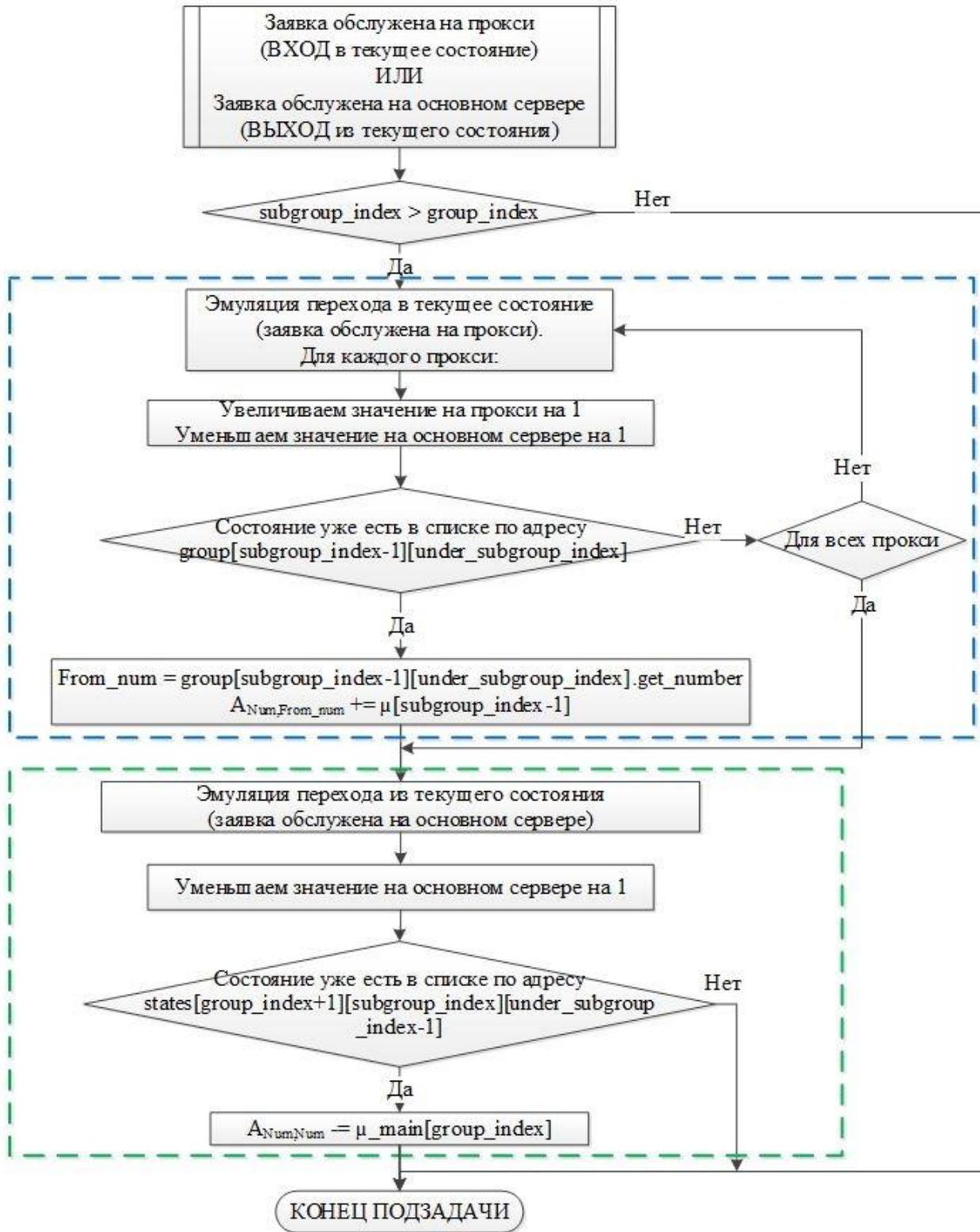


Рис. 8. Блок-схема алгоритма подзадачи, вход в состояние при завершении обслуживания заявки на прокси и выход из состояния при завершении обслуживания заявки на основном сервере

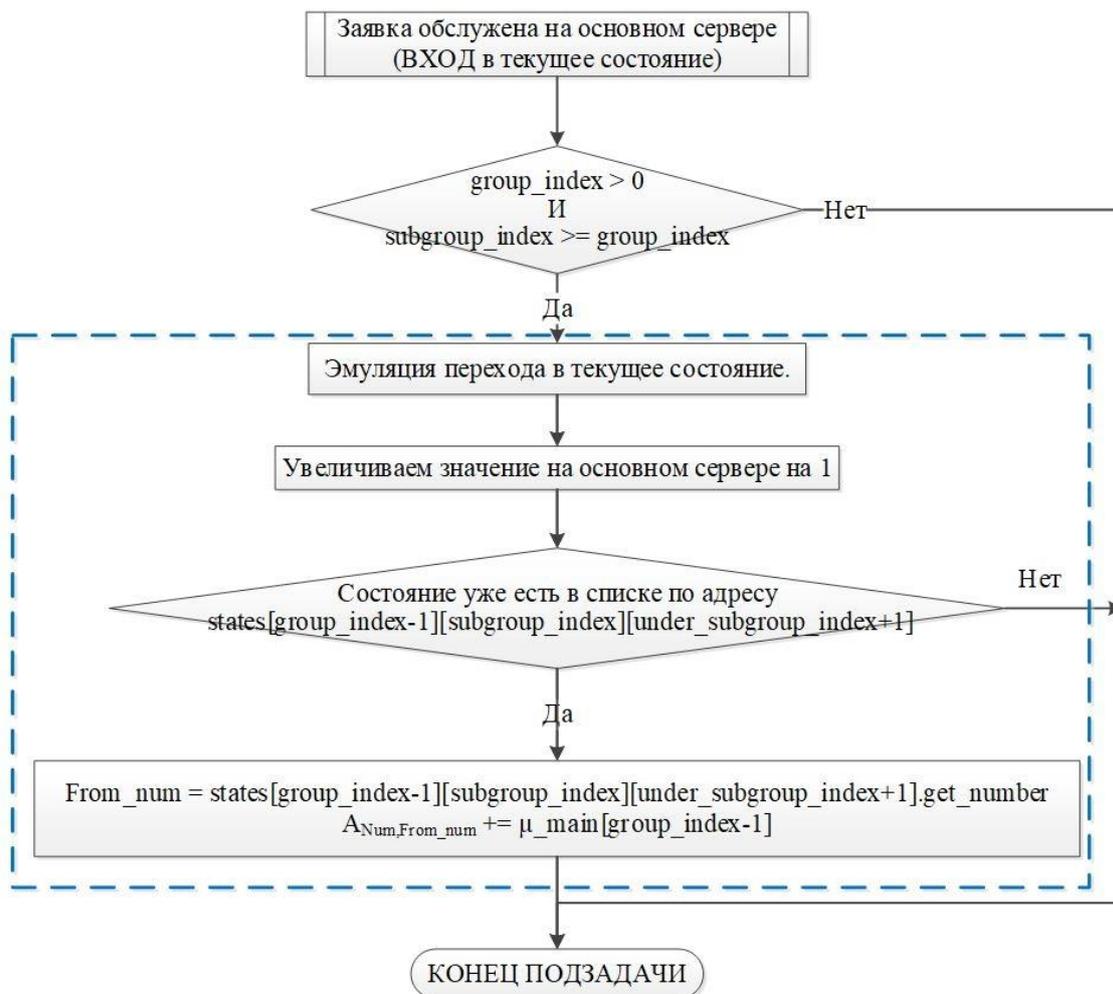


Рис. 9. Блок-схема алгоритма подзадачи, вход в состояние при завершении обслуживания заявки на основном сервере

Когда матрица коэффициентов заполнена, остается только решить полученную систему обыкновенных дифференциальных уравнений Чепмена — Колмогорова при заданных начальных условиях численно-аналитическим методом, предложенным в [8].

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СОСТОЯНИЙ

Для решения составленной системы ОДУ Чепмена — Колмогорова при начальных условиях был использован ранее предложенный и оптимизированный в [13] алгоритм без изменений в логике его работы. Для программной реализации использовался интерпретируемый язык программирования Python3, что внесло некоторые коррективы, связанные с выбором языка реализации, в существующий алгоритм.

Для борьбы с погрешностью вычислений для хранения чисел использовался тип данных *Decimal* [16], предоставляющий возможность использовать разрядность чисел, ограниченную только размером памяти ЭВМ. Этот тип данных в Python3 хранит значения тем же способом, что и предложенный в [13] тип данных *BigDecimal* в Java [17]. Эти числа представляют собой сочетание двух значений. Первое — неограниченное значение строкового типа (*String*, *s*), второе — 32-битное целое число (*Integer*, *I*).

Таким образом, значение числа типа *Decimal* и *BigDecimal* представляется в виде: $s \times 10^I$.

Для контроля погрешности в программу была добавлена возможность задания точности чисел, т. е. количество разрядов, которые могут храниться в мантиссе числа, представляемого типом данных *Decimal*. Необходимо учитывать тот факт, что чем большая точность чисел используется, тем больше времени требуется на совершение арифметических операций с ними и, соответственно, тем дольше производится расчет решения.

Для проверки точности вычислений вероятностей после их вычисления производится расчет их суммы, которая должна быть равна 1. Дополнительно введены граничные проверки, сообщающие о наличии вероятностей с отрицательными значениями или значениями больше 1. Такие проверки вкпе позволяют оценить верность расчета.

К сожалению, в связи с особенностями интерпретатора Python3, многопоточная реализация части метода, решающей уже составленную систему ОДУ, аналогично предложенной в [10, 13], производит расчет вероятностей медленнее однопоточной, которая, в свою очередь, работает медленнее предложенной в многопоточной реализации на Java. Это связано с использованием GIL (Global Interpreter Lock, глобальная блокировка интерпретатора) [18] в

Python3, который, в отличие от Java, не позволяет потокам приложения в рамках одного процесса использовать одновременно все доступные на исполняемой платформе ядра процессора для распараллеливания потоков. Как результат — все потоки приложения запускаются на одном ядре процессора в конкурентном режиме, на том же ядре, что и родительский процесс самого интерпретатора. Таким образом, мы получаем псевдопараллелизм с обработкой на одном ядре каждого потока последовательно в цикле в течение короткого кванта процессорного времени.

Для решения этой проблемы рассматривалась замена многопоточного режима на многопроцессорный. Этот режим позволяет вместо создания дочерних потоков в рамках одного процесса и выделенного ему изолированного пространства ресурсов создавать дочерние процессы с выделенными им собственными изолированными пространствами ресурсов. Такие дочерние процессы могут быть распределены по нескольким ядрам одного процессора. В этом случае распределение никак не ограничивается интерпретатором Python3. Однако такой подход не оправдал себя в связи с гораздо большими затратами на межпроцессорное взаимодействие между дочерними процессами по сравнению с затратами на взаимодействие между потоками в рамках изолированного пространства одного процесса.

Стоит отметить, что проблема многопоточности присуща только реализации на Python3 и не присуща реализации на Java. Поскольку иных изменений в алгоритме решения уже составленной системы ОДУ не было, и алгоритм может быть реализован на любом другом выбранном языке программирования, поддерживающем параллельное выполнение потоков. Такой недостаток не может быть расценен как недостаток алгоритма, поскольку это недостаток конкретного языка реализации, и не может влиять на его производительность в общем контексте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная программная реализация имеет некоторые преимущества по отношению к существующей реализации на Java за счет использования новых более быстрых алгоритмов генерации списка возможных состояний НСО и заполнения матрицы коэффициентов системы ОДУ Чепмена — Колмогорова. Стоит заметить, что эти алгоритмы, несмотря на увеличенную скорость работы, не теряют в точности расчетов.

В дальнейшем развитие работы возможно в нескольких направлениях:

1. Сокращение использования памяти для структуры хранения списка состояний за счет избавления от пустых неиспользуемых вложенных структур в ней.

2. Перенос реализации на Java, Golang или другой компилируемый язык программирования для устранения проблемы с GIL и невозможностью использовать многопоточность для ускорения расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бубнов, В. П. Обзор существующих моделей нестационарных систем обслуживания и методов их расчета / В. П. Бубнов, В. И. Сафонов, К. С. Шардаков // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 3. С. 65–121. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10303.

2. Коваленко, И. Н. О системе массового обслуживания со скоростью обслуживания, зависящей от числа

требований в системе, и периодическим отключением каналов // Проблемы передачи информации. 1971. Т. VII, Вып. 2. С. 106–111.

3. Ежов, И. И. Распределение количества каналов системы ремонта, когда интенсивность потока изменяется специальным образом / И. И. Ежов, М. Т. Корнийчук, И. Д. Олийнык // Кибернетика. 1976. № 3. С. 92–94.

4. Абольников, Л. М. Нестационарная задача массового обслуживания для систем с бесконечным числом каналов при групповом поступлении требований // Проблемы передачи информации. 1968. Т. IV, Вып. 3. С. 99–102.

5. Арсенишвили, Г. Л. Однолинейная система массового обслуживания с зависящей от величины очереди интенсивностью входящего потока // Сообщения Академии наук Грузинской ССР. 1974. № 2. С. 285–288.

6. Conolly, B. W. Generalized State-Dependent Erlangian Queues: Speculations about Calculating Measures of Effectiveness // Journal of Applied Probability. 1975. Vol. 12, No. 2. Pp. 358–363. DOI: 10.2307/3212451.

7. Бубнов, В. П. Разработка динамических моделей нестационарных систем обслуживания / В. П. Бубнов, В. И. Сафонов. — Санкт-Петербург: Лань, 1999. — 63 с.

8. Shardakov, K. S. Stochastic Model of a High-Loaded Monitoring System of Data Transmission Network / K. S. Shardakov, V. P. Bubnov // Models and Methods of Information Systems Research Workshop in the frame of the Betancourt International Engineering Forum (MMISR 2019) (St. Petersburg, Russia, 04–05 December 2019). CEUR Workshop Proceedings. 2020. Vol. 2556. Pp. 29–34. DOI: 10.24412/1613-0073-2556-29-34.

9. Шардаков, К. С. Нестационарная параллельно-последовательная модель высоконагруженной системы мониторинга / К. С. Шардаков, В. П. Бубнов // Информация и космос. 2020. № 3. С. 56–67.

10. Смагин, В. А. О загрузке вычислительной системы с изменяющейся интенсивностью поступления заданий / В. А. Смагин, В. П. Бубнов, В. И. Сафонов // Автоматика и вычислительная техника. 1987. № 6. С. 19–22.

11. Bubnov, V. P. Software Reliability Model with Coxian Distribution of Length of Intervals Between Errors Detection and Fixing Moments / V. P. Bubnov, A. D. Khomonenko, A. V. Tyrva // 35th Annual IEEE Computer Software and Applications Conference Workshops (COMPSACW 2011) (Munich, Germany, 18–21 July 2011). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011. — Pp. 310–314. DOI: 10.1109/COMPSACW.2011.58.

12. Bubnov, V. P. Model of Reliability of the Software with Coxian Distribution of Length of Intervals Between the Moments of Detection of Errors / V. P. Bubnov, A. V. Tyrva, A. D. Khomonenko // Proceedings of 34th Annual IEEE Computer Software and Applications Conference (COMPSAC 2010) (Seoul, South Korea, 19–23 July 2010). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010. — Pp. 238–243. DOI: 10.1109/COMPSAC.2010.78.

13. Бубнов, В. П. Особенности программной реализации численно-аналитического метода расчета моделей нестационарных систем обслуживания / В. П. Бубнов, А. С. Еремин, С. А. Сергеев // Труды СПИИРАН. 2015. Вып. 1 (38). С. 218–232. DOI: 10.15622/sp.38.12.

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020662856 Российская Федерация. Программа численно-аналитического расчета вероят-

ностей состояний нестационарной ациклической сети обслуживания с конечным числом заявок: № 2020662236: заявл. 12.10.2020; опубл. 20.10.2020 / К. С. Шардаков, В. П. Бубнов; заявитель ФГБОУ ВО ПГУПС. — 1 с.

15. Shardakov, K. S. Generating of the Coefficient Matrix of the System of Homogeneous Differential Equations / K. S. Shardakov, V. P. Bubnov, A. N. Pavlov // First Workshop Computer Science and Engineering in the framework of the 5th International Scientific-Methodical Conference «Problems of Mathematical and Natural-Scientific Training in Engineering Education» (CSITinMNSTinEE2018) (St. Petersburg, Russia, 08–09 November 2018). CEUR Workshop Proceedings. 2019. Vol. 2341. Pp. 42–47. DOI: 10.24412/1613-0073-2341-42-47.

16. Decimal — Decimal fixed point and floating point arithmetic // Python 3.9.6 Documentation. URL: <http://docs.python.org/3/library/decimal.html> (дата обращения 11.05.2021).

17. Class BigDecimal // Java Platform SE7 Documentation. URL: <http://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/java/math/BigDecimal.html> (дата обращения 11.05.2021).

18. Thread State and the Global Interpreter Lock / Initialization, Finalization, and Threads // Python 3.9.6 Documentation. URL: <http://docs.python.org/3/c-api/init.html#thread-state-and-the-global-interpreter-lock> (дата обращения 11.05.2021).

Features of the Software Implementation of a Numerical-Analytical Model of a Parallel-Sequential Non-Stationary Queueing System

K. S. Shardakov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
Saint Petersburg, Russia
k.shardakov@gmail.com

Abstract. The features of the software implementation of a numerical-analytical model of a parallel-sequential non-stationary queueing system described by a system of homogeneous differential equations are described. The software implementation is made in the interpreted language Python3. The algorithms used for generating the list of states and filling in the coefficient matrix are presented. Limitations in calculations caused by the choice of the programming language for implementation are described.

Keywords: algorithm for generating a matrix of coefficients of ode, non-stationary queueing system, Python3, software implementation, parallel-serial non-stationary queueing system, numerical-analytical model.

REFERENCES

1. Bubnov V. P., Safonov V. I., Shardakov K. S. Overview of Existing Models of Non-Stationary Queueing Systems and Methods for Their Calculation [Obzor sushchestvuyushchikh modeley nestatsionarnykh sistem obsluzhivaniya i metodov ikh rascheta], *Systems of Control, Communication and Security [Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti]*, 2020, No. 3, Pp. 65–121. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10303.
2. Kovalenko I. N. A Bulk Service System with Service Rate Dependent on the Number of Calls in the System and with Periodic Channel Disconnection [O sisteme massovogo obsluzhivaniya so skorost'yu obsluzhivaniya, zavislyashchey ot chisla trebovaniy v sisteme, i periodicheskim otklyucheniem kanalov], *Problems of Information Transmission [Problemy peredachi informatsii]*, 1971, Vol. VII, Is. 2, Pp. 106–111.
3. Ezhov I. I., Korniyuchuk M. T., Oliynyk I. D. Distribution of the Number of the Repair System Channels When the Flow Rate Changes in a Special Way [Raspredelenie kolichestva kanalov sistemy remonta, kogda intensivnost' potoka izmenyaetsya spetsial'nym obrazom], *Kibernetika [Kibernetika]*, 1976, No. 3, Pp. 92–94.
4. Abol'nikov L. M. A Non-Stationary Queueing Problem for a System with an Infinite Number of Channels for a Group Arrival of Requests [Nestatsionarnaya zadacha massovogo obsluzhivaniya dlya sistem s beskonечnym chislom kanalov pri gruppovom postuplenii trebovaniy], *Problems of Information Transmission [Problemy peredachi informatsii]*, 1968, Vol. IV, Is. 3, Pp. 99–102.
5. Arsenishvili G. L. Single-Line Queueing System with Queue-Dependent Incoming Flow Rate [Odnolineynaya sistema massovogo obsluzhivaniya s zavislyashchey ot velichiny ocheredi intensivnost'yu vkhodyashchego potoka],

Reports of the Academy of Sciences of the Georgian Soviet Socialist Republic [Soobshcheniya Akademii nauk Gruzinskoy SSR], 1974, No. 2, Pp. 285–288.

6. Conolly B. W. Generalized State-Dependent Erlangian Queues: Speculations about Calculating Measures of Effectiveness, *Journal of Applied Probability*, 1975, Vol. 12, No. 2, Pp. 358–363. DOI: 10.2307/3212451.

7. Bubnov V. P., Safonov V. I. Development of Dynamic Models of Non-Stationary Service Systems [Razrabotka dinamicheskikh modeley nestatsionarnykh sistem obsluzhivaniya]. Saint Petersburg, LAN Publishing House, 1999, 63 p.

8. Shardakov K. S., Bubnov V. P. Stochastic Model of a High-Loaded Monitoring System of Data Transmission Network, *Models and Methods of Information Systems Research Workshop in the frame of the Betancourt International Engineering Forum (MMISR 2019), St. Petersburg, Russia, December 04–05, 2019. CEUR Workshop Proceedings*, 2020, Vol. 2556, Pp. 29–34. DOI: 10.24412/1613-0073-2556-29-34.

9. Shardakov K. S., Bubnov V. P. Non-Stationary Parallel-Serial Model of a High-Load Monitoring System [Nestatsionarnaya parallel'no-posledovatel'naya model' vysokonagruzhennoy sistemy monitoringa], *Information and Space [Informatsiya i kosmos]*, 2020, No. 3, Pp. 56–67.

10. Smagin V. A., Bubnov V. P., Safonov V. I. On of the Load of a Computational System with a Varying Intensity of Arrival Tasks Rate [O zagruzke vychislitel'noy sistemy s izmenyayushcheysya intensivnost'yu postupleniya zadaniy], *Avtomatika i Vychislitel'naya Tekhnika [Avtomatika i vychislitel'naya tekhnika]*, 1987, No. 6, Pp. 19–22.

11. Bubnov V. P., Khomonenko A. D., Tyrva A. V. Software Reliability Model with Coxian Distribution of Length of Intervals Between Errors Detection and Fixing Moments, *35th Annual IEEE Computer Software and Applications Conference Workshops (COMPSACW 2011), Munich, Germany, July 18–21, 2011*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011, Pp. 310–314. DOI: 10.1109/COMPSACW.2011.58.

12. Bubnov V. P., Tyrva A. V., Khomonenko A. D. Model of Reliability of the Software with Coxian Distribution of Length of Intervals Between the Moments of Detection of Errors, *Proceedings of 34th Annual IEEE Computer Software and Applications Conference (COMPSAC 2010), Seoul, South Korea, July 19–23, 2010*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010, Pp. 238–243. DOI: 10.1109/COMPSAC.2010.78.

13. Bubnov V. P., Eremin A. S., Sergeev S. A. Program Implementation of the Numerical-Analytical Method for Computation of Non-Stationary Service System Models [Osobennosti programmnoy realizatsii chislenno-analiticheskogo metoda rascheta modeley nestatsionarnykh sistem obsluzhivaniya], *SPIIRAS Proceedings [Trudy SPIIRAN]*, 2015, Is. 1 (38), Pp. 218–232. DOI: 10.15622/sp.38.12.

14. Shardakov K. S., Bubnov V. P. Program for the Numerical-Analytical Calculation of the Probabilities of States of a Non-Stationary Acyclic Queueing Network with a Finite Number of Tasks [Programma chislenno-analiticheskogo rascheta veroyatnostey sostoyaniy nestatsionarnoy atsiklicheskoy seti obsluzhivaniya s konechnym chislom zayavok]. Certificate of State registration of a computer program RU No. 2020662856, published at October 20, 2020.

15. Shardakov K. S., Bubnov V. P., Pavlov A. N. Generating of the Coefficient Matrix of the System of Homogeneous Differential Equations, *First Workshop Computer Science and Engineering in the framework of the 5th International Scientific-Methodical Conference «Problems of Mathematical and Natural-Scientific Training in Engineering Education» (CSITinMNSTinEE2018), St. Petersburg, Russia, November 08–09, 2018. CEUR Workshop Proceedings*, 2019, Vol. 2341, Pp. 42–47. DOI: 10.24412/1613-0073-2341-42-47.

16. Decimal — Decimal fixed point and floating point arithmetic, *Python 3.9.6 Documentation*.

Available at: <http://docs.python.org/3/library/decimal.html> (accessed 11 May 2021).

17. Class BigDecimal, *Java Platform SE7 Documentation*. Available at: <http://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/java/math/BigDecimal.html> (accessed 11 May 2021).

18. Thread State and the Global Interpreter Lock, *Python 3.9.6 Documentation*. Available at: <http://docs.python.org/3/c-api/init.html#thread-state-and-the-global-interpreter-lock> (accessed 11 May 2021).

Стратегия организации информационных процессов в автономных подвижных объектах на основе минимизации энерговременных затрат

д.т.н. А. Г. Басыров, И. В. Степанов

Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского
Санкт-Петербург, Россия
vka_24kaf@mil.ru

М. Н. Лупашко

533 военное представительство
Министерства обороны Российской Федерации
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье представлен подход к выбору стратегии организации информационных процессов — предварительной бортовой обработки и выдачи целевой информации в автономных подвижных объектах. Предложен алгоритм организации информационных процессов на основе минимизации энерговременных потерь. Даны рекомендации по организации предварительной бортовой обработки целевой информации в вычислительных системах автономных объектов.

Ключевые слова: бортовая обработка информации, энергоемкость, риски, функция потерь.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе функционирования различных автономных подвижных объектов (беспилотных летательных аппаратов, подводных станций, автономных робототехнических комплексов и др.) бортовой аппаратурой объекта создается целевая информация, которая передается потребителю. Информационным процессом в контексте статьи будем считать управляемый процесс сбора, обработки и выдачи потребителю целевой информации. При этом объем предварительно обрабатываемых и передаваемых данных может достигать значительных значений [1]. Из всего объема собранной информации часть данных может оказаться неиспользуемой для дальнейшего применения в силу ряда причин. Для уменьшения трафика передачи собранной информации эта информация может подвергаться предварительной обработке вычислительной системой самого автономного объекта с целью отсева непригодных для дальнейшего использования потребителем данных.

Если обрабатывать все данные внутри автономного объекта, то это приводит как к энергетическим, так и к временным потерям вычислительной системы (ВС) на обработку непригодных для последующего использования данных. Если же отказаться от предварительной обработки всей собранной информации на борту автономного объекта, то это может привести к возможным результативным потерям, связанным с передачей потребителю непригодных данных, а также к излишним энергетическим и временным потерям на функционирование средств передачи данных.

В связи с этим задача выбора стратегии обработки и передачи информации, собранной автономным объектом, которую предлагается решать на основе минимизации энерговременных затрат является актуальной.

Суть стратегии заключается в применении предварительной обработки собранной информации или же отказе

от этой предварительной обработки. Решение на выбор стратегии базируется на оценке соотношения возможных энергетических, временных и результативных потерь при выборе одной из двух стратегий.

ОБОСНОВАНИЕ СТРАТЕГИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ И ВЫДАЧИ ЦЕЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрим функционирование автономного подвижного объекта, на борту которого есть возможность предварительной обработки собранной информации перед отправкой ее потребителю. Пусть существуют временные ограничения как на предварительную обработку целевой информации, так и на ее передачу потребителю. Кроме того, имеется ограниченный энергоресурс для обеспечения функционирования вычислительной системы.

К некоторому моменту времени в памяти ВС находится множество массивов данных, которые необходимо передать потребителю. Часть хранящихся данных может быть непригодна для дальнейшего использования, что может быть выявлено их предварительной обработкой на борту. Эта предварительная обработка требует некоторых затрат времени и энергоресурса, однако позволяет отбросить непригодную информацию, на передачу которой тратятся опять же время и энергоресурс бортовых источников питания. По результатам предварительной обработки массива данных делается вывод об их пригодности, а значит и о целесообразности передачи этого массива потребителю.

Стратегия предварительной обработки и выдачи целевой информации заключается в формировании такой организации этих процессов, при которой выдача потребителю пригодных массивов данных обеспечиваются минимальными временем и энергоемкостью обработки и передачи информации. Другими словами, рассматриваемая стратегия связана с принятием управленческого решения на основе минимизации рисков [2, 3] энерговременных затрат.

Введем обозначения:

- t — время обработки одного массива данных;
- N — количество массивов данных;
- ρ_c — потребляемая мощность БВС;
- ρ_s — потребляемая мощность передатчика;
- g — пропускная способность передатчика;
- v — размер передаваемого массива данных.

Пусть необходимо принять решение u_i на обработку ($u_i = 1$) или передачу без предварительной обработки ($u_i = 0$) i -го массива данных.

Если i -й массив данных является пригодным ($\zeta_i = 1$), что априори не известно, и будет принято решение $u_i = 1$, то время t и энергия $\rho_c \times t$ бортовых источников питания на его предварительную обработку окажутся потраченными напрасно.

Если же этот массив данных является непригодным ($\zeta_i = 0$), то при том же решении будут сэкономлены $(v/g - t)$ единиц времени и $(v\rho_s/g - \rho_c t)$ единиц энергии за счет отказа от передачи непригодного массива данных потребителю.

Сведем в таблицу все возможные варианты решений для значений пригодности массивов данных и соответствующие им временные и энергетические затраты.

Таблица 1

Энерговременные затраты для различных стратегий обработки и передачи массивов данных

u_i	ζ_i	Затраты		Полезный объем данных
		Временные	Энергетические	
0	0	$\frac{v}{g}$	$\frac{v\rho_s}{g}$	0
0	1	$\frac{v}{g}$	$\frac{v\rho_s}{g}$	v
1	0	t	$\rho_c t$	0
1	1	$t + \frac{v}{g}$	$\rho_c t + \frac{v\rho_s}{g}$	v

Пусть из N массивов данных k являются пригодными. Тогда разность Δt_{1-0}^k между временными затратами при решениях $u = 1$ и $u = 0$ составит:

$$\Delta t_{1-0}^k = k \left(t + \frac{v}{g} \right) + (N - k)t - N \frac{v}{g} = k \frac{v}{g} + N \left(t - \frac{v}{g} \right),$$

а разность Δe_{1-0}^k между энергетическими затратами при этих решениях будет

$$\begin{aligned} \Delta e_{1-0}^k &= k \left(\rho_c t + \frac{v\rho_s}{g} \right) + (N - k)\rho_c t - N \frac{v\rho_s}{g} = \\ &= k \frac{v\rho_s}{g} + N \left(\rho_c t - \frac{v\rho_s}{g} \right). \end{aligned}$$

Тогда условия предпочтения выбора решения $u = 1$:

- по времени $k < N \left(1 - \frac{tg}{v} \right)$;
- по энергетике $k < N \left(1 - \frac{tg\rho_c}{v\rho_s} \right)$.

Совместное выполнение этих двух условий совпадет с первым при $\rho_c/\rho_s < 1$ или со вторым в противном случае.

Введем обозначения: $\alpha_t = N \left(1 - \frac{tg}{v} \right)$ и $\alpha_e = N \left(1 - \frac{tg\rho_c}{v\rho_s} \right)$.

Отметим на отрезке $[0, N]$ точки α_t и α_e для условий $\rho_c/\rho_s < 1$ и $\rho_c/\rho_s > 1$. На рисунке 1 показаны области значений количества k пригодных массивов данных, при которых однозначно предпочтение решений $u = 1$ и $u = 0$, а также заштрихованные области, где соответствующее решение дает преимущество во временных затратах, но не дает его в энергетических или наоборот.

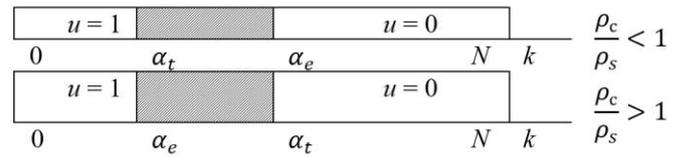


Рис. 1. Области предпочтительных решений

Для принятия решения относительно стратегии организации информационных процессов при $k \in [\alpha_t, \alpha_e]$ или $k \in [\alpha_e, \alpha_t]$ (заштрихованные области на рисунке 1) следует определить значимость $\beta \in [0, 1]$ временных потерь над энергетическими. При $\beta = 0$ будем полагать временные потери абсолютно незначимыми, по сравнению с энергетическими, а при $\beta = 1$ — наоборот.

Тогда в случае $\rho_c/\rho_s < 1$ попадание k в область $[\alpha_t, \alpha_t + (\alpha_e - \alpha_t)\beta]$ обуславливает выбор решения $u = 1$, а попадание в область $[\alpha_t + (\alpha_e - \alpha_t)\beta, \alpha_e]$ — решения $u = 0$.

В случае $\rho_c/\rho_s > 1$ попадание k в область $[\alpha_e, \alpha_e + (\alpha_t - \alpha_e)(1 - \beta)]$ предполагает выбор решения $u = 1$, а попадание в область $[\alpha_e + (\alpha_t - \alpha_e)(1 - \beta), \alpha_t]$ — решения $u = 0$.

Так как значение k априори неизвестно, найдем соотношение размера области на рисунке 1, где предпочтительнее решение $u = 1$, к размеру области, где предпочтительнее решение $u = 0$. Будем полагать, что если величина области, соответствующей решению $u = 0$ или $u = 1$, превышает половину величины отрезка $[0, N]$, то целесообразно принимать именно это решение.

При $\rho_c/\rho_s < 1$ если $\alpha_t + (\alpha_e - \alpha_t)\beta > N/2$, то следует принять решение $u = 1$, иначе – решение $u = 0$.

При $\rho_c/\rho_s > 1$ если $\alpha_e + (\alpha_t - \alpha_e)(1 - \beta) > N/2$, то следует принять решение $u = 1$, иначе – решение $u = 0$.

На основании вышеизложенного математического аппарата разработан алгоритм выбора стратегии организации информационных процессов в автономных подвижных объектах.

АЛГОРИТМ ВЫБОРА СТРАТЕГИИ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТАХ

Алгоритм формализует описанную выше стратегию организации информационных процессов в автономных подвижных объектах.

- Шаг 1. Начало.
- Шаг 2. Ввод исходных данных:
 t — время обработки одного массива данных;
 N — количество массивов данных;
 ρ_c — потребляемая мощность БВС;
 ρ_s — потребляемая мощность передатчика;
 g — пропускная способность передатчика;
 v — размер передаваемого массива данных;
 β — значимость временных потерь над энергетическими.
- Шаг 3. $\alpha_t := N \left(1 - \frac{tg}{v} \right)$.
- Шаг 4. $\alpha_e := N \left(1 - \frac{tg\rho_c}{v\rho_s} \right)$.
- Шаг 5. Если $\rho_c/\rho_s > 1$, то переход на шаг 8.

Шаг 6. Если $\alpha_t + (\alpha_e - \alpha_t)\beta > N/2$, то $u := 1$,
иначе — $u := 0$.

Шаг 7. Переход на шаг 9.

Шаг 8. Если $\alpha_e + (\alpha_t - \alpha_e)(1 - \beta) > N/2$, то $u := 1$,
иначе — $u := 0$.

Шаг 9. Выдача результата (u).

Шаг 10. Конец.

Достоинством представленного алгоритма является его простота, алгоритм является линейным.

Величина значимости β временных потерь над энергетическими определяется на основе экспертного мнения с учетом конкретных условий функционирования автономного объекта.

Если часть исходных данных, например время обработки одного массива данных, имеет стохастический характер, то обоснованность формируемого решения будет также иметь вероятностный характер.

Другой подход к формальному определению величины β связан с оцениванием соотношения потребного и имеющегося временного и энергетического ресурсов КА.

Пусть известны величины $\chi_e = \frac{e_{\text{треб}}}{e_{\text{доп}}}$ и $\chi_t = \frac{t_{\text{треб}}}{t_{\text{доп}}}$, где $e_{\text{доп}}$

и $e_{\text{треб}}$ — допустимый и потребный энергетический ресурс КА соответственно, а $t_{\text{доп}}$, $t_{\text{треб}}$ — допустимый и потребный ресурсы времени соответственно. Тогда величина значимости β может быть определена как $\beta = \frac{\chi_t + 1 - \chi_e}{2}$.
С учетом данных таблицы 1 в качестве оценок потребных временных и энергетических ресурсов ресурсов можно использовать величины $\chi_t = t + v/g$ и $\chi_e = \rho_c t + \frac{v\rho_s}{g}$ соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый подход к выбору стратегии организации информационных процессов в автономных объектах позволяет определить целесообразность предварительной обработки целевой информации на борту автономного объекта при полной неопределенности данных о пригодности собранной информации для ее целевого использования.

Представленный простой алгоритм формирует одну из двух возможных стратегий организации информационных процессов: предварительную обработку всех собранных и

передаваемых данных или отказ от их предварительной обработки.

Рассмотренный подход может быть применен в различных прикладных областях при принятии решений, основанных на компромиссе между возможными потерями ресурсов на анализ информации и издержками на предоставление некачественной информации.

В числе современных результатов по тематике предложенной статьи рекомендуем исследователям для ознакомления статьи [4–6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Аппаратура высокого разрешения для перспективного космического аппарата «Ресурс-ПМ» / А. И. Бакланов, В. Д. Блинов, И. А. Горбунов, [и др.] // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королёва (национального исследовательского университета). 2016. Т. 15, № 2. С. 30–35. DOI: 10.18287/2412-7329-2016-15-2-30-35.

2. Балдин, К. В. Управление рисками: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям экономики и управления / К. В. Балдин, С. Н. Воробьев. — Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. — 511 с.

3. Шкурко, В. Е. Управление рисками проектов: Учебное пособие / В. Е. Шкурко; М-во образования и науки РФ; Уральский федеральный ун-т. — Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2014. — 184 с.

4. Модели и методы исследования информационных систем: Монография / А. Д. Хомоненко, А. Г. Басыров, В. П. Бубнов, [и др.]; под ред. А. Д. Хомоненко. — Санкт-Петербург: Лань, 2019. — 204 с. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

5. Energy Efficient Optimization for Computation Offloading in Fog Computing System / Z. Chang, Z. Zhou, T. Ristaniemi, Z. Niu // Proceedings of the IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2017) (Singapore, 04–08 December 2017). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. — 7 p. DOI: 10.1109/GLOCOM.2017.8254207.

6. Daraseliya, A.V. Optimization of Mobile Device Energy Consumption in a Fog-Based Mobile Computing Offloading Mechanism / A. V. Daraseliya, E. S. Sopin // Discrete and Continuous Models and Applied Computational Science. 2021. Vol. 29, No. 1. Pp. 53–62.

DOI: 10.22363/2658-4670-2021-29-1-53-62.

Strategy for Organizing Information Processes in Autonomous Mobile Objects Based on Minimizing Energy and Time Costs

PhD A. G. Basyrov, I. V. Stepanov
Mozhaisky Military Space Academy
Saint Petersburg, Russia
Vka_24kaf@mil.ru

M. N. Lupashko
533 Military Representation
of the Ministry of Defense of the Russian Federation
Saint Petersburg, Russia

Abstract. The article presents an approach to choosing a strategy for organizing information preliminary onboard processing and issuing target information on board computing systems of small spacecraft. An algorithm is proposed of organizing processes — information processes based on minimizing energy — time losses. Recommendations are given on the organization of preliminary on-board processing of target information in the computing systems of autonomous objects.

Keywords: onboard computer system, onboard information processing, energy-time resource.

REFERENCES

1. Baklanov A. I., Blinov V. D., Gorbunov I. A., Zabiyaikin A. S., Malakhov I. A. High Resolution Equipment for the Future Spacecraft «Resource-PM» [Apparatura vysokogo razresheniya dlya perspektivnogo kosmicheskogo apparata «Resurs-PM»], *Vestnik of the Samara State Aerospace University [Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta]*, 2016, Vol. 15, No. 2, Pp. 30–35. DOI: 10.18287/2412-7329-2016-15-2-30-35.
2. Baldin K. V., Vorobiev S. N. Risk management: Study guide [Upravlenie riskami: Uchebnoe posobie]. Moscow, UNITI-DANA Publishing House, 2012, 511 p.

3. Shkurko V. E. Project risk management: Study guide [Upravlenie riskami proektov: Uchebnoe posobie]. Yekaterinburg, Yeltsin Ural Federal University, 2014, 184 p.

4. Khomonenko A. D., Basyrov A. G., Bubnov V. P., et al. Models and methods of research of information systems: Monography [Modeli i metody issledovaniya informatsionnykh system: Monografiya], St. Petersburg, LAN Publishing House, 2019, 204 p.

5. Chang Z., Zhou Z., Ristaniemi T., Niu Z. Energy Efficient Optimization for Computation Offloading in Fog Computing System, *Proceedings of the 2017 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Singapore, December 04–08, 2017*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017, Pp. 1–6. DOI: 10.1109/GLOCOM.2017.8254207.

6. Daraseliya A. V., Sopin E. S. Optimization of Mobile Device Energy Consumption in a Fog-Based Mobile Computing Offloading Mechanism, *Discrete and Continuous Models and Applied Computational Science*, 2021, Vol. 29, No. 1, Pp. 53–62. DOI: 10.22363/2658-4670-2021-29-1-53-62.

Информационно-аналитические методы социотехнической системы на основе концепции Умного города

д.т.н. А. Д. Хомоненко, к.т.н. Н. В. Иванова
Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия
khomon@mail.ru, nivanova@pgups.ru

доктор философии Х. Руохомаа
Университет прикладных наук Хямеэнлинна (НАМК)
Хямеэнлинна, Финляндия
heikki.ruohomaa@hamk.fi

Аннотация. Рассматриваются вопросы, связанные с различными методами анализа показателей и данных социально-технических систем для оптимизации выбора стратегии взаимодействия граждан и организаций с техническими системами (сенсоры, видекамеры, роботы, компьютерные и мобильные устройства, а также информационные технологии). Затрагивается период цифровой трансформации и реализации концепции Умного города внутри умной экосистемы, функциональная совместимость социологических и технических компонентов с одной стороны, слияние данных между разнородными компонентами из разных областей с другой стороны. Рассматриваются важные аспекты объединения и применения социотехнической аналитики на протяжении всего жизненного цикла Умного города. В статье также уделяется внимание факторам риска, связанным с деятельностью граждан, организаций, административных и финансовых структур на примере выбора концепции Умного города. Информационно-аналитические методы оценки, выбора и реализации концепции Умного города демонстрируются на примерах международных проектов, проводимых международными консорциумами.

Ключевые слова: социотехнический подход, концепция Умного города, латентно-семантический анализ, показатели качества, информационно-аналитические методы, цифровая трансформация.

ВВЕДЕНИЕ

Цифровая трансформация и реализация принципов Индустрии 4.0 обнаруживают значительные проблемы, объединяющие движущие силы и ключевые технологии, позволяющие рассматривать и комбинировать технологические, организационные и управленческие направления как единую экосистему. В ближайшем будущем компьютеры будут не только объединяться, но и взаимодействовать друг с другом, чтобы в конечном итоге принимать тривиальные решения без участия человека, а также помогать людям принимать решения в сложных ситуациях. Все, включая виртуальный и физический мир, будет связано и изменит не только целые экономики и общества, но также и поведение людей. В этом случае особого внимания заслуживает социотехнический подход, принципы которого могут быть полезны для установления соответ-

ствия между технологическими и социальными компонентами системы, а также организации их взаимосвязи и интерактивности.

Социально-техническая система — это сеть взаимосвязанных элементов, состоящая из групп людей и технологий, которая функционирует как одна простая или сложная система, предназначенная для достижения определенных целей.

Основная идея состоит в возможности объединения существующих методов анализа и диагностики (как из области математики, так и из области социальных наук) для анализа ситуации, лучшего понимания и организации процесса взаимодействия социума, его дальнейшее существование и развитие вместе с новыми интеллектуальными и цифровыми устройствами на протяжении всего жизненного цикла.

В данном случае чрезвычайно важно понимать преимущества, возможности, а также недостатки и возникающие в связи с этим угрозы и риски нашего Умного будущего на основе сочетания и анализа социологических и технических аналитических данных.

Одним из примеров реализации социотехнического подхода является концепция Умного города, которая может объединить технологии, взаимосвязи правительства и различных слоев общества, используя технологические инструменты, такие как Интернет вещей (IoT) и искусственный интеллект (AI).

КОНЦЕПЦИЯ УМНОГО ГОРОДА КАК РЕАЛИЗАЦИЯ СОЦИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Концепция Умного города представляет новые способы организации городских функций и городской жизни в экологических и других целях, основанные на цифровизации [1] и вытекающие из пересечения исследований урбанизма и информационных и коммуникационных технологий (ИКТ), главным образом для улучшения качества жизни людей [2]. В связи с этим в настоящее время актуальным является рассмотрение и анализ Умного города как социально-технической системы и размышления о том, как организовать жизнь горожан в мегаполисе с использованием и реализацией данной концепции.

Основные составляющие будущего Умного города, а также их новые роли представлены на рисунке 1. Все это, совместно с экосистемами, образованными Умными городами, создает основу для развития городских территорий нового типа. Стратегия Умного города основана на следующих умных технологиях: датчики Интернета вещей, видеокамеры, социальные сети, другие входы и работает как нервная система, предоставляя городскому оператору и гражданам обратную связь в режиме онлайн, чтобы они могли принимать обоснованные решения на основе анализа больших данных.



Рис. 1. Основные компоненты будущего Умного города, адаптированные из [3]

На рисунке 2 представлены основные интеллектуальные технологии для реализации концепции Умного города, а социотехнический подход может показать, как интеллектуальные технологии могут помочь обществу, сделать технические системы и технологии более эффективными и успешно объединить общество, а также технологии в социально-технические экосистемы.

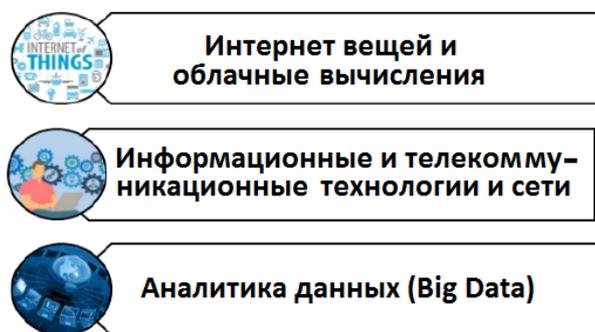


Рис. 2. Основные интеллектуальные технологии для реализации концепции Умного города

В то же время Умный город можно рассматривать не только как социально-техническую систему, но и как социально-киберфизическую систему (СКФС), которая представляет собой концепцию информационных технологий, подразумевающую интеграцию вычислительных ресурсов

в физические объекты любого вида, включая биологические и искусственные объекты [4, 5]. В киберфизических системах вычислительная составляющая распределена по всей физической системе, которая является ее носителем, и синергетически связана с составляющими ее элементами.

ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР И СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА И УСТРОЙСТВА

Подход СКФС позволяет понять взаимосвязь между человеком и интеллектуальными устройствами в концепции Умного города. Все киберфизические системы работают для людей и поддерживаются людьми, обеспечивая взаимосвязь между людьми и интеллектуальными устройствами. В связи с этим учет социальных аспектов в их развитии при разработке и эксплуатации делает эти системы намного более эффективными. Основные проблемы взаимодействия задач СКФС связаны с разными типами коммуникаций (рис. 3).



Рис. 3. Основные типы взаимодействия в СКФС

Разработка мультимодальных интерфейсов для взаимодействия смарт-устройств с человеком — это достаточно важный технологический процесс, требующий социально-технического подхода. Названные мультимодальные интерфейсы основаны на таких технологиях, как:

- интерпретация речи человека,
- интерпретация человеческих жестов,
- интерпретация взгляда человека,
- модели движения человека,
- и другие поведенческие сигналы.

Такая организация мультимодального взаимодействия требует ориентированного на человека подхода для устранения недостатков взаимодействия между интеллектуальными устройствами и человеком, а также решения основной проблемы СКФС — повышения надежности за счет дублирования информации по нескольким каналам.

К соответствующим задачам СКФС в соответствии с типом коммуникации относятся:

- планирование и навигация по ранее неизвестной территории;
- проблема расходования энергии;
- безопасность;
- антропоморфные (гуманоидные) манипуляции;
- интуитивно понятные человеко-машинные интерфейсы для реализации взаимодействия; общение между человеком, роботом или СКФС.

Очень важно понимать особенности человеческого поведения в концепции Умного города, разделяющей человеческое измерение на два уровня:

1. **Микроуровень.** Взаимодействие людей с умными технологиями, другой компанией и другими людьми, следовательно, область исследований Человеческого Фактора (заглавными буквами) в традиционном смысле, но также и организационные исследования, исследования коммуникации и, возможно, другие.

2. **Макроуровень.** Взаимодействие между интеллектуальными отраслевыми институтами, выполняемое их членами / персоналом, как было проанализировано политологией, политической экономией, историей экономики и технологий или организационными исследованиями.

Различие между микро- и макроуровнями оказалось полезным при анализе больших данных.

СОЦИАЛЬНАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ АНАЛИТИКА
НА ПРОТЯЖЕНИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА
СУЩЕСТВОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ УМНОГО ГОРОДА

В теоретической основе на этом этапе важно обеспечить готовность к изменениям путем разработки инноваций и определения инновационного процесса во всех секторах/отраслях, поскольку инновации часто будут происходить на стыке разных секторов/отраслей. В то же время необходимо понимать и учитывать человеческий поведенческий фактор в процессе изменения бизнес-ландшафта. Реализация полного обещания Умного города внутри умной экосистемы потребует взаимодействия социально-технических компонентов с одной стороны, а также слияния данных между разнородными компонентами из разных областей с другой стороны, например сочетания социотехнической аналитики на протяжении жизненного цикла Умного города (рис. 4).



Рис. 4. Социальная и техническая аналитика в жизненном цикле Умного города (аналитика данных и статистика)

Используя принципы SWOT-анализа, например на основе данных из социальных и медиа-источников, а также из источника данных IoT, можно понять текущую ситуацию в отношении предыдущих результатов Умного города, касающихся обратимости и взаимосвязи социальной и технической составляющих на протяжении всего жизненного цикла. Можно понять четкую картину, касающуюся сложностей и благоприятных моментов в реализации концепции Умного города и социально-технического взаимодействия.

ПОДХОД К ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ИЗ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ОБЩЕСТВЕННОГО МНЕНИЯ
И ИНДИКАТОРЫ УМНОГО ГОРОДА

Рассмотрим подход к обработке данных из социальных сетей для выявления общественного мнения о внедрении умных сервисов на протяжении всего жизненного цикла. Одним из важных индикаторов состояния социально-технической взаимосвязи при реализации концепции Умного города является общественное мнение (ОМ). Мониторинг и анализ ОМ — важный и актуальный инструмент управления, который активно используется различными статистическими и аналитическими агентствами и организациями. Такой подход предлагается для выявления общественного мнения об услугах Умного города на основе больших данных, извлеченных из социальных сетей. Приводятся выводы по работе, рекомендации по использованию полученных результатов.

Анализ данных факторов, влияющих на ОМ, позволяет выявить области, вызывающие наибольшую озабоченность у населения города, показатели, определяющие преимущества и недостатки внедрения интеллектуальных технологий, социально-техническую взаимосвязь с учетом поведенческого фактора, в том числе этапов идентификации ОМ с помощью интеллектуальных технологий в течение всего жизненного цикла (рис. 5).



Рис. 5. Этапы идентификации общественного мнения и анализ полученных данных

Подход к обработке данных в основном основан на латентно-семантическом анализе (ЛСА) и автоматическом обнаружении семантических связей между документами [6] и состоит из пяти шагов (рис. 5). Интеллектуальные индикаторы для анализа на основе международных стандартов представлены в таблице 1 [7].

Таблица 1

Индикаторы Умного города	
№	Группа индикаторов
1	Услуги для граждан
2	Эффективное управление
3	Живая среда
4	Умный объект
5	Информационный ресурс
6	Кибербезопасность

ЭТАПЫ ПОДХОДА К ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ИЗ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОБЩЕСТВЕННОГО МНЕНИЯ И ИНДИКАТОРОВ УМНОГО ГОРОДА

Реализация подхода к обработке данных состоит из шести этапов.

1. Формирование матрицы A терм-документ, элементы матрицы содержат частоту использования термов в документах.

2. Декомпозиция матрицы A терм-документа на произведение трех матриц:

$$A = USV^T,$$

где A — исходная матрица, U и V^T — ортогональные матрицы, S — матрица, на диагонали которой находятся сингулярные коэффициенты.

Метод ЛСА отображает документы и отдельные слова в «семантическое пространство», в котором и производятся все сравнения. В результате получаем подмножество текстов из единого пространства.

3. Выявление машинно-сформированных текстов. Синтетические тексты не дают реальную картину ОМ, исключение их из анализа улучшает действительный результат.

Входной текст, представленный в виде вектора a' , считается принадлежащим тому классу текстов, расстояние до которого является минимальным, но не превышающим заданного порогового значения l . Тогда определение происхождения текста есть задача, которую формально можно описать следующим образом:

$$V = (a', A) = \min[D(a', a_i)], i = 1 \dots n,$$

$$a' = (a'_1, a'_2, \dots, a'_m).$$

Принимается решение о том, что входной текст отнесен к i -му классу, если выполняется выражение:

$$V = (a', A) = D(a', a_i), V(a', A) \leq l.$$

Для формализации этой задачи вводятся дополнительные обозначения:

– a' — набор рассчитанных значений текстовых характеристик некоторого входного текста t , происхождение которого требуется определить, $t \in T$;

– $V(a', A)$ — мера оценки принадлежности входного текста к классу текстов с известным происхождением;

– $D(a', a_i)$ — мера расстояния между входным текстом и i -м классом текстов известного авторства, представляемая как мера расстояния между векторами a' и a_i ;

– l — пороговое значение расстояния между вектором значений текстовых характеристик входного текста a' и вектора-инварианта i -го класса текста с известным происхождением a_i , такое, что значение максимальное значение меры $D(a', a_i)$ не должно превышать l при $i = 1, \dots, n$ [2].

4. Кластеризация текстов по признаку машинной генерации продолжает процедуру очистки данных.

5. Классификация текстовых фрагментов по тональности. Для повышения качества анализа необходимо провести кластеризацию текстов обратной связи по тональности. Это позволяет ограничить поиск информации небольшим набором документов.

При решении задач автоматической классификации текстов используются следующие методы:

- информационный поиск (IR),
- машинное обучение (ML).

Используется менее строгая кластеризация (чем обычный алгоритм K -means) на основе алгоритма c -means, потому что мы имеем дело с отзывами. Особенностью алгоритма является использование нечеткой матрицы принадлежности. Требуется выбрать коэффициент нечеткости и количество кластеров.

С учетом отмеченного выше для расчета центров кластеров используется формула вида

$$c_i^{(t)} = \sum_{j=1}^d (u_{ij}^{(t-1)})^w m_j / \sum_{j=1}^d (u_{ij}^{(t-1)})^w, 1 \leq i \leq c.$$

Здесь (в нашем случае) приняты следующие значения: экспоненциальный вес (w) равен 2, число кластеров равно 3 (отрицательный, положительный, нейтральный).

6. Обработка данных. Построена на общей выборке всех кластеров, проводится частотный анализ эмпирически выведенных показателей эффективности. Для каждого из них составлен словарь синонимов, синонимических словосочетаний, характерных для языка рассматриваемой аудитории (студентов и старшеклассников). Оценка каждого фактора производилась по степени принадлежности к одному из кластеров.

ПРИМЕР СОЦИОТЕХНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ИЗ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ, SWOT- и PEST-АНАЛИЗА.

Оценка текущего общественного мнения о реализации концепции Умного города может быть дана на основе отзывов специалистов-исследователей, бизнес-сообществ и представителей власти, опубликованных на интернет-ресурсах. После всех процедур очистки и повышения качества извлеченных данных проводится частотный анализ слов в текстах.

Весь массив текстов можно разделить на три группы, например:

- вопросы специалистов-исследователей (это могут быть анкеты);
- отзывы бизнес-сообществ;
- представители правительства.

Каждый вопросник состоит из вопросов, касающихся внедрения каждой из интеллектуальных технологий, которые измеряются с помощью интеллектуальных индикаторов (см. табл. 1) и социальной и технической аналитики на протяжении жизненного цикла Умного города на основе анализа SWOT и PESTEL (см. рис. 4).

Инструмент программирования, позволяющий проводить анализ на протяжении всего жизненного цикла реализации концепции Умного города, может быть создан, использован и поддерживает внедрение новых технологий.

Основные результаты SWOT-анализа Smart cities, в котором перечислены факторы с наивысшими значениями воздействия в каждом из разделов (сильные и слабые стороны, возможности и 19 угроз), представлены на рисунке 6 для каждого индикатора таблицы 1.

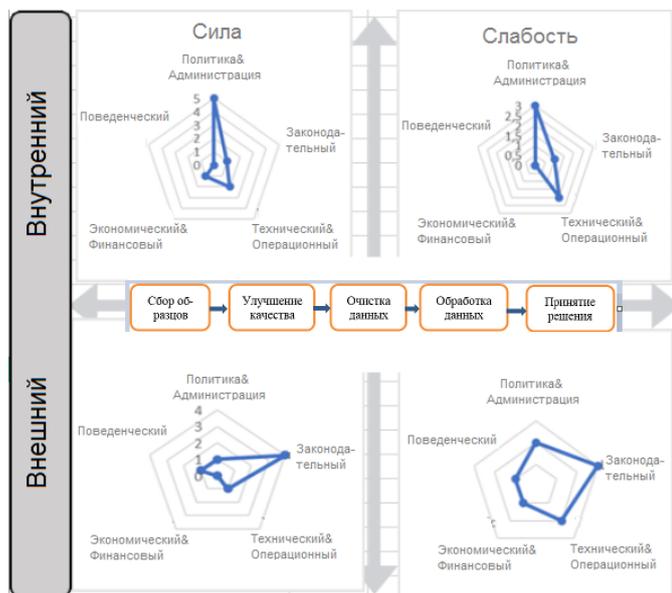


Рис. 6. Пример социальной и технической аналитики на протяжении жизненного цикла Умного города

УМНЫЙ ГОРОД: ФАКТОРЫ РИСКА И ПОСЛЕДСТВИЯ

По данным Организации Объединенных Наций, к 2020 году в Умных городах будет 50 миллиардов устройств, подключенных к Интернету. Такое количество подключенных устройств также имеет свои недостатки: это приводит к значительному снижению конфиденциальности, поскольку в любое время возможно знать, где находятся граждане, что они делают, с кем они и т. д.

Это также приводит к серьезным киберрискам, которые можно проанализировать с помощью вышеупомянутых подходов. Нет сомнений в преимуществах Умных городов, но следует помнить, что их развитие должно идти рука об руку с полной и 100% надежной защитой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные в этой статье концепция построения Умного города и подходы к организации взаимодействия между участниками Умного города могут быть использованы для повышения эффективности и безопасности его существования и развития. Для получения исходных данных для улучшения жизни Умного города целесообразно использовать оценку текущего общественного мнения на основе отзывов специалистов-исследователей, бизнес-сообществ и представителей власти, опубликованных на интернет-ресурсах. Реализация всех перспектив развития концепции Умного города внутри умной экосистемы потребует объединения социальной и технической аналитики на протяжении всего жизненного цикла существования и развития Умного города, базируемой на методах аналитики данных и статистики, математических методах поддержки принятия решений, информационной аналитике (бизнес-аналитике), методах SWOT, PESTEL, SHELL анализа [8, 9] и анализа показателей и т. д. Только сочетание социальных подходов и методов анализа данных с принципами, методами и средствами исследования сложных технических объектов поможет успешно реализовать концепцию Умного города, направленную на комфортное существование человека и поддержку его жизнедеятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Öberg, C. Smart Cities: A Literature Review and Business Network Approach Discussion on the Management of Organisations / C. Öberg, G. Graham, P. Hennelly // IMP Journal. 2017. Vol. 11, No. 3. Pp. 468–484. DOI: 10.1108/imp-06-2015-0024.
2. Increasing Collaboration and Participation in Smart City Governance: A Cross-Case Analysis of Smart City Initiatives / G. V. Pereira, M. A. Cunha, T. J. Lampoltshammer, [et al.] // Information Technology for Development. 2017. Vol. 23, No. 3. Pp. 526–553. DOI: 10.1080/02681102.2017.1353946.
3. Transformation Processes in Metropolitan Development: A study visit to Colombia — November 2016 / S. S. Guzman, R. Giffinger, et al. (eds). — Wien: Die Stadtdrucker. Ueberreuter Print & Packaging GmbH, 2017. — 204 p.
4. Horvath, I. What the Design Theory of Social-Cyber-Physical Systems Must Describe, Explain and Predict? // An Anthology of Theories and Models of Design: Philosophy, Approaches and Empirical Explorations / A. Chakrabarti, L. T. M. Blessing (eds). — London: Springer-Verlag, 2014. — Pp. 99–120. DOI: 10.1007/978-1-4471-6338-1_5.
5. Shcherbakova, E. Problems of Socio-Cyber-Physical Systems Development and Implementation: State-of-Art and Directs of Research / E. Shcherbakova, B. Sokolov // Applied Informatics and Cybernetics in Intelligent Systems: Proceedings of the 9th Computer Science On-line Conference (CSOC 2020), Vol. 3 (Zlin, Czech Republic, 15 July 2020). Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 1226 / R. Silhavy (eds). — Cham: Springer Nature, 2020. — Pp. 596–606. DOI: 10.1007/978-3-030-51974-2_55.
6. Подход к обработке данных из социальных сетей для выявления общественного мнения о качестве образовательных услуг / А. Д. Хомоненко, В. Л. Дашонок, Д. Т. Касьмова, К. А. Иванова // XX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2017): Сборник докладов (Санкт-Петербург, Россия, 24–26 мая 2017 г.). — Санкт-Петербург: ЛЭТИ, 2017. — Т. 2. — С. 493–496.
7. ISO/IEC 30146:2019. Information technology — Smart city ICT indicators. — 18 p. URL: <http://www.iso.org/standard/70302.html> (дата обращения 16.11.2020).
8. Nandonde, F. A. A PESTLE analysis of international retailing in the East African Community // Global Business and Organizational Excellence. 2019. Vol. 38, Is. 4. Pp. 54–61. DOI: 10.1002/joe.21935.
9. SWOT Analysis — Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats // Mind Tools. URL: http://www.mindtools.com/pages/article/newTMC_05.htm (дата обращения 30.11.2020).

Informational-Analytic Methods for Sociotechnical System on the Basic of Smart City Concept

Grand PhD A. D. Khomonenko, PhD N. V. Ivanova
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
Saint Petersburg, Russia
khomon@mail.ru, nivanova@pgups.ru

PhD H. Ruohomaa
Häme University of Applied Sciences (HAMK)
Hämeenlinna, Finland
heikki.ruohomaa@hamk.fi

Abstract. The issues related to various methods of analyzing indicators and data of socio-technical systems to optimize the choice of a strategy for interaction of citizens and organizations with technical systems (sensors, video cameras, robots, computer and mobile devices, as well as information technologies) during the period of digital transformation and implementation of Smart City concept inside smart ecosystem interoperability socio and technical components form one hand, and data fusion between heterogeneous components from different areas from another hand combining of socio and technical analytics throughout Smart City Life Cycle are considered. In article risk factors related to the activities of citizens, organizations, administrative and financial structures are also touched upon by the example of the choice of the Smart City concept. Methods of analysis, selection and implementation of the concept of a smart city are demonstrated using examples of the experience of international projects in the field of application of various methods of analysis.

Keywords: socio-technical approach, smart city concept, latent-semantic analysis, quality indicators, informational-analytic methods, digital transformation.

REFERENCES

1. Öberg C., Graham G., Hennelly P. Smart Cities: A Literature Review and Business Network Approach Discussion on the Management of Organisations, *IMP Journal*, 2017, Vol. 11, No. 3, Pp. 468–484. DOI: 10.1108/imp-06-2015-0024.
2. Pereira G. V., Cunha M. A., Lampoltshammer T. J., et al. Increasing Collaboration and Participation in Smart City Governance: A Cross-Case Analysis of Smart City Initiatives, *Information Technology for Development*, 2017, Vol. 23, No. 3, Pp. 526–553. DOI: 10.1080/02681102.2017.1353946.
3. Guzman S. S., Giffinger R., et al. (eds) Transformation Processes in Metropolitan Development: A study visit to Colombia — November 2016. Wien, Die StadtDrucker. Ueberreuter Print & Packaging GmbH, 2017, 204 p.
4. Horvath I. What the Design Theory of Social-Cyber-Physical Systems Must Describe, Explain and Predict? In: Chakrabarti A., Blessing L. T. M. (eds) *An Anthology of Theories and Models of Design: Philosophy, Approaches and Empirical Explorations*. London, Springer-Verlag, 2014, Pp. 99–120. DOI: 10.1007/978-1-4471-6338-1_5.

5. Shcherbakova E., Sokolov B. Problems of Socio-Cyber-Physical Systems Development and Implementation: State-of-Art and Directs of Research. In: R. Silhavy (eds) *Applied Informatics and Cybernetics in Intelligent Systems: Proceedings of the 9th Computer Science On-line Conference (CSOC 2020), Zlin, Czech Republic, July 15, 2020, Volume 3. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 1226. Cham, Springer Nature, 2020, Pp. 596–606.

DOI: 10.1007/978-3-030-51974-2_55.

6. Khomonenko A. D., Dashonok V. L., Kassymova D. T., Ivanova K. A. Approach to Processing Data from Social Networks for Detecting Public Opinion on the Quality of Educational Services [Podkhod k obrabotke dannykh iz sotsial'nykh setey dlya vyyavleniya obshchestvennogo mneniya o kachestve obrazovatel'nykh uslug], *Proceeding of the XXIV International Conference on Soft Computing and Measurement (SCM-2017) [XX Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam: Sbornik dokladov]*, St. Petersburg, Russia, May 24–26, 2017, Volume 2. St. Petersburg, Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", 2017, Pp. 493–496.

7. ISO/IEC 30146:2019. Information technology — Smart city ICT indicators. 18 p. Available at: <http://www.iso.org/standard/70302.html> (accessed 16 Nov 2020).

8. Nandonde F. A. A PESTLE analysis of international retailing in the East African Community, *Global Business and Organizational Excellence*, 2019, Vol. 38, Is. 4, Pp. 54–61. DOI: 10.1002/joe.21935.

9. SWOT Analysis — Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats, *Mind Tools*. Available at: http://www.mindtools.com/pages/article/newTMC_05.htm (accessed 30 Nov 2020).

Стохастическая модель процесса токо съема с контактной сети токоприемника электроподвижного состава при высоких скоростях движения

В. В. Литвинова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина)
Санкт-Петербург, Россия
vlitvinova78@gmail.com

В. В. Моисеев, Е. В. Рунёв

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия
moiseev_v_i@list.ru, jr_2010@mail.ru

Аннотация. В работе предложена стохастическая модель отрывов токоприемников от контактной сети. Модель учитывает влияние случайных факторов, которые носят временный, а иногда повторяющийся характер. В рамках модели получены оценки параметров, при которых возникают экстремальные ситуации, вызванные нарушением электрического контакта между токоприемником электроподвижного состава (ЭПС) и контактной сетью в результате актов дуговых разрядов. Получены вероятностные характеристики отрывов от контактной сети — период повторяемости, интенсивность отказов, а также их асимптотики.

Ключевые слова: слабое контактное нажатие, функция интенсивности, период повторяемости, асимптотика вероятностей.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальной проблемой, возникающей при эксплуатации электроподвижного состава, является снижение износа контактной сети и продление срока ее службы под воздействием электродуговых разрядов, возникающих при пробое механического контакта.

В современных условиях эксплуатации (мягкие грунты, низкая температура воздуха большую часть года, высокая влажность, обледенение и недостаточное качество обработки поверхности контактной подвески) повысить эластичность контактной подвески не представляется возможным. В результате при движении электроподвижного состава по скоростным магистралям происходят многократные отрывы токоприемника от контактного провода — нарушение механического и электрического контакта, в результате чего возникают дуговые разряды высокой разности потенциалов. Многократно повторяющиеся дуговые разряды приводят к сильному износу поверхности верхнего провода, что приводит к нарушению электрического контакта и к повреждению контактной сети.

Следует отметить, что указанные выше механические и электрические нарушения контакта также приво-

дят к износу тягового оборудования электроподвижного состава [1–3].

Согласно имеющимся статистическим данным о капитальном ремонте контактной сети в различных отделениях Октябрьской железной дороги, периодичность проведения капитального ремонта по замене контактной подвески составляет в среднем от 1,5 до 3 месяцев в зависимости от сезона эксплуатации и трафика магистрали.

В статье предложена стохастическая модель [4–8], позволяющая оценить важные количественные характеристики указанной экстремальной ситуации, которая носит временный и повторяющийся характер. К таким характеристикам относятся функция интенсивности, период повторяемости и вероятность отклонения координаты отрыва от заданного значения. Указанные характеристики позволяют оценить сроки межремонтного обслуживания и вероятности износа воздушных проводов, в том числе обрывов вследствие электродуговых разрядов, оптимизировать сроки и затраты на капитальный ремонт, а также скорректировать план капитального ремонта как магистральных линий, так и отдельных участков дороги [1].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Ключевым объектом при изучении экстремальных ситуаций [4, 5] возникающих в результате обрыва токоприемника от контактного провода, является случайная величина — положение точки отрыва токоприемника на контактном проводе. Характеристиками модели является пара [9–12] (μ_{ξ}, T_{ξ}) , где μ_{ξ} — функция интенсивности отказов, а T_{ξ} — период повторяемости случайной величины ξ . Указанная пара является отправной точкой математической модели, описывающей периодические экстремумы [13].

Координаты точек отрывов между двумя последовательными отрывами токоприемника от контактного провода, которые отклонены от заданного положения на проводе, являются случайными. Среднее значение этих расстояний и является периодом повторяемости. Другим

важным параметром распределения экстремумов является функция интенсивности отказов [4].

**ФУНКЦИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПОЛОЖЕНИЯ ОТРЫВОВ ТОКОПРИЕМНИКА**

Функция интенсивности отказов [4, 6] определяется следующим образом. Рассматривается вероятность события, состоящего в том, что положение токоприемника на контактном проводе будет равно или больше определенного значения s :

$$P(\xi \geq s) = 1 - F_\xi(s), \quad (1)$$

где F_ξ — функция распределения случайной величины ξ .

Условная вероятность того, что положение отрыва токоприемника на контактном проводе будет лежать в пределах интервала $[s, s + \varepsilon)$ при условии, что его значение больше или равно s , что выражается следующей формулой:

$$P(\xi \in [s, s + \varepsilon) | \xi \geq s) = \frac{P(\{\xi \in [s, s + \varepsilon)\} \cap \{\xi \geq s\})}{P(\xi \geq s)} := \\ := \int_s^{s+\varepsilon} \mu_\xi(t) dt. \quad (2)$$

Функция μ_ξ называется функцией интенсивности, или функцией интенсивности отказов. Она определяет вероятность отрыва токоприемника в точке с координатой s правее s на величину ε .

СВОЙСТВА ФУНКЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Из формулы (2), определяющей функцию интенсивности, следует выражение

$$\mu_\xi(t) = \frac{p_\xi(t)}{1 - F_\xi(t)}.$$

Здесь $p_\xi(t) = \frac{dF_\xi}{dt}$ — функция плотности вероятностей распределения ξ .

Функция интенсивности отказов имеет следующие свойства:

1. Если положение отрыва токоприемника принимает значение больше заданного значения s , то есть функция распределения ξ меньше единицы:

$$P(\xi \geq s) > 0 \Rightarrow F_\xi(s) < 1$$

для любого конечного значения s , то $\int_s^{+\infty} \mu_\xi(t) dt$ будет расходящимся при условии, что $\mu_\xi(t) = O\left(\frac{1}{t}\right)$ и сходящимся, если $\mu_\xi(t) = O\left(\frac{1}{t^{1+\delta}}\right)$, $\delta > 0$.

2. Из равенства $\mu_\xi(t) \times [1 - F_\xi(t)] = p_\xi(t)$ следует дифференциальное уравнение, связывающее функцию интенсивности и функцию плотности:

$$\frac{1}{\mu_\xi^2(t)} \times \frac{d\mu_\xi(t)}{dt} - 1 = \frac{1}{p_\xi(t) \cdot \mu_\xi(t)} \times \frac{dp_\xi(t)}{dt}.$$

3. Если x_{mo} — мода распределения, то

$$\frac{d\mu_\xi}{dt}(x_{mo}) = \mu_\xi^2(x_{mo}).$$

Указанные выше свойства позволяют достаточно просто строить функцию интенсивности для моделей, в основе которых лежат модальные распределения. Следует от-

метить, что функция плотности распределения отрывов токоприемника имеет, как правило, одномодальный характер. Это связано с тем, что вероятность отрыва в определенных точках провода ниже в силу механических натяжений и положения центра масс рассматриваемого участка провода.

**ПЕРИОД ПОВТОРЯЕМОСТИ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОТРЫВОВ**

Если рассмотреть серию наблюдений, в которых значение положения отрыва токоприемника превосходит либо равно s , то данное отклонение положения вправо и есть событие, интересующее нас. Обозначим его вероятность $P(\xi \geq s) = 1 - F_\xi(s)$ за p , а вероятность противоположного события — $P(\xi < s) = 1 - p$.

В эксперименте будем рассматривать наблюдения через равные промежутки времени, при этом эксперимент прекратится сразу, как только наступит интересующее нас событие, а именно — отклонение вправо от заданного положения отрыва токоприемника s .

Для интерпретации результатов введем случайную величину X_ξ — количество испытаний до первого отклонения вправо (т. е. $\xi \geq s$), она принимает значения из множества $\{0, 1, 2, \dots\}$. X_ξ подчинена геометрическому распределению с параметром p ($X_\xi \sim G(p)$). Свойства данного распределения известны: ряд распределения $P(X_\xi = k) = p(1 - p)^k$, характеристическая функция $\phi(t) = \frac{p}{1 - e^{it(1-p)}}$, математическое ожидание $EX_\xi = -i \times \phi'(0) = \frac{1-p}{p}$, второй начальный момент $EX_\xi^2 = -\phi''(0) = \frac{(1-p) \times (2-p)}{p^2}$ позволяют найти требуемые параметры модели.

Определим период повторяемости как математическое ожидание $T_\xi := EX_\xi$.

Из определения следует, что для данной модели период повторяемости принимает вид:

$$T_\xi = \frac{F_\xi(s)}{1 - F_\xi(s)}. \quad (3)$$

Из формулы (3) следует, что для периода повторяемости справедлива оценка снизу: $T_\xi > 1$.

Стандартное отклонение от периода повторяемости задается выражением

$$\sigma_\xi := \sqrt{EX_\xi^2 - E^2X_\xi} = \frac{\sqrt{F_\xi(s)}}{1 - F_\xi(s)},$$

или, с использованием формулы (3), примет вид:

$$\sigma_\xi := \sqrt{T_\xi^2 + T_\xi}. \quad (4)$$

Тогда вероятность наступления отклонения отрыва вправо от заданного положения токоприемника до наблюдения с номером k или в номере k :

$$P(X_\xi \leq k) = 1 - (1 - p)^k = 1 - F_\xi^k(s). \quad (5)$$

Если в качестве k выбрать T_ξ , то окончательно для вероятности (5) имеет место выражение:

$$P(X_{\xi} \leq T_{\xi}) = 1 - \left(1 - \frac{1}{1+T_{\xi}}\right)^{T_{\xi}}. \quad (6)$$

Асимптотика вероятности (6) при больших T_{ξ} : $T_{\xi} \rightarrow +\infty$ имеет вид:

$$\lim_{T_{\xi} \rightarrow +\infty} P(X_{\xi} \leq T_{\xi}) = 1 - 1/e \approx 0,63212. \quad (7)$$

Формулы (5), (6) позволяют оценить вероятность отклонения отрыва от заданного положения отрыва токоприемника вправо, с определенными периодами повторяемости. Кроме того, данные формулы позволяют получить состоятельные оценки параметров методом максимального правдоподобия [6]. В качестве модельных распределений целесообразно выбирать мультимодальные распределения:

- для отрывов, локализованных на одном блок-участке, достаточно выбрать унимодальное распределение с плотностью

$$p_{\xi}(t) = f(t - t_0) \times \mathbf{1}_{[0,L]}, \quad (8)$$

где $t_0 \in [0, L]$, L — длина анкерного участка;

- для отрывов, происходящих на протяженном участке, включающем несколько блок-участков достаточно использовать линейные комбинации функций вида (8).

ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ:

СЛУЧАЙ ОДНОГО БЛОК-УЧАСТКА ФИКСИРОВАННОЙ ДЛИНЫ

Функция плотности распределения положения отрывов в этом случае принадлежит к двухпараметрическому семейству $\{(h, t_0)\}$ распределений и имеет вид:

$$p_{\xi}(t; h, t_0) = C[(t - t_0)^2 + h] \times \mathbf{1}_{[0,L]},$$

где $t_0 = L/2$, h — параметр отклонения контактного провода от положения равновесия (может быть определен методом статистического оценивания), $C = \frac{12}{L(L^2+12h)}$ — нормировочная константа.

Функция распределения имеет вид:

$$F_{\xi}(s; h, L) = C \times \left[\frac{1}{3} \times \left(\left(s - \frac{L}{2} \right)^3 + \frac{L^3}{8} \right) + h \times s \right], 0 \leq s \leq L.$$

Период повторяемости в данной модели:

$$T_{\xi}(s; h, L) = \frac{4\left(s - \frac{L}{2}\right)^3 + \frac{3}{2}L^3 + 12sh}{\frac{3}{2}L^3 - 4\left(s - \frac{L}{2}\right)^3 + 12h(L-s)}. \quad (9)$$

Вероятность отклонения отрыва вправо от заданного значения:

$$P(X_{\xi} \leq T_{\xi}(s; h, L)) = 1 - \left(\frac{\frac{3}{2}L^3 + 4\left(s - \frac{L}{2}\right)^3 + 12hs}{3L(L^2 + 4h)} \right)^{T_{\xi}}, \quad (10)$$

где $T_{\xi} = \frac{4\left(s - \frac{L}{2}\right)^3 + \frac{3}{2}L^3 + 12sh}{\frac{3}{2}L^3 - 4\left(s - \frac{L}{2}\right)^3 + 12h(L-s)}$.

Формулы (9), (10) выражают функциональную зависимость периода повторяемости и вероятности наступления отклонения отрыва вправо от заданного положения токоприемника до наблюдения с номером k или в номере k от положения s на контактном проводе, где $0 \leq s \leq L$. Эти функциональные зависимости имеют сложный и про-

мозкий для численных оценок, что особенно важно для приложений, вид. Учитывая наличие симметрии в вероятностной модели, описываемой унимодальным распределением (8), были найдены предельные значения характеристик (9), (10).

1. Предельное значение функции $T_{\xi}(s; h, L)$ при $s \rightarrow +0$.

В результате предельного перехода $s \rightarrow +0$ период повторяемости для левого конца блок-участка имеет вид:

$$T_1(h, L) = \lim_{s \rightarrow +0} T_{\xi}(s; h, L).$$

Здесь

$$T_1(h, L) = \frac{L^2}{2(L^2+12h)} = \frac{1}{2+\frac{24h}{L^2}}. \quad (11)$$

2. Предельное значение $T_{\xi}(s; h, L)$ при $s \rightarrow L/2$.

Для середины блок-участка $s = L/2$ зависимость периода повторяемости от параметров модели будет иметь вид:

$$T_2(h, L) = \lim_{s \rightarrow L/2} T_{\xi}(s; h, L) = 1. \quad (12)$$

3. Предельное значение $T_{\xi}(s; h, L)$ при $s \rightarrow L -$.

Для правого конца блок-участка $s = L$ зависимость периода повторяемости от параметров модели примет вид:

$$T_3(h, L) = \lim_{s \rightarrow L-} T_{\xi}(s; h, L) = \frac{2(L^2+12h)}{L^2} = 2 + \frac{24h}{L^2}. \quad (13)$$

В силу симметрии распределения положения отрывов предельные значения периода повторяемости на правом и левом концах связаны соотношением $T_3(h, L) = T_1^{-1}(h, L)$.

Из (11), (12), (13) следует, что при малых значениях прогиба h : $h \rightarrow 0 +$ период повторяемости принимает следующие значения в соответствующих точках на контактном проводе:

$$T_1(h, L) = 1/2, T_2(h, L) = 1, T_3(h, L) = 2.$$

Графическое изображение данных выше зависимостей приведено на рисунке 1. Здесь принято $L = 1200$ м, тогда $L/2 = 600$ м.

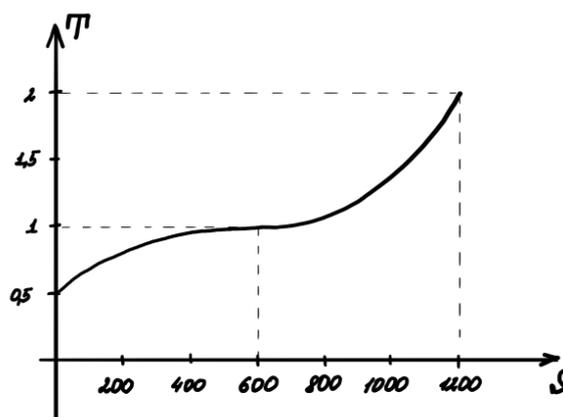


Рис. 1. Зависимость периода повторяемости от координаты точки отрыва на контактном проводе

Данные о предельных значениях периодов повторяемости сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Предельные значения периода повторяемости

Предельное значение $T_j(s; h, L)$	Предельное значение координаты на контактном проводе	Предельное значение при $h \rightarrow 0+$
$T_1(h, L) = \frac{1}{2 + 24h/L^2}$	$s \rightarrow +0$	$T_1(0, L) = 1/2$
$T_2(h, L) = 1$	$s \rightarrow L/2$	$T_2(h, L) = 1$
$T_3(h, L) = 2 + \frac{24h}{L^2}$	$s \rightarrow L - 0$	$T_3(h, L) = 2$

Асимптотические формулы для периода повторяемости рассматриваются на отрезке $s \in [0, L]$, соответствующим длине пролета ($L = 1200$ м). Такая особенность периода повторяемости позволяет прогнозировать периодичность проведения капитальных ремонтных работ по замене изношенных участков сети. Следует отметить, что при эксплуатации сети важна оптимизация затрат на ремонт не только по стоимости выполненных работ, но и по критерию затраченного времени. Последнее означает, что выгоднее ремонтировать несколько секций параллельно (в один период), чем заменять контактный провод последовательно (через некоторое время возвращать ремонтную бригаду на тот же участок). Указанный режим ремонта позволяет существенно снизить затраты на простой подвижного состава. Таким образом, замена хотя бы на один блок-участок приводит к простому достаточно протяженного участка железнодорожной сети, что приводит к экономическим потерям для предприятий, использующих услуги компании «Российские железные дороги» в качестве основного перевозчика.

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ

ОТКЛОНЕНИЯ ОТРЫВА ОТ ЗАДАННОГО ЗНАЧЕНИЯ

Исходя из выражения (10) для вероятностей отклонения отрыва от заданного положения и предельных выражений для периода повторяемости (11), (12), (13) предельные значения вероятностей определяются из выражения

$$P(X_\xi \leq T_j(h, L)) = 1 - \left(1 - \frac{1}{1+T_j(h, L)}\right)^{T_j(h, L)}$$

В предельном случае при малых значениях прогиба h : $h \rightarrow 0+$ имеем:

$$P(X_\xi \leq T_1(h, L)) \rightarrow (3 - \sqrt{3})/3;$$

$$P(X_\xi \leq T_2(h, L)) \rightarrow 1/2;$$

$$P(X_\xi \leq T_3(h, L)) \rightarrow 5/9.$$

Из данных предельных значений для вероятностей следует, что вероятность отклонения отрыва растет с увеличением координаты отрыва.

На рисунке 2 приведен график зависимости вероятности отклонения от координаты s .

Данная зависимость отражает тот факт, что при конечных периодах повторяемости, которые имеют место в реальной ситуации, вероятность отклонения меняется на подмножестве отрезка $[0, 1]$, при этом она не принимает значений, близких к 0 или 1. Вероятность как функция s

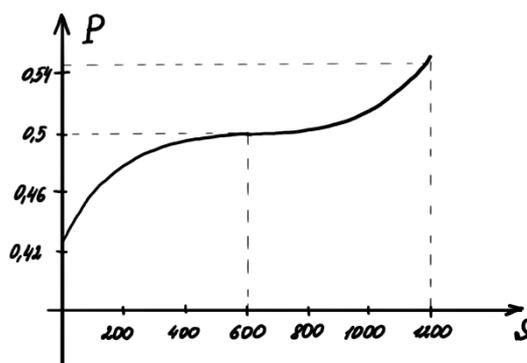


Рис. 2: Зависимость вероятности отклонения от координаты отрыва вдоль контактного провода

медленно меняется на отрезке $[0, L]$, т. е. по длине контактного провода. В точке $L/2$ функция имеет перегиб, что означает увеличение скорости роста функции при приближении к правому концу.

Таким образом, для этой унимодальной двухпараметрической модели (8) предельные значения вероятности $P(X_\xi \leq T_j(h, L))$ при $h \rightarrow 0+$ не зависят от распределений параметров типа (8) и имеют равномерный вид для всего семейства распределений. Локализация значений функции вероятности на отрезке $[0,42; 0,56]$ приводит к высокой точности прогноза периодов износа и капитального ремонта контактной подвески.

ФУНКЦИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ

Функция интенсивности в точке, с координатой, удовлетворяющей условию $x \in (s, s + \varepsilon]$, введенная в формуле (2) для данной модели, выражается следующим образом:

$$\mu_\xi(s; h, L) = \frac{C[(s-L/2)^2+h] \times 1_{[0,L]}}{1-C\left[\frac{1}{3}\left((s-\frac{L}{2})^3 + \frac{L^3}{8}\right) + hs\right]}, \quad (14)$$

где $1_{[0,L]}$ — функция индикатора отрезка $[0, L]$.

Здесь $C = \frac{12}{L(L^2+12h)}$ — константа для плотности распределения случайной величины ξ , найденная из условия нормировки:

$$\int_{[0,L]} p_\xi(t) dt = 1,$$

$$p_\xi(t; h, L) = C[(t - L/2)^2 + h] \times 1_{[0,L]}.$$

На рисунке 3 приведен график функции интенсивности для следующих значений распределений: $h = 0,05$ м, $L = 1200$ м.

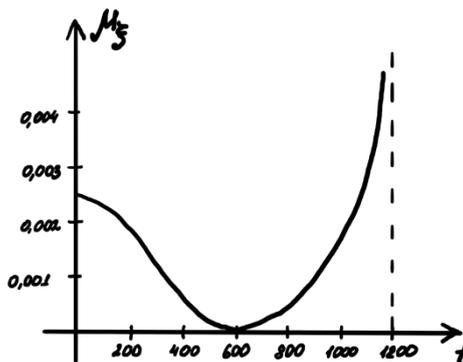


Рис. 3. График функции интенсивности

Анализируя функцию интенсивности и ее график, можно увидеть, что она имеет минимум в середине отрезка $[0, L]$, что полностью согласуется с типом распределения вероятностей и наличием моды $t_0 = L/2$.

Выражение для функции интенсивности (14) имеет довольно громоздкую и трудную для анализа форму. Приведем асимптотическую функцию интенсивности в окрестности точки моды $t_0 = L/2$:

$$\mu_{\xi}(t; h, L) = \frac{24h}{L(L^2 + 12h)} + \frac{576h^2}{L^2(L^2 + 12h)^2} \times (t - L/2) + \frac{24}{L(L^2 + 12h)} \left(1 + \frac{1728h^3}{L^3(L^2 + 12h)^3} \right) \times (t - L/2)^2 + o((t - L/2)^2). \quad (15)$$

Главную часть формулы (15) обозначим через $\tilde{\mu}_{\xi}$:

$$\tilde{\mu}_{\xi}(t; h, L) = \frac{24h}{L(L^2 + 12h)} + \frac{576h^2}{L^2(L^2 + 12h)^2} \times (t - L/2) + \frac{24}{L(L^2 + 12h)} \left(1 + \frac{1728h^3}{L^3(L^2 + 12h)^3} \right) \times (t - L/2)^2. \quad (16)$$

График основной части асимптотики функции интенсивности в окрестности точки $t_0 = L/2$ приведен на рисунке 4.

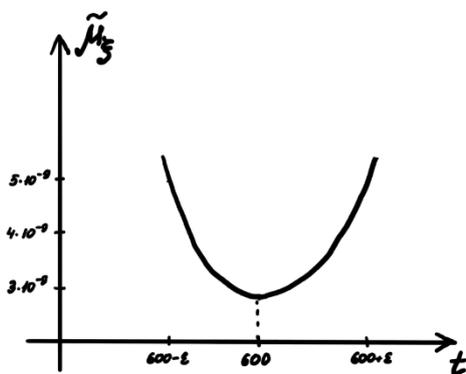


Рис. 4. График основной части асимптотики функции интенсивности в окрестности точки $t_0 = L/2$

Анализ графика показывает, что главная часть функции интенсивности $\tilde{\mu}_{\xi}(t)$ в окрестности моды распределения имеет квадратичный вид. Минимальное значение $\tilde{\mu}_{\xi}(t)$ находится в точке $t_0 = L/2$.

Заметим также, что в этой модели функция интенсивности не имеет свойства $\mu_{\xi}(t) = O\left(\frac{1}{t}\right), t \rightarrow +\infty$. Это связано с тем, что она задается нетривиальным образом на отрезке $[0, L]$, вне которого она равна 0. Таким образом, поломки токоприемника происходят на участке фиксированной длины, поэтому асимптотика при $t \rightarrow +\infty$ не имеет смысла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определена и решена задача оценки вероятностных характеристик экстремальной ситуации, возникающей при эксплуатации контактной сети в результате отрыва токоприемника от контактного провода при движении высокоскоростного электроподвижного состава, как следствие

возникновения электродуговых разрядов между контактным проводом и токоприемником.

Найдены точные формулы и их асимптотические выражения в важных экстремальных случаях для вероятностей отклонений от заданного значения, периодов повторяемости и функции интенсивности для особого типа унимодальных распределений в соответствии с распределением нагрузки по длине провода. Это позволяет оценить наиболее важные характеристики и спрогнозировать возникновение указанной экстремальной ситуации — обрыва провода в результате сильного нагрева электрической дугой. Не менее важно составить оптимальный план работ по периодическому капитальному ремонту, минимизировав тем самым затраты.

Заметим, что такой тип распределения возможных лент от подвешенного провода, хотя и приблизительный, предназначен для равномерно растянутых контактных подвесок без резких перепадов высот и отсутствия мягких грунтов и подземных плавучих озер [11], он описывает процессы отсечения токовых зондов с достаточной точностью.

Работа, по замыслу авторов, имеет естественное продолжение, где тип распределения будет задан в соответствии с геометрическими характеристиками контактного провода, такими как координаты точек крепления, величина изгиба, кривизна, естественный профиль. Кроме того, предполагается оценить параметры рабочих распределений на основе статистических данных различных управлений и компаний ОАО «РЖД» [12].

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность своим коллегам по Петербургскому государственному университету путей сообщения Императора Александра I за многолетнее плодотворное сотрудничество, которое привело к появлению интересных идей в подходах к решению различных прикладных задач, особенно актуальных в современных условиях, таких как моделирование надежности и устойчивости систем обеспечения движения и интеллектуальных транспортных систем.

Мы также выражаем благодарность кафедрам «Высшая математика» и «Информатика и информационная безопасность» за дружескую теплую атмосферу, постоянные дискуссии и творческий поиск в решении возникающих прикладных задач.

Отметим высокий уровень вклада в организацию и проведение семинара «Модели и методы исследования информационных систем на транспорте» сотрудников кафедр «Информационные и вычислительные системы».

ЛИТЕРАТУРА

1. Богорад, Э. С. Исследование электрической прочности изоляции «монолит» / Э. С. Богорад, Л. А. Кухаренко // Электротехническая промышленность. Серия «Электротехнические материалы». 1975. Вып. 9 (62).
2. Дегтярев, В. Г. Об одной вероятностной модели экстремальных ситуаций / В. Г. Дегтярев, Л. А. Кухаренко, В. А. Ходаковский // Системный анализ и аналитика. 2017. № 1 (2). С. 13–23.
3. Кударов, Руслан С. О свойствах некоторых распределений и возможности их приложений / Руслан С. Кударов

ров, Рустем С. Кударов, Л. А. Кухаренко // Системный анализ и аналитика. 2019. № 1 (9). С. 76–83.

4. Гумбель, Э. Статистика экстремальных значений = Statistics of extremes / Пер. с англ. В. Ю. Татарского; под ред. Д. М. Чибисова. — Москва: Мир, 1965. — 450 с.

5. Gnedenko, B. V. Sur La Distribution Limite Du Terme Maximum D'Une Serie Aleatoire // Annals of Mathematics. 1943. Vol. 44, No. 3. Pp. 423–453. DOI: 10.2307/1968974.

6. Дэйвид, Г. Порядковые статистики / Пер. с англ. В. А. Егорова, В. Б. Невзорова; под ред. В. В. Петрова. — Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. — 336 с.

7. Кухаренко, Л. А. Математическая модель прогноза опасных ситуаций / Л. А. Кухаренко, В. А. Ксенофонтова, А. С. Крюков // Проблемы математической и естественно-научной подготовки в инженерном образовании: Сборник трудов IV Международной научно-методической конференции (Санкт-Петербург, Россия, 03 ноября 2016 г.) / под ред. В. А. Ходаковского. — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2016. — С. 112–113.

8. Кухаренко, Л. А. Математическое моделирование экстремальных ситуаций / Л. А. Кухаренко, В. А. Ксенофонтова, Е. В. Рунев // Проблемы математической и естественно-научной подготовки в инженерном образовании: Сборник трудов IV Международной научно-методической конференции (Санкт-Петербург, Россия, 03 ноября 2016 г.) / под

ред. В. А. Ходаковского. — Т. 2. — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2017. — С. 96–103.

9. Ксенофонтова, В. А. О моментах и параметрах одного предельного закона экстремальных значений / В. А. Ксенофонтова, Л. А. Кухаренко, Е. В. Рунев // Системный анализ и аналитика. 2018. № 1 (6). С. 9–14.

10. Губарева, Т. С. Типы распределений при оценке экстремальных паводков // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2010. № 5. С. 446–457.

11. Русанова, Е. В. Об оценке параметров модели экстремальных ситуаций, вызванных паводками в реках Сибири / Е. В. Русанова, Е. В. Рунев // АРКТИКА: современные подходы к производственной и экологической безопасности в нефтегазовом секторе: Материалы Международной научно-практической конференции (Тюмень, Россия, 27 ноября 2019 г.). — Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2020. — С. 312–316.

12. Дегтярев, В. Г. Математическое обоснование информационной системы прогнозирования опасных ситуаций / В. Г. Дегтярев, Л. А. Кухаренко, Руслан С. Кударов, Рустем С. Кударов // Системный анализ и аналитика. 2020. № 1 (12). С. 117–132.

13. Кухаренко, Л. А. Некоторые свойства экспоненциального закона и гамма-распределения / Л. А. Кухаренко, Е. В. Рунев // Системный анализ и аналитика. 2018. № 3 (8). С. 109–118.

Stochastic Model of Thermal Processes in the Contact Network at Arc Discharges Occurring at High Speeds of Movement

V. V. Litvinova

Saint Petersburg Electrotechnical University
Saint Petersburg, Russia
vlitvinova78@gmail.com

V. V. Moiseev, E. V. Runev

Emperor Alexander I St. Petersburg
State Transport University
Saint Petersburg, Russia
moiseev_v_i@list.ru, jr_2010@mail.ru

Abstract. The paper proposes a stochastic model, on the basis of which estimates are given of the parameters at which extreme situations occur due to the interruption of the electrical contact between the electro-rolling stock current collector (EPS) and a contact wire for the wear and tear of the contact network as a result of acts of arcing. The model takes into account the influence of random factors, which are temporary and sometimes repetitive. The probabilities of deviating from the coordinates of the breakdowns of the contact network from the values given in advance as a result of acts of arcs with defined repeatability periods are obtained.

Keywords: weak contact, intensity function, repeatability period, probability asymptotics.

REFERENCES

1. Bogorad E. S., Kukharenko L. A. Investigation of the Electrical Strength of Insulation «Monolith» [Issledovanie elektricheskoy prochnosti izolyatsii «monolit»], Electrical Industry. Series «Electrotechnical Materials» [Elektrotekhnicheskaya promyshlennost'. Seriya «Elektrotekhnicheskie materialy»], 1975, Is. 9 (62).
2. Degtyarev V. G., Kuharenko L. A., Khodakovskiy V. A. About One Probabilistic Model Extreme Situations [Ob odnoy veroyatnostnoy modeli ekstremal'nykh situatsiy], *System Analysis and Analytics [Sistemnyy analiz i analitika]*, 2017, No. 1 (2), Pp. 13–23.
3. Kudarov Ruslan S., Kudarov Rustem S., Kukharenko L. A. On the Properties of Some Distributions and the Possibility of Their Applications [O svoystvakh nekotorykh raspredeleniy i vozmozhnosti ikh prilozheniy], *System Analysis and Analytics [Sistemnyy analiz i analitika]*, 2019, No. 1 (9), Pp. 76–83.
4. Gumbel E. J. Statistics of extremes [Statistika ekstremal'nykh znacheniy]. Moscow, Mir Publishers, 1965, 450 p.
5. Gnedenko B. V. Sur La Distribution Limite Du Terme Maximum D'Une Serie Aleatoire, *Annals of Mathematics*, 1943, Vol. 44, No. 3, Pp. 423–453. DOI: 10.2307/1968974.
6. David H. A. Ordinal statistics [Poryadkovye statistiki]. Moscow, Nauka Publishers, 1979, 336 p.
7. Kukharenko L. A., Ksenofontova V. A., Kryukov A. S. Mathematical Model for Predicting Dangerous Situations, *Problems of Mathematical and Natural Science Training in Engineering Education: Proceedings of the IV International*

Scientific and Methodological Conference [Problemy matematicheskoy i estestvennonauchnoy podgotovki v inzhenernom obrazovanii: Sbornik trudov IV Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii], St. Petersburg, Russia, November 03, 2016. St. Petersburg, PSTU, 2016, Pp. 112–113.

8. Kukharenko L. A., Ksenofontova V. A., Runev E. V. Mathematical Simulation of Extreme Situations [Matematicheskoe modelirovanie ekstremal'nykh situatsiy], *Problems of Mathematical and Natural Science Training in Engineering Education: Proceedings of the IV International Scientific and Methodological Conference [Problemy matematicheskoy i estestvennonauchnoy podgotovki v inzhenernom obrazovanii: Sbornik trudov IV Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii]*, St. Petersburg, Russia, November 03, 2016. Volume 2. St. Petersburg, PSTU, 2017, Pp. 96–103.

9. Ksenofontova V. A., Kukharenko L. A., Runev E. V. About Moments and Parameters of one Limiting Law of Extreme Values [O momentakh i parametrah odnogo predelnogo zakona ekstremal'nykh znacheniy], *System Analysis and Analytics [Sistemnyy analiz i analitika]*, 2018, No. 1 (6), Pp. 9–14.

10. Gubareva T. S. Types of Probability Distribution for Extreme Flood Estimation [Tipy raspredeleniy pri otsenke ekstremal'nykh pavodkov], *Geoecology. Engineering Geology. Hydrogeology. Geocriology [Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya]*, 2010, No. 5, Pp. 446–457.

11. Rusanova E. V., Runev E. V. On the Assessment of the Parameters of the Model of Extreme Situations Caused by Floods in The Rivers of Siberia [Ob otsenke parametrov modeli ekstremal'nykh situatsiy, vyzvannykh pavodkami v rekakh Sibiri], *ARCTIC: Modern Approaches to Industrial and Environmental Safety in the Oil and Gas Sector: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference [ARKTIKA: sovremennye podkhody k proizvodstvennoy i ekologicheskoy bezopasnosti v neftegazovom sektore: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*, Tyumen, Russia, November 27, 2019. Tyumen, Industrial University of Tyumen, 2020, Pp. 312–316.

12. Degtyarev V. G., Kukharenko L. A., Kudarov Ruslan S., Kudarov Rustem S. Mathematical justification of the information system for predicting dangerous situations [Matematicheskoe obosnovanie informatsionnoy sistemy prognozirovaniya

opasnykh situatsiy], *System Analysis and Analytics [Sistemnyy analiz i analitika]*, 2020, No. 1 (12), Pp. 117–132.

13. Kukhareno L. A., Runev E. V. Some Properties of Exponential Law and Gamma Distribution [Nekotorye svoystva eksponentsial'nogo zakona i gamma-raspredeleniya], *System Analysis and Analytics [Sistemnyy analiz i analitika]*, 2018, No. 3 (8), Pp. 109–118.