

*Intellectual Technologies
on Transport
No 2*



*Интеллектуальные технологии
на транспорте
№ 2*

*Санкт-Петербург
St. Petersburg
2015*

Интеллектуальные технологии на транспорте

№2, 2015

Сетевой электронный научный журнал, свободно распространяемый через Интернет. Публикует 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 профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВПО ПГУПС)

Сопредседатели редакционного совета:

Илларионов А.В., вице-президент ОАО «РЖД», Москва, РФ
Панычев А.Ю., ректор ПГУПС, С-Петербург, РФ

Главный редактор

Хомоненко А.Д., проф., С-Петербург, РФ

Редакционный совет

Глухов А.П., зам. нач. Деп. без. ОАО «РЖД», Москва, РФ
Дудин А. Н., д.т.н., проф., БГУ, Минск, Белоруссия
Корниенко А.А., проф., ПГУПС, С-Петербург, РФ
Ковалец П., проф., Тех. Унив-тет, Варшава, Польша
Лыков Р.Ю., нач. ГВЦ ОАО «РЖД», Москва, РФ
Меркурьев Ю.А., проф., РТУ, Рига, Латвия

Нестеров В.М., проф., ген. дир. ЦР ЕМС2, С-Петербург
Пустарнаков В.Ф., ген. дир. «Газинформсервис», С-Петербург, РФ
Титова Т.С., проф., прорект. 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

Ададулов С.Е., проф., С-Петербург, РФ
Атилла Э., проф., университет Аксарай, Турция
Безродный Б.Ф., проф., МАДИ, Москва, РФ
Благовещенская Е.А., проф., С-Петербург, РФ
Бубнов В.П., проф., С-Петербург, РФ – зам. гл. ред.
Булавский П.Е., д.т.н., доц., С-Петербург, РФ
Василенко М.Н., проф., С-Петербург, РФ
Гуда А.Н., проф., Ростов-на-Дону, РФ
Железняк В.К., проф., ПГУ, Белоруссия
Заборовский В.С., проф., С-Петербург, РФ
Зегжда П.Д., проф., С-Петербург, РФ
Канаев А.К., д.т.н., доц., С-Петербург, РФ
Котенко А.Г., д.т.н., доц., С-Петербург, РФ
Когут А.Т., проф., Омск, РФ
Куренков П.В., проф., Москва, РФ
Наседкин О.А., доц., С-Петербург, РФ

Никитин А.Б., проф., С-Петербург, РФ
Мирзоев Т. асс. проф., Джорджия, США
Лецкий Э.К., проф., Москва, РФ
Охтилев М.Ю., проф., С-Петербург, РФ
Соколов Б.В., проф., С-Петербург, РФ
Таранцев А.А., проф., С-Петербург, РФ
Утепбергенов И.Т., проф., Алма-Аты, Казахстан
Филипченко С.А., доц., Москва, РФ
Фозилов Ш.Х., проф., Ташкент, Узбекистан
Фу-Ниан Ху, проф, Джиангсу, Китай
Хабаров В.И., проф., Новосибирск, РФ
Ходаковский В.А., проф., С-Петербург, РФ
Чехонин К.А., проф., Хабаровск, РФ
Яковлев В.В., проф., С-Петербург, РФ
Ялышев Ю.И., проф., Екатеринбург, РФ

Адрес редакции

190031 Санкт-Петербург, Московский пр., 9, ПГУПС
email: itt-pgups@yandex.ru, сайт: <http://itt-pgups.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)

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», 2015. Разрешается воспроизведение в прессе, а также сообщение в эфир или по кабелю опубликованных в составе периодического издания-журнала «Интеллектуальные технологии на транспорте» статей по текущим экономическим, политическим, социальным и религиозным вопросам с обязательным указанием автора статьи и сетевого электронного научного периодического издания журнала «Интеллектуальные технологии на транспорте»

Intellectual Technologies on Transport

Issue №2, 2015

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 Professional Education «Petersburg State Transport University»

Co-chairs of the Editorial Council:

Illarionov A.V., Vice-President of JSC "Russian Railways", Moscow, Russia
Panychev A.Yu., rector of PSTU, St. Petersburg, Russia

Editor-in-Chief

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

Editorial Council Members

Glukhov A.P., deputy. beg. Dep. no. JSC "Russian Railways", Moscow, Russia
Dudin A.N., Prof., BSU, Minsk, Belarus
Kornienko A.A., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia
Kovalets P., Prof., Tech. University, Warsaw, Poland
Lykov R.Yu., director at MCC - branch of JSC "Russian Railways", Russia
Merkuryev Yu.A., Prof., Academician of the Latvian Academy of Sciences, Riga, Latvia

Nesterov V.M., Prof., director general at Russian EMC2 development center, St. Petersburg
Pustarnakov V.F., CEO at "Gazinformservice" LTD., St. Petersburg, Russia.
Titova T.S., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia
Fedorov, 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
Adadurov S.E., Prof., St. Petersburg, Russia
Attila E., Prof., Aksaray, Turkey
Bezrodny B.F., Prof., Moscow, Russia
Blagoveshenskaya E.A., Prof., St. Petersburg, Russia
Bulavsky P.E., Dr. Sc., Ass. Prof., St. Petersburg, Russia
Vasilenko M.N., Prof., St. Petersburg, Russia
Guda A.N., Prof., Rostov-on-Don, Russia
Geleznyak V.K., Prof., ПГУ, Белоруссия
Zaborovsky V.S., Prof., St. Petersburg, Russia
Zegzda P.D., Prof., St. Petersburg, Russia
Kanayev A.K., Ass. Prof., St. Petersburg, Russia
Kotenko A.G., Dr. Sc., Ass. Prof., St. Petersburg, Russia
Kogut A.T., Prof., Omsk, Russia
Kurenkov P.V., Prof., Moscow, Russia

Mirzoev T. Ass.Prof., Georgia, USA
Nasedkin O.A., Ass. Prof., St. Petersburg, Russia
Nikitin A.B., St. Petersburg, Russia
Letsky Ad.K., Prof., Moscow, Russia
Okhtilev M.Yu., Prof., St. Petersburg, Russia
Sokolov B.V., Prof., Dr. Sci., St. Petersburg, Russia
Tarantsev A.A., Prof., St. Petersburg, Russia
Utepbergenov I.T., Prof., Alma-Ata, Khazakhstan
Filipchenko S.A., Ass. Prof., Moscow, Russia
Fozilov S.Kh., Prof., Tashkent, Uzbekistan
Fu-Nian Hu, Prof., Jiangsu, China
Khabarov V.I., Prof., Novosibirsk, Russia
Khodakosky V.A., Prof., St. Petersburg, Russia
Chekhonin K.A., Prof., Khabarovsk, Russia
Jakovlev V.V., Prof., St. Petersburg, Russia
Jalyshev Yu.I., Prof., Ekaterinburg, Russia

Адрес редакции

190031, St. Petersburg, Moskovskiy pr., 9, 2-108
email: itt-pgups@yandex.ru, сайт: <http://itt-pgups.ru>

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

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

© Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Petersburg State Transport University», 2015. The reproduction in the press, as well as a message broadcast or cable published as part of the periodical – journal "Intellectual Technologies on Transport" articles on current economic, political, social and religious issues with the obligatory indication of the author, and the network of electronic scientific periodical journal "Intellectual Technologies on Transport "

СОДЕРЖАНИЕ

Ермаков А. Н., Меркулов А. А., Панфилов С. А., Райков А. Н. Поддержка решений в аварийных ситуациях на железной дороге на основе сетевой экспертно-аналитической системы	5
Чижма С.Н., Лаврухин А.А., Малютин А.Г., Окишев А.С. Информационная система оперативного контроля параметров электроэнергии в сети тягового электроснабжения	10
Красновидов А. В. Подход к построению алгоритмов статистического анализа потоков ошибок в дискретных каналах связи	20
Смагин В.А. Коррекция гипердельтного распределения в теории случайных процессов	27
Сергеев С.А. Метод составления систем однородных дифференциальных уравнений для расчёта вероятностно-временных характеристик нестационарных систем обслуживания	32
Герасименко П.В., Стасишина А.Е. Прогнозирование размера субсудий на пассажирские перевозки железнодорожным транспортом	43
Захаров А.И., Загайнов А.И. Реализация программного комплекса для вычисления фрактальных параметров сложных систем	47

CONTENTS

Ermakov A. N., Merkulov A. A., Panfilov S. A., Raikov A. N. Decision Support in Emergency Situations on the Railway on the Base of Networked Expert-Analytical System	5
Chizhma S.N., Lavruhin A.A., Maliutin A.G., Okishev A.S. Information System of Operational Control Parameters of Electricity in the Traction Power Supply Network	10
Krasnovidow A. V. An Approach to the Construction of Algorithms for the Statistical Analysis of Error Flows in Digital Communications Channels	20
Smagin V.A. Correction of the Hyperdelta Distribution in the Theory of Stochastic Processes	27
Sergeev S.A. The Method of Construction of Systems of Homogeneous Differential Equations for Calculating the Probability-Time Characteristics of Non-Stationary Service Systems	32
Gerasimenko P.V., Stasishina A.E. Forecasting the Size of the Grant Facilities for the Transportation of Passengers by Rail	43
Zakharov A.I., Zagaynov A.I. Implementation of Software for Calculating the Fractal Parameters of Complex Systems	47

Поддержка решений в аварийных ситуациях на железной дороге на основе сетевой экспертно-аналитической системы

Ермаков А. Н., Меркулов А. А., Панфилов С. А., Райков А. Н.

НП «Аналитическое агентство «Новые стратегии»

Москва, Россия

alexei-ermakov@yandex.ru, sasha@merqlove.ru, serelen@list.ru, anraikov@mail.ru

Аннотация. Сформирован теоретический базис для интеграции методов и алгоритмов групповой поддержки решений в территориально-распределенной сети участников на основе методов конвергентного управления, интеллектуальных информационных технологий, ситуационных центров, когнитивного моделирования, квантовой семантики, интерпретации инсайта, ситуационной осведомленности и виртуального сотрудничества.

Разработано для практического применения специальное программное обеспечение сетевой групповой экспертно-аналитической системы поддержки ускоренного принятия решений в аварийных ситуациях на железной дороге. Эффективным местом, где может быть использована созданная система, является ситуационный центр ОАО «РЖД».

Разработан экспертно-аналитический тренажер для формирования компетенций служащих, специалистов и экспертов в условиях аварийных ситуаций на железной дороге. В тренажере реализованы процедуры оценки «температуры стратегического риска» команды и согласованности целей и путей действий, разработан методический материал.

Ключевые слова: конвергентное управление, квантовая семантика, когнитивное моделирование, интерпретация инсайта, ситуационная осведомленность, виртуальное сотрудничество.

ВВЕДЕНИЕ

Специфика проведения ситуационного анализа в моменты принятия управленческих решений в аварийных ситуациях на железной дороге [1] обуславливает целесообразность:

- использования ситуационного центра руководства ОАО «РЖД» с включением его в систему распределенных ситуационных центров органов государственной власти;
- применения конвергентного подхода для обеспечения ускоренной сходимости процессов принятия решений распределенными участниками, включая внешних экспертов;
- развития и применения механизмов ситуационной осведомленности и виртуального сотрудничества.

1. ЭКСПЕРТНО-СИТУАЦИОННЫЙ КОНТЕКСТ

Основными целями создания системы распределенных ситуационных центров являются: обеспечение информационно-аналитической поддержки управления и стратегического планирования; повышение эффективности управления, в том числе при возникновении чрезвычайных си-

туаций. В состав комплексов этой системы включены, в частности:

- информационно-аналитические системы для решения задач стратегического планирования, анализа развития чрезвычайных ситуаций;
- экспертно-аналитические системы для анализа мнения экспертного сообщества (разработана с участием авторов настоящей работы).

Обобщенная конфигурация этой системы показана на рис. 1.



Рис. 1. Обобщенная конфигурация системы распределенных ситуационных центров

Экспертно-аналитические системы предназначены для обеспечения:

- сбора комментариев экспертов;
- организации сетевого экспертного мониторинга ситуации;
- проведения группового экспертного мозгового штурма;
- устойчивой сходимости сетевого стратегического совещания;
- ведения нормативно-справочной информации;
- ведения реестров экспертов и экспертно-аналитических центров.

В рамках перечисленного авторами реализован ряд инновационных конструкторских решений, в совокупности позволяющих обеспечить синергию процессов стратегического и территориального планирования, в том числе с учетом упреждения чрезвычайных обстоятельств.

Например, система показателей оценки чрезвычайной ситуации может быть представлена в виде иерархии показателей, отображенной на карту местности с указанием отдельных «слоев»: железные дороги, дороги различного значения, линейные инфраструктурные объекты, дома, пожарные расчеты и пр.

2. КОНВЕРГЕНТНЫЙ ПОДХОД И КВАНТОВАЯ СЕМАНТИКА

К проектным решениям авторов относится реализация сходящейся, конвергентной [2, 3, 4], методологии сетевой экспертной оценки ситуации и подготовки решений. Ее суть сводится к тому, что на основе специальной структуризации информации, обоснованной с применением теории решения обратных задач на нечетких топологических пространствах, управляемой термодинамики, квантовой семантики и квантовой теории игр, обеспечиваются необходимые условия для ускоренной сходимости процессов достижения согласия экспертов относительно целей и путей действий.

Разработка средств поддержки решений в аварийной ситуации на железной дороге наталкивается на сложности, преодоление которых не укладывается в классическое русло традиционных инструментариев, в том числе из области систем искусственного интеллекта [1]. Так, необходимо одновременно учесть аспекты множественности участников принятия решений, в том числе территориально распределенных экспертов, хаотической природы процесса развития ситуации, игрового характера решений, потребности в сходимости процессов управления и принятия решений.

Проблемные ситуации могут носить некаузальный характер, что приводит к априорному нарушению целостности модельного представления аварийной ситуации. Для обеспечения целостности проведено изучение и развитие темы квантовой семантики [5] и теории игр, алгоритмической интерпретации понятия смешанного (сцепленного) квантового состояния. Обращение к теории квантовых игр с привлечением способа решения квантовой проблемы Монти-Холла [8] позволило учесть аспект субъективной предвзятости в принятии решений.

Исследован аспект формирования группового инсайта, показано, что процесс наступления инсайта можно ускорить за счет специальной структуризации информации на основе конвергентного подхода и методов решения обратных задач на топологическом пространстве [9].

Проанализировано традиционное направление развития квантовых вычислений в контексте возможности его применения к процессам принятия решений в условиях аварийной ситуации на железной дороге. Показано, что их применение на настоящем этапе развития теории квантовых вычислений пока вряд ли оправдано. Их достоинством является потенциальная возможность решать классические задачи с экспоненциальным ускорением. Вместе с тем ускорение вычислений пока не является весьма важным, поскольку, например, генетический алгоритм решает обратную задачу на когнитивном графе в течении 5-7 секунд на обычном компьютере.

3. СИТУАЦИОННАЯ ОСВЕДОМЛЕННОСТЬ И ВИРТУАЛЬНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

В части расширения возможностей применения средств ситуационной осведомленности и виртуального сотрудничества в условиях аварийной ситуации показана целесообразность развития механизмов группового экс-

пертно-аналитического моделирования, основанного, прежде всего, на упомянутом выше конвергентном подходе, методе SWOT-анализа, когнитивном и иерархическом моделировании, методах решения обратных задач с применением генетического алгоритма на когнитивной схеме.

Показана возможность многоаспектного подхода к обработке экспертных оценок, когда число экспертов варьируется от 7 до 25. Возникает задача свертки мнений экспертов в единое коллективное решение. Поскольку, как известно, наилучшего и универсального метода построения такой свертки не существует, авторы работы использовали подход конвергентный подход, когнитивное моделирование и решение обратных задач. В классическом же русле исследованы следующие методы: численные (статистические) методы, турнирные методы, аппроксимационный метод, метод построения медиана, метод обобщенных строчных сумм. Исследованы подходы к построению результирующего ранжирования, нормированию оценок и заполнению пропусков в данных. Рассмотрены подходы к оценке согласованности мнений экспертов и экспертных оценок, в частности, особое внимание уделено методам автоматической классификации и оценке коэффициента конкордации. Специальное программное обеспечение для расчета последнего встроено в экспертно-аналитическую систему, реализуемую в рамках настоящего проекта.

Доработана упомянутая в предыдущей работе авторов [1] схема, иллюстрирующая многоаспектность феномена ситуационной осведомленности. На схеме затемнены аспекты, которые охвачены теоретической проработкой и практической реализацией в настоящей работе (см. рис. 2).

Исследован аспект организации общего мониторинга аварийной ситуации на железной дороге. Информационные процессы, которые сопровождают аварии, невозможно выразить в виде детерминированных уравнений, автоматов и других математических средств представления и анализа динамических систем. Основными элементами системы информационного мониторинга являются информационное пространство, аналитик, эксперт. Сформулированы свойства информационного пространства [10].

Показано, что для анализа фрагментарной информации в процессе мониторинга можно использовать модель процесса в виде когнитивного графа или иерархии понятий. Тогда обработка разноуровневой информации достигается за счет предоставления пользователям возможности отнести оценку конкретного информационного материала к разным вершинам модели. Обработка информации различной степени надежности и обладающей противоречивостью или тенденциозностью достигается за счет использования лингвистических оценок экспертами данной информации. Изменяемость во времени учитывается фиксацией даты поступления информации при оценке конкретного материала, то есть время является одним из элементов описания объектов системы. В работе показано, что можно сформулировать методику выбора оптимального множества значений качественных признаков.

Так, число вопросов эксперту может составлять порядка 10-и, число участников принятия решений (экспертов) может составлять от 5 до 12, количество уровней иерархии в модели для метода анализа иерархий не должно превышать 5-и, число соподчиненных вершин в иерархии – порядка 5, целесообразно использовать 7-балльные шкалы при парном сравнении факторов, однако – рекомендовать экспертам при парных сравнениях минимизировать

число оценок с превышением 3-х баллов; число вершин в когнитивной модели не должно превышать 12.



Рис. 2. Расширенная схема аспектов ситуационной осведомленности

С учетом изложенного проведена модернизация имеющегося у разработчика специального программного обеспечения облачного сервиса сетевой экспертизы [11] для создания полнофункционального программного обеспечения с учетом специфики аварийных ситуаций на железной дороге.

4. ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ТРЕНАЖЕР

Сделана постановка задачи и построен макет экспертно-аналитического тренажера для формирования компетенций служащих, специалистов и экспертов в условиях аварийных ситуаций на железной дороге, в том числе применительно к процессам группового принятия решений в ситуационном центре. Для этого реализована компьютерная модель для двух процедур: самооценки командой температуры стратегического риска команды (подготовленность команды к слаженным действиям в экстре-

мальных условиях); определение уровня согласованности экспертных оценок аварийной ситуации и построения планов действий в команде.

Разработка алгоритмов работы тренажера проведена исходя из следующих опытных данных. В чрезвычайных условиях критичным всегда является факт недостатка нужной информации, целостного представления ситуации на всех уровнях управления, отсутствие общей операционной картины. Причем, рост объемов данных, и, следовательно, прецедентов, далеко не всегда способствует улучшению информированности и качества решений. Источником проблем, которые создают лакуны информации, являются сами участники команд, фокусирующиеся на решении задач исходя из собственного понимания ситуации. Важное место занимает аспект дефицита доверия между участниками.

Созданный тренажер представляет собой экспертно-аналитический технологический комплекс формирования компетенций служащих, специалистов и экспертов в области поддержки групповых оперативных решений в аварийных условиях на железной дороге, характеризующихся наличием скрытой и неявной информации, а также малого числа косвенных признаков.

В качестве обучаемых выступают различные участники процессов принятия решений в нештатных аварийных ситуациях: органы государственной власти, органы местного самоуправления, руководство ОАО «РЖД», диспетчеры, бригады, полиция, эксперты, население. В групповом тренинге одновременно участвует от 3-х до 7-и человек (членов команды).

Самооценка командой температуры своего стратегического риска осуществляется путем выставления оценок по дискретной шкале по ряду показателей трех анкет: «Стратегическая целостность команды», «Дух команды», «Управленческий порядок в команде».

Нормальным считается значение температуры до 36,6 градусов. Если температура стратегического риска ненормальная, то команду надо «лечить». Для этого следует по каждому пункту команде провести соответствующую исследовательскую и подготовительную работу.

Процедура определения уровня согласованности экспертных оценок аварийной ситуации и построения планов действий в команде применяется для освоения навыков достижения согласованности действий в команде. Используется метод анализа иерархий для представления элементов, определяющих суть исследуемой проблемы (рис. 3).



Рис. 3. Тренинг для освоения навыков достижения согласованности

В процессе тренинга члены команды попарно сравнивают элементы одного уровня иерархии показателей по отношению к вышестоящим элементам с использованием шкалы относительной важности. Для каждой построенной матрицы парных сравнений вычисляются компоненты собственного вектора, известным образом рассчитываются величины, называемые индексом и отношением согла-

сованности. Приемлемым является отношение согласованности не более 10%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффективным местом, где может быть использована созданная система, является ситуационный центр ОАО «РЖД». Разработанный экспертно-аналитический тренажер целесообразно использовать для формирования компетенций служащих, специалистов и экспертов в условиях аварийных ситуаций на железной дороге.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ермаков А. Н. Поддержка решений в аварийных ситуациях на железной дороге с применением техник ситуационной осведомленности и виртуального экспертного сотрудничества / А. Н. Ермаков, А. А. Меркулов, С. А. Панфилов, А. Н. Райков // Сб. материалов Четвертой научно-практической конференции «Интеллектуальные системы на транспорте». – 2014. – С. 48-55.
2. Райков А. Н. Конвергентное управление и поддержка решений. – М.: Издательство ИКАР, 2009. – 245 с.
3. Ермаков А. Н. Сходимость решений при аварийных ситуациях на железной дороге / А. Н. Ермаков, А. А. Меркулов, С. А. Панфилов, А. Н. Райков // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления, ВСПУ-2014. – 2014. – С. 8161-8172.
4. Gubanov D. E-Expertise: Modern Collective Intelligence, Springer / D. Gubanov, N. Korgin, D. Novikov, A. Raikov // Series: Studies in Computational Intelligence, Vol. 558, 2014, XVIII, 112 p.
5. Raikov A. N. Holistic Discourse in the Network Cognitive Modeling // Journal of Mathematics and System Science. 2013. Vol. 3, No. 10. P. 519-530
6. Райков А. Н. Когнитивное программирование // Экономические стратегии. – 2014. – Т.16, № 4, - С. 108 – 113.
7. Райков А. Н. Квантово-игровой подход к ускорению решений в аварийных ситуациях // Теория активных систем (ТАС-2014): Материалы международной научно-практической конференции, 17–19 нояб. 2014 г, Москва – М.: ИПУ РАН, 2014. С. 83 – 84.
8. Flitney A. P. Quantum version of the Monty Hall problem / A. P. Flitney, D. Abbott // Phys. Rev. A, 2002. Vol. 65 (6), pp. (06318)1–4.
9. Райков А. Н. Топологическая семантика инсайта // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления, ВСПУ-2014. Москва 16-19 июня 2014 г. – С. 4165 – 4170.
10. Рыжов А. П. Системы оценки и мониторинга сложных процессов и их приложения // Интеллектуальные системы. – 2013. – Т. 17, № 1-4. – С. 104-107.
11. Специальное программное обеспечение «Сетевая экспертно-аналитическая система «Архидока», Свидетельство о государственной регистрации программ № 2011613934 по заявке 2011612011 от 29 марта 2011 г. – М.: Роспатент.

Decision Support in Emergency Situations on the Railway on the Base of Networked Expert-Analytical System

Ermakov A. N., Merkulov A. A., Panfilov S. A., Raikov A. N.

Nonprofit partnership «Analytical Agency «New strategies»,
Moscow, Russia

alexei-ermakov@yandex.ru, sasha@merqlove.ru, serelen@list.ru, anraikov@mail.ru

Abstract. In this article is formulated a theoretical basis for integration of group decision support algorithms and methods in geographically-distributed participants net on the base of converged management, intellectual information technologies, situational centers, cognitive modeling, quantum semantics, insight interpretation, situational awareness and virtual cooperation.

Special software for networking group expert and analytical system of accelerated decision support in emergency situations on the railway was developed for a practical application. An effective area for developed system application is a situational center of RSC RZD.

An expert and analytical simulator were also developed for forming of competences of employees, specialists and experts in emergencies on the railway. Some procedures of corporative “strategic risk temperature”, objective coherence and action directions estimation are realized. Respective methodical material was prepared.

Keywords: converged management, quantum semantics, cognitive modeling, insight interpretation, situational awareness, virtual cooperation.

REFERENCES

1. Ermakov A. N., Merkulov A. A., Panfilov S. A., Raikov A. N. Decision Support in Emergency Situations on Railway with Awareness and Expert Virtual Cooperation Technics Application [Podderzhka resheniy v avariynnykh situatsiyakh na zheleznoy doroge s primeneniem tekhnicheskoy situatsionnoy osvedomlennosti i virtualnogo ekspertnogo sotrudnichestva], *Trudy “Intellectualnye sistemy na transporte”*, Saint-Petersburg, 2014, pp. 48-55.
2. Raikov A. N. *Konvergentnoe upravlenie i podderzhka prinyatiya resheniy* [Book], Moscow, IKAR, 2009, 245 p.
3. Ermakov A. N., Merkulov A. A., Panfilov S. A., Raikov A. N. Decisions Convergence in Emergency Situations on the Railway [Skhodimost resheniy v avariynnykh situatsiyakh na zheleznoy doroge], *Trudy XII Vserossiyskogo Soveshchaniya po problemam upravleniya, VSPU-2014*, Moscow, 2014, pp. 4165-4170.
4. Gubanov D. E-Expertise: Modern Collective Intelligence, Springer / D. Gubanov, N. Korgin, D. Novikov, A. Raikov // Series: Studies in Computational Intelligence, Vol. 558, 2014, XVIII, 112 p.
5. Raikov A. N. Holistic Discourse in the Network Cognitive Modeling // *Journal of Mathematics and System Science*. 2013. Vol. 3, No. 10, pp. 519-530
6. Raikov A. N. Cognitive programming [Kognitivnoe programmirovaniye], *Ekonomicheskie strategii [Economics Strategies]*, 2014, vol. 16, no. 4, pp. 108-113.
7. Raikov A. N. Quantum-Gaming Approach to Decision Making Acceleration in Emergency Situations [Kvantovogrovoy podkhod k uskoreniyu resheniy v avariynnykh situatsiyakh], *Trudy “Teoriya aktivnykh sistem”*, Moscow, 2014, pp. 83-84.
8. Flitney A. P. Quantum version of the Monty Hall problem / A. P. Flitney, D. Abbott // *Phys. Rev. A*, 2002. Vol. 65 (6), pp. (06318)1-4.
9. Raikov A. N. Topological Semantic of an Insight [Topologicheskaya semantika insayta], *Trudy XII Vserossiyskogo Soveshchaniya po problemam upravleniya, VSPU-2014*, Moscow, 2014, pp. 4165-4170.
10. Ryzhov A. P. Systems of Estimation and Monitoring of Complex Processes and Their Application [Sistemy otsenki i monitoring slozhnykh protsessov i ikh prilozheniya], *Intellectualnye sistemy [Intellectual Systems]*, 2013, vol. 17, no. 1-4, pp. 104-107.
11. Special Software “Networking Expert and Analytical System “Arkhidoka” [Spetsialnoye programmnoye obespechenie “Setevaya ekspertno-analiticheskaya sistema “Arkhidoka”], Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii program no. 2011613934 po zayavke 2011612011, 29 mar 2011, Moscow, Rospatent.

Информационная система оперативного контроля параметров электроэнергии в сети тягового электроснабжения

Чижма С.Н., Лаврухин А.А., Малютин А.Г., Окишев А.С.

Омский государственный университет путей сообщения

Омск, Россия

chizhmasn@omgups.ru, lavruhinaa@omgups.ru,

malyutinag@omgups.ru, okishevas@omgups.ru

Аннотация. Описаны структурная схема, алгоритмическая основа, функциональный состав и некоторые технологические особенности аппаратного и программного обеспечения информационной системы оперативного контроля параметров электроэнергии в сети тягового электроснабжения.

Ключевые слова: информационная система, параметры электроэнергии, устройство сбора и передачи данных, система передачи данных, информационно-вычислительный комплекс, сервер системы сбора данных телеметрии, сервер телеметрических приложений, система обеспечения единого времени.

ВВЕДЕНИЕ

Текущее положение учета электроэнергии в тяговом электроснабжении, а также быстрое развитие современных технических средств указывает на необходимость дальнейших разработок методов и средств измерения параметров электроэнергии для сокращения потерь [1–5]. Результаты исследований потерь в сетях электроснабжения различных типов, включая тяговые сети, показал [6–14], что сокращение потерь электроэнергии возможно при оперативном контроле и управлении параметрами активных элементов сетей.

Автоматизированные системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ), внедренные в последнее время в сети железных дорог, позволяют решить вопрос коммерческого учета электроэнергии. Однако АСКУЭ ОАО «РЖД» не решают вопросы оперативного мониторинга распределения электроэнергии в контактной сети, от которой потребляется значительный объем электроэнергии, что в свою очередь не позволяет корректировать уровень небаланса электроэнергии в контактной сети.

В настоящее время активно развиваются методы и средства определения расхода и качества электроэнергии в тяговых сетях, однако, как правило, разработки находятся в начальной стадии и не позволяют комплексно решать проблемы контроля параметров электроэнергии в тяговых сетях [15–19].

Для решения указанной проблемы требуется совместно с коммерческим учетом электроэнергии осуществлять технический учет, а именно – контроль расхода по фидерам контактной сети (ФКС). Такая автоматизированная система учета электроэнергии на фидерах контактной сети позволит не только определять объем потерь и величину

небаланса, но и выявлять перетоки мощности между подстанциями, вызывающие дополнительные потери [20, 21].

Разработанная на кафедре «Автоматика и системы управления» Омского государственного университета путей сообщения информационная система оперативного контроля параметров электроэнергии в сети тягового электроснабжения (ИСКПЭ) позволяет за счет измерения электрического тока и напряжения на каждом выпрямителе и фидере контактной сети постоянного тока проводить исследования, направленные на повышение эффективности использования электроэнергии на тягу поездов [22–24]. Пилотный вариант системы установлен на шести подстанциях опытного полигона Свердловской железной дороги.

На рис. 1 приведена структура измерительной подсистемы ИСКПЭ для одной подстанции. На каждой подстанции установлены минимум семь измерительных систем, определяющих токи, напряжения, мощности соответственно выходных шин выпрямителей, фидеров левой и правой межподстанционных зон, шины станционной нагрузки, выходы которых подключены к информационным входам концентратора подстанции (КП). Система позволяет определять мгновенные токи, напряжения, мощности, учитывать электроэнергию по каждой точке учета, по подстанции и по всему полигону, контролировать спектральный состав токов и напряжений, определять и сохранять временные графики токов, напряжений и мощностей.

Алгоритмическое обеспечение системы направлено на получение следующих энергетических показателей на всех точках учета. Действующее значение напряжения и тока за период усреднения $\Delta T_j = T_j - T_{j-1} = \text{const}$ определяется по формулам:

$$U_j = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_k (u_k)^2}; I_j^+ = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_k (i_k^+)^2}; I_j^- = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_k (i_k^-)^2}; \quad (1)$$

$$I_j = I_j^+ - I_j^-, \quad (2)$$

где индекс k соответствует номерам отсчетов, принимаемых с АЦП, при выбранной частоте дискретизации сигнала, j – номерам интервалов с квадратичным усреднением, а верхний индекс – направление тока. Первичный интервал усреднения ΔT сразу после приема с АЦП равен 1 с, а вторичный (выбираемый пользователем) может составлять 1, 3 или 6 с.

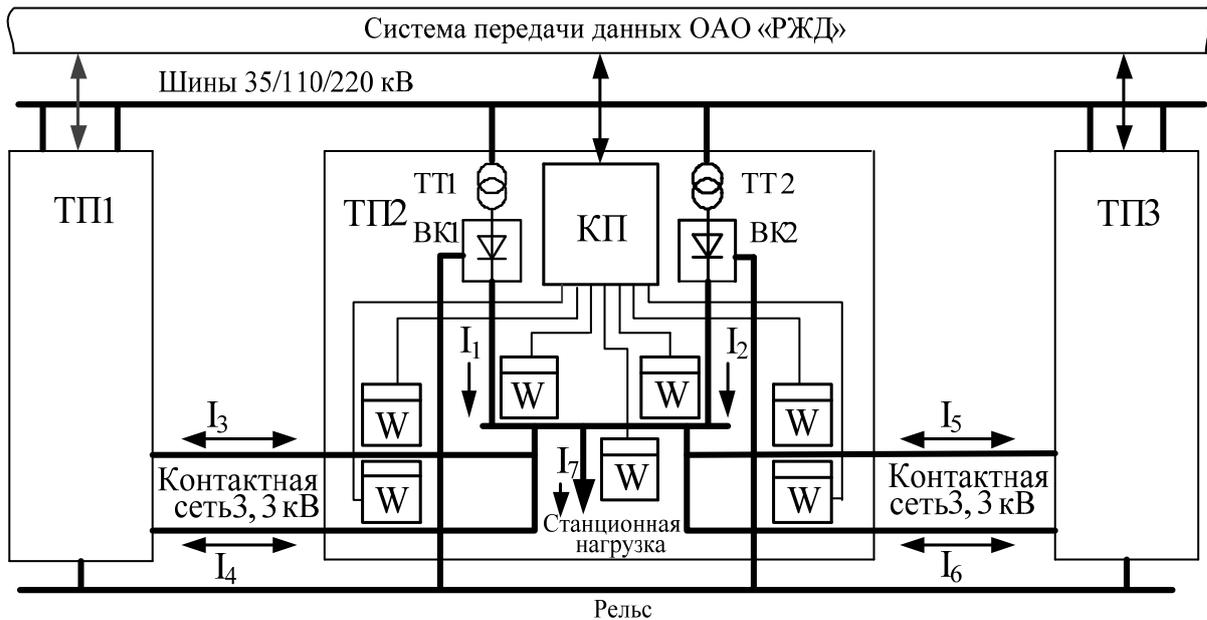


Рис. 1. Структура измерительной подсистемы ИСКПЭ для одной подстанции

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Мощность постоянного тока

$$P_j = U_j \cdot I_j. \tag{3}$$

Приращение электроэнергии за период ΔT :

$$\Delta W_j = P_j \cdot \Delta T. \tag{4}$$

Электроэнергия отданная точкой учета:

$$W^{omd} = \sum_j \Delta W_j, \Delta W_j > 0. \tag{5}$$

Электроэнергия принятая точкой учета:

$$W^{prin} = \sum_j \Delta W_j, \Delta W_j < 0. \tag{7}$$

Баланс электроэнергии за период ΔT по выводам выпрямителей и по фидерам по всей тяговой подстанции:

$$\Delta W_{ТП} = \sum_m W_m^{omd} - \sum_n (W_n^{omd} - W_n^{prin}), \tag{8}$$

где индекс n соответствует номерам всех фидеров, а индекс m – всех выводов выпрямителей тяговой подстанции.

СТРУКТУРА ИСКПЭ

Организация программного обеспечения системы выполнена в соответствии с выбранной функциональной структурой, показанной на рис. 2.

Уровень тяговой подстанции образован измерительными преобразователями (ИП), установленными на каждой точке учета (фидере или выпрямителе), и концентратором подстанции. Интерфейс пользователя на подстанции обеспечивается устройством сбора и передачи данных (УСПД), имеющим в своем составе сенсорный экран. Каждая из тяговых подстанций подключена к единому информационно-вычислительному комплексу (ИВК). К функциям ИВК относятся централизованный сбор данных, их хранение на одном или нескольких серверах, возможность обработки и отображения этих данных, в том числе на подключаемых к серверу автоматизированных рабочих местах (АРМ) с установленным на них специальным программным обеспечением, в том виде, как это требуется пользователю системы.

Измерительный преобразователь состоит из двух основных модулей – аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и одноплатного компьютера (ОК).

Модуль АЦП (рис. 3) разработан на базе микросхемы ADS131E04 и микропроцессора с ядром STM32F4. Модуль выполняет следующие задачи: дискретизацию тока и напряжения, вычисление их действующих значений на периоде 1 с, вычисление спектра амплитуд сигналов тока и напряжения, вычисление мощности и энергии (отдельно для каждого направления тока) на периоде 1 с, буферизацию данных, передачу данных в ОК, управление режимами АЦП, контроль правильности работы ОК, хранение текущих показаний ИП, вычисление и хранение его калибровочных коэффициентов.

Одноплатный компьютер Тион-Про-28 (рис. 4) выполняет функции по передаче данных (усредненных измерений с шагом 1, 3 или 6 с, журналов событий, полученных с платы АЦП) на концентратор подстанции и в ИВК, а

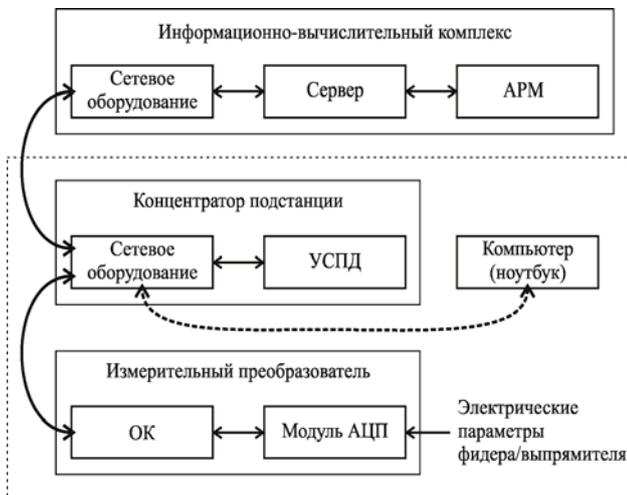


Рис. 2. Функциональная структура ИСКПЭ

также функции хранения этих данных во FLASH-памяти в течение заданного времени (от месяца до года).

УСПД подстанции также выполнено на базе одноплатного компьютера Тион-Про-28. На экране УСПД подстанции обычно видно состояние всех точек измерения и текущие значения определяемых параметров (напряжения, тока и его направления, мощности, принятой и отданной энергии), как это показано на рис. 5.

Все данные в системе имеют временные метки (абсолютное время создания этих данных). Все устройства в системе периодически синхронизируются по времени. За счет использования специализированных технологий точность времени в системе равна 0,1 с.

ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ИСКПЭ

ИСКПЭ является иерархической многоуровневой тер-

риториально распределенной автоматизированной системой и включает в себя следующие основные элементы (рис. 6):

1) нижний (измерительный) уровень: информационно-измерительные комплексы (ИИК): измерительные блоки на выпрямителях и фидерах контактной сети; источник питания (далее – блок питания измерительного преобразователя);

2) информационно-вычислительные комплексы электроустановки (ИВКЭ) подстанции: концентратор подстанции, устройство сбора и передачи данных (УСПД) и средства сопряжения УСПД и сети передачи данных (далее ССС);

3) верхний уровень – информационно-вычислительный комплекс (далее – ИВК): средство сопряжения устройства сбора и передачи данных и сети передачи данных, сервер

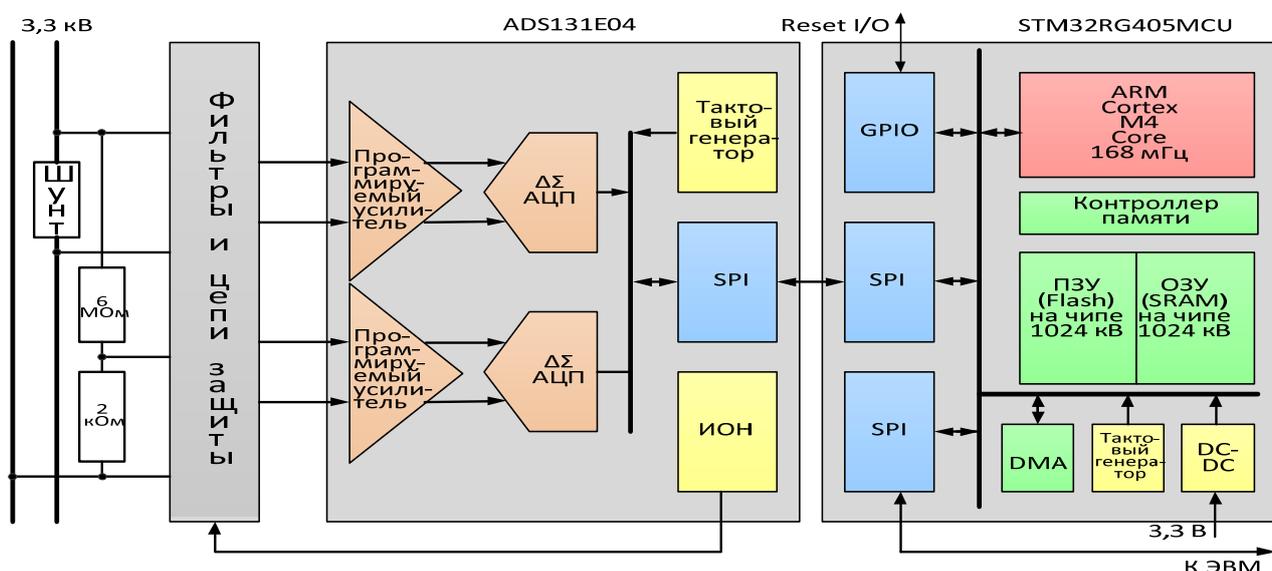


Рис. 3. Структурная схема модуля аналого-цифрового преобразователя

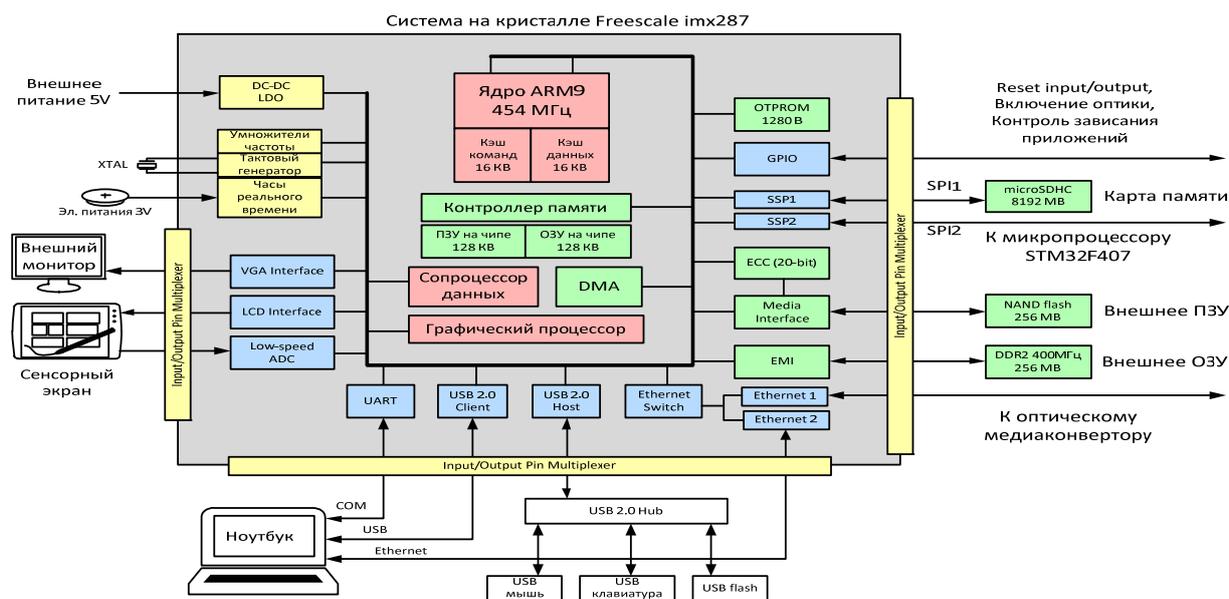


Рис. 4. Структура одноплатного компьютера Тион-Про-28

системы сбора данных телеметрии (далее – ССДТ), сервер телеметрических приложений (далее – СТП);

4) автоматизированные рабочие места и серверы службы энергоснабжения.

Возможности подсистемы верхнего уровня определяются требованиями, которые предъявляются к ИСКПЭ, и, в частности, ИВК характеризуется следующими основными эксплуатационными возможностями:

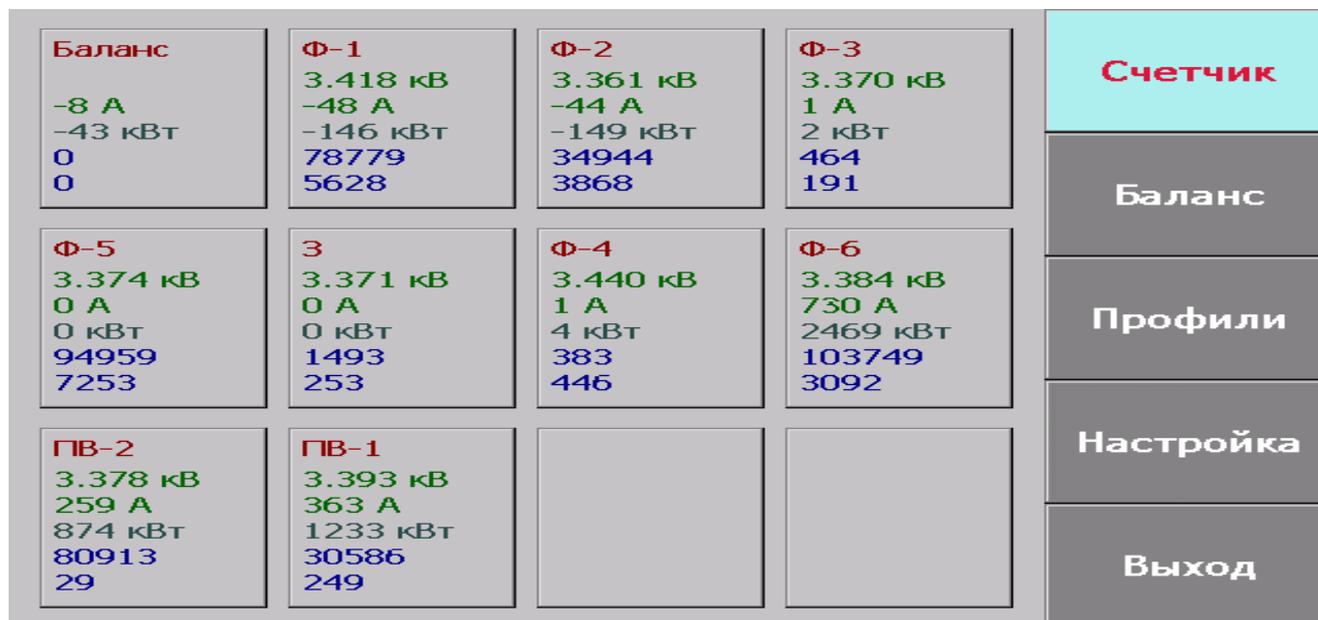


Рис. 5. Интерфейс пользователя на УСПД тяговой подстанции

Также в состав ИСКПЭ входит система обеспечения единого времени (СОЕВ), которая формируется на всех уровнях иерархии и обеспечивает единое время на всех ИИК, ИВКЭ и ИВК. Основной режим работы системы – автономное круглосуточное функционирование, позволяющее в автоматическом режиме осуществлять на уровне ИВКЭ сбор данных измерения с выпрямителей и фидеров подстанций, обработку информации и передачу данных от ИВКЭ к ИВК посредством каналаобразующей аппаратуры и системы передачи данных ОАО «РЖД» (СПД).

Подсистема верхнего уровня решает следующие основные задачи:

– сбор результатов измерений со всех ИВКЭ, входящих в состав ИСКПЭ;

– сбор данных о состоянии средств измерений («Журналов событий») со всех ИВКЭ, входящих в состав ИСКПЭ;

– автоматическое хранение результатов измерений, журналов событий системы, журналов событий ИИК, журналов событий УСПД в базе данных в течение не менее 2 лет;

– резервное копирование баз данных и копирование их архива на внешний носитель информации;

– автоматическая коррекция времени и синхронизация времени с единым календарным временем средствами СОЕВ;

– передача результатов измерений, данных о состоянии средств измерений в службу энергоснабжения и другим заинтересованным субъектам;

– предоставление пользователям и эксплуатационному персоналу регламентированного доступа к визуальным, печатным и электронным данным.

– работа в реальном масштабе времени всей сетевой и серверной инфраструктуры в целом;

– гарантированный прозрачный доступ к информации 24 часа в сутки, 7 дней в неделю, 365 дней в году;

– надежность и отказоустойчивость решения в рамках используемых, а также планируемых, ресурсов;

– высокая производительность сетевого и серверного оборудования всех уровней;

– малое время отклика, адекватная пропускная способность, отсутствие узких мест, изоляция трафика без дополнительных задержек;

– все виды взаимодействия между компонентами ИВК должны осуществляться по стандартным физическим интерфейсам, стандартным протоколам передачи данных и стандартным программным интерфейсам взаимодействия, определенным в спецификациях IEEE 802.3;

– масштабируемость, как для увеличения количества клиентских приложений, так и для роста функциональных возможностей всего комплекса;

– гибкость и управляемость инфраструктуры.

ИВК обеспечивает поддержку следующих основных режимов функционирования:

– основной режим – 24 часа в день, 365 дней в году за исключением времени проведения технологических работ. В основном режиме обеспечивается производительность, достаточная для обмена информацией между всеми элементами в составе ИСКПЭ;

– режим проведения технологических работ (плановые простои). В данном режиме производительность может обеспечиваться не в полном объеме, либо ИВК может быть недоступен клиентам;

– аварийный режим (сбои системы без полной потери функционирования, или отказы с полной потерей всей

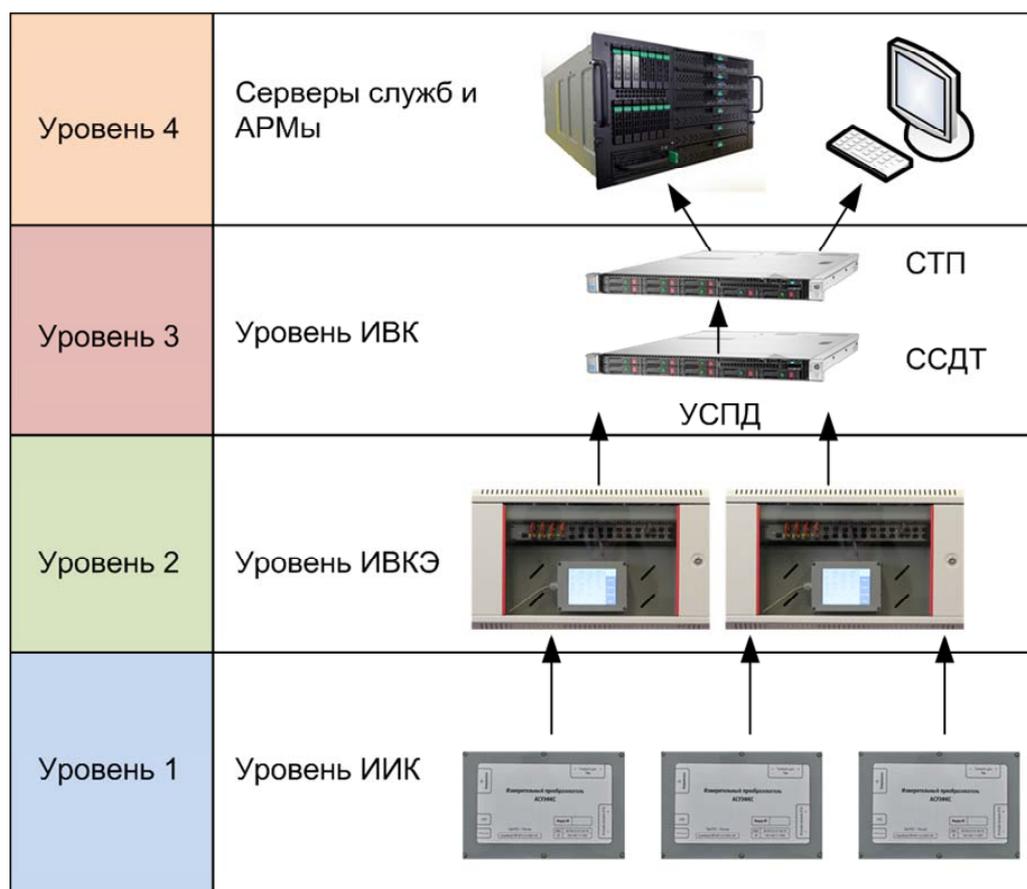


Рис. 6. Структура ИСКПЭ

функциональности или ее части). В данном режиме обмен информацией может осуществляться с потерей производительности (при наличии резервных каналов), для всех или некоторых пользователей система может быть недоступна. Переход системы в аварийный режим не должен сказываться на сохранности данных в других элементах ИСКПЭ.

В ИВК можно выделить следующие функциональные подсистемы, которые носят вспомогательный характер:

1) сетевая подсистема, предназначена для организации взаимодействия между компонентами ИВК по протоколам семейства TCP/IP. Подсистема должна состоять из оборудования коммутации и маршрутизации трафика. Оборудование предназначается для маршрутизации и коммутации трафика внутри ИВК и между элементами ИСКПЭ;

2) подсистема информационной безопасности (ИБ), предназначена для обеспечения уменьшения вероятности утечки конфиденциальной информации, несанкционированной модификации или утраты информации, то есть уничтожения, необратимого искажения с потерей смысла, не доведения информации до адресата или блокировки доступа к ней. Подсистема информационной безопасности включает в себя комплекс следующих средств:

– средства межсетевого экранирования – необходимы для обеспечения пакетной фильтрации сетевого трафика внутри ИВК и между элементами ИСКПЭ;

– средства обнаружения и противодействия атакам – предназначены для обнаружения и исключения трафика сетевой атаки из потока данных;

– средства контроля доступа конечных устройств к сети – предназначены для предотвращения доступа к ИСКПЭ устройств, не соответствующих политике безопасности;

– средства централизованного управления доступом – предназначены для централизованного управления доступом администраторов к оборудованию ИСКПЭ;

– средства управления подсистемы ИБ – предназначены для централизованного управления средствами ИБ.

3) подсистема управления и мониторинга – предназначена для безопасного управления элементами ИСКПЭ, включая централизованное администрирование, сбор системных сообщений, сбор статистики и обновление программного обеспечения. Схема подключения ИВКЭ и ИВК к СПД приведена на рис. 7.

Также к вспомогательным подсистемам ИВК относятся: элементы структурированной кабельной системы, система бесперебойного электропитания и кондиционирования воздуха.

Информационное обеспечение ИВК представляет собой совокупность массивов информации, включая описание структур БД, средств классификации и кодирования информации, унифицированной системы документации, включая входные и выходные формы, программные модули по обеспечению формирования и передачи данных о результатах измерений, о состоянии средств измерений, а также языковых средств системы, используемых для формализации естественного языка при общении пользователей с системой в процессе ее функционирования.

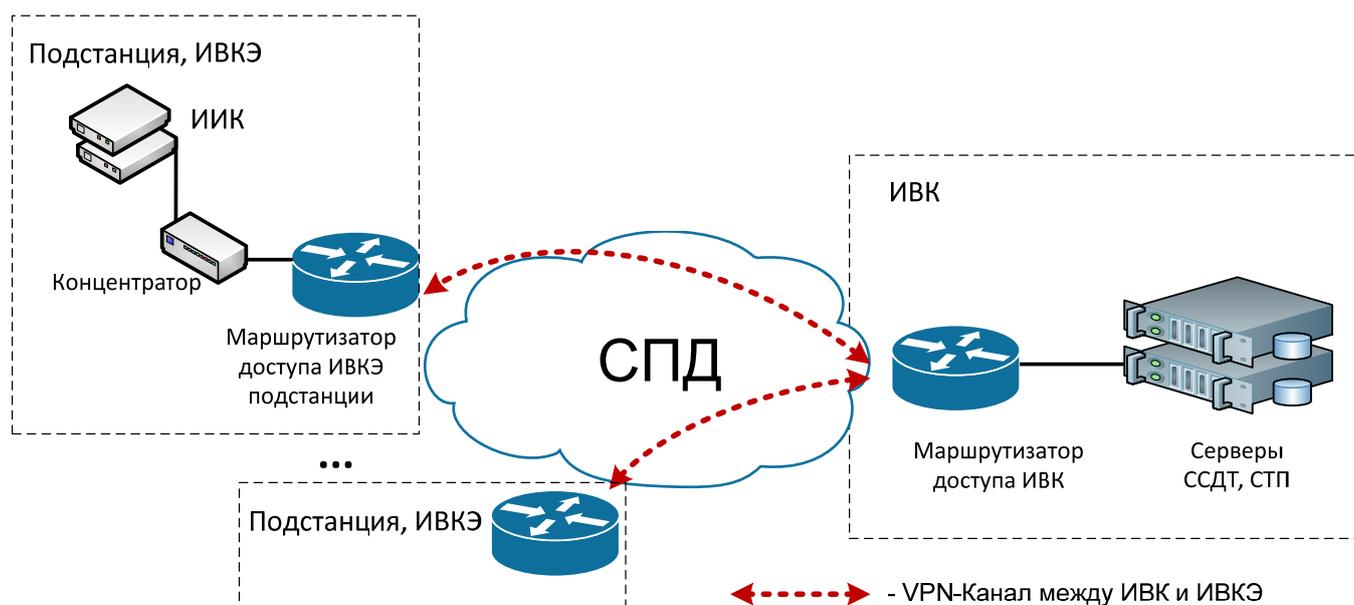


Рис. 7. Схема организации каналов связи

Массивы информации включают в себя:

- техническую информацию, которая может быть использована в расчетных задачах по учету электроэнергии;
- служебную информацию – информацию о текущем состоянии средств учета (журналы событий и т.п.);

Информационное обеспечение обеспечивает:

- ввод, обработку, накопление и хранение информации, необходимой для реализации функций системы;
- представление документов в форме, удобной для работы пользователя, в соответствии с его функциональными обязанностями и установленным разграничением доступа;
- актуальность и достоверность информации в базах данных, ее хранение с минимально необходимой избыточностью, а также контроль полноты и непротиворечивости вводимой информации;
- адаптируемость к возможным изменениям информационных потребностей пользователей и используемым программным и техническим средствам.

Совокупность информационных массивов отвечает следующим требованиям:

- хранение технической, служебной, нормативно-справочной информации не менее 2 лет;
- запись информации в БД содержит данные об источнике, дате и времени;
- при внесении изменений в БД не должно осуществляться коррекции и удаления информации, допускается только дополнение;
- должен быть предусмотрен регламент автоматического копирования информации из БД на внешние носители;
- система управления базой данных должна иметь список пользователей с разграничением прав доступа;
- при ведении журнала событий должны фиксироваться внесённые изменения в БД с привязкой к системному времени.

Лингвистическое обеспечение ИВК ИСКПЭ, как совокупность языковых средств и правил формализации есте-

ственного языка, в целях удобства представления и повышения эффективности машинной обработки информации должно удовлетворять потребностям пользователей в языковых средствах в интересах поддержки автоматизированного выполнения функций. Диагностические сообщения системы, сообщения системы о несанкционированных действиях пользователей, а также сообщения системы при запуске, при решении задач специального программного обеспечения и при работе пользователей с информационным обеспечением являются унифицированными.

Основной функционал ИВК реализуется программным обеспечением, которое исполняется на серверах системы сбора данных телеметрии и телеметрических приложений.

Программное обеспечение ИСКПЭ должно быть достаточным для выполнения всех функций ИСКПЭ, реализуемых с применением средств вычислительной техники, а также иметь средства организации всех требуемых процессов обработки данных, позволяющих своевременно выполнять все автоматизированные функции во всех регламентированных режимах функционирования ИСКПЭ.

Программные средства ИВК ИСКПЭ включают в себя:

- системное программное обеспечение, в том числе операционную систему, а также сетевое ПО, позволяющее функционировать вычислительному комплексу в составе ИВК;
- систему управления базами данных (СУБД);
- программное обеспечение СОЕВ;
- программные модули, осуществляющие сбор, контроль полноты и достоверности результатов измерений.

Состав серверов, количество и производительность процессоров в каждом из серверов соответствуют требованиям прикладных систем. Каждый серверный модуль оснащен двухпортовым адаптером Gigabit Ethernet (скорость интерфейса 1 Гбит/с) с поддержкой технологии TCP/IP Offload Engine. Каждый серверный модуль оснащен интегрированным портом удаленного управления

При организации каналов связи между элементами ИСКПЭ должно учитываться, что передача результатов

измерений, данных о состоянии объектов и средств измерений возможна как в режимах автоматической передачи данных, так и в режиме выполнения запроса «по требованию». Также требуется обеспечить резервирование каналов, основные и резервные каналы связи должны быть разделены как на физическом, так и на логическом уровнях. При выборе канала связи руководствуются несколькими критериями: производительность, надежность, доступность, стоимость организации и обслуживания. При оценке производительности также необходимо учитывать задержки, которые возникают в каналах связи.

Основным стек протоколов на всех уровнях ИСКПЭ является стек TCP/IP, что обеспечивает следующие преимущества:

- массовость (стек реализован в большинстве сетевых устройств);
- заложенная в самом протоколе иерархичность;
- возможность одновременного функционирования на одном устройстве нескольких сетевых процессов;
- унификация доступа к устройствам и простота администрирования (система администрируется на уровне самих сервисов);
- простота реконфигурирования, масштабирования с сохранением целостности системы (соответствие структуре «доступ – распределение – ядро»).

Следует отметить, что реализация и оптимизация IP-сервисов в ИСКПЭ выполняются в следующих основных направлениях:

- выявление критериев для оптимизации и создание имитационной модели IP-сети, адаптированной под требования системы;
- анализ и корректировка таких характеристик, как, например, задержка данных, особенно в поточном режиме работы (real-time);
- разработка правил (методик) тонкой настройки сервисов, учитывающих специфику системы (предэксплуатационная наладка системы);
- анализ и возможность реконфигурации нагрузки сети, в том числе автоматическое управление трафиком;
- рассмотрение возможности использования каналов системы не только для передачи измерений (рациональное встраивание ИВК ИСКПЭ в уже существующую инфраструктуру).

Для внутрисистемного информационного обмена используются открытые стандартные протоколы, которые обеспечивают:

- функциональную полноту и корректность реализации функций;
- совместимость систем и аппаратуры различных поставщиков;
- возможность объективного независимого тестирования реализации протокола;
- на физическом уровне используется интерфейс Ethernet.

В таблице 1 представлены используемые для сетевого взаимодействия ИВКЭ и ИВК протоколы и порты стека протоколов TCP/IP.

Технологическое оборудование каждой подстанции формирует постоянный во времени поток технологических данных, который отправляется к ИВК с постоянной скоростью до 50 Кбит/с (исходящий поток). Кроме того,

эпизодически (асинхронно со скоростью не более 10 Кбит/с в обе стороны) осуществляется обоюдный обмен служебными данными между ИВКЭ и ИВК (например, передача команд на калибровку оборудования и т.п.).

Таблица 1

Протоколы обмена данными и служебной информацией

Порт	Протокол	Примечание
20, 21	FTP	Передача данных и команд FTP
80, 8080	HTTP	Протокол HTTP
443	HTTPS	HTTP с шифрованием по SSL
25	SMTP	Протоколы электронной почты
143	IMAP	Протоколы электронной почты
110	POP3	Протоколы электронной почты
161	SNMP	Служба SNMP
23	Telnet	Системная служба Telnet
123	NTP, SNTP	Служба времени
9200-9210	–	Специализированные протоколы обмена данными Системы

Необходимая пропускная способность каналов от каждой подстанции до ИВК составляет не более 80 Кбит/с (исходящий поток) и не более 10 Кбит/с (входящий поток), а со стороны верхнего уровня – не более 100 Кбит/с (исходящий поток) и не более 800 Кбит/с (входящий поток). Предполагаемые объемы передаваемых данных за секунду, час, сутки, месяц приведены в таблице 2.

Таблица 2

Предполагаемые объемы передаваемых данных

№	Источник, направление	за сек., Кбайт	за час, Мбайт	за сутки, Мбайт	за месяц, Мбайт
1	от подстанции	10	36	864	26784
2	к подстанции	1,25	4,5	108	3348
3	от ИВК	12,5	45	1080	33480
4	к ИВК	100	360	8640	267840

В качестве основного канала передачи данных системы выбрана система передачи данных ОАО «РЖД».

Маршрутизаторы доступа ИВК обеспечивают обслуживание внутренней технологической сети передачи данных системы с одной стороны и подключение к СПД с другой стороны. Таким образом, формируются несколько точек подключения к СПД со стороны подстанций и одна точка подключения к СПД со стороны ИВК.

Протоколы и порты TCP для реализации специализированных протоколов обмена данными системы могут быть скорректированы на стадии подключения к СПД по согласованию со службой информатизации дороги.

Обеспечение информационной безопасности в системе осуществляется за счет следующих организационных и технических мер:

- трафик данных, формируемый в системе, может быть локализован в рамках отдельного вилана (VLAN);
- оборудование ИВКЭ и ИВК размещается в закрытых коммуникационных шкафах, которые расположены в помещениях с ограниченным доступом;

– на сетевом оборудовании ИВКЭ и ИВК, а также серверах ИВК используются средства информационной безопасности (фаервол) и антивирусной защиты;

– доступ к программным средствам осуществляется исключительно средствами аутентификации пользователей в соответствии со списком лиц, допущенных для обслуживания и пользования элементами системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная информационная система оперативного контроля параметров электроэнергии в сети тягового электроснабжения внедрена в опытную эксплуатацию на полигоне Свердловской железной дороге и явилась первым шагом для реализации системы контроля электроснабжения в тяговой сети. Следующим шагом является расширение информационной системы с целью учета электроэнергии на подвижном составе и интеграция ее в ИСКПЭ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Раевский Н.В., Яковлев Д.А. Моделирование и прогнозирование процессов электропотребления на железнодорожном транспорте. Иркутск. ИрГУПС. 2007. 115 с.
2. S. Stichel. Railway electrification - course of rail vehicle technology. KTH, 2012.
3. Железко, Ю.С. Расчет анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко, А.В. Артемьев, О.В. Савченко. М.: НЦ ЭНАС, 2006. 280 с.
4. Железко, Ю.С. Методы расчета технических потерь электроэнергии в сетях 380/220 В / Ю.С. Железко // Электрические станции. 2002. № 1. С. 14-20.
5. Железко, Ю.С. Определение интегральных характеристик графиков нагрузки для расчета потерь электрической энергии в электрических сетях / Ю.С. Железко, О.В. Савченко // Электрические станции. 2002. № 10. С. 9-13
6. Железко, Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях / Ю.С. Железко. М.: Энергоатомиздат, 1989.
7. Cheremisin V. T. Increasing energy efficiency for traction substations // The 6th International Symposium for Transportation Universities in Europe and Asia. / Korea National University of Transportation. – 2013.
8. Черемисин В.Т. Оценка потенциала повышения энергетической эффективности системы тягового электроснабжения / В.Т. Черемисин, М.М. Никифоров // Известия Транссиба. Омск, 2013. №2. С. 75 – 84.
9. Осика, Л.К. Коммерческий и технический учет электрической энергии на оптовом и розничном рынках: Теория и практические рекомендации / Л.К. Осика. СПб.: Политехника, 2005. 360 с.
10. G. Hofmann. Modellierung und Berechnung von Bahnstromversorgungsnetzen. Elektrische Bahnen, 1995, № 3, S. 73 – 78.
11. Бурков А.Т., Марикин А.Н. Управление напряжением в контактной сети на скоростных участках. Железнодорожный транспорт, 2006, № 10. С. 55 – 57.

12. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Асташин С.М. Моделирование и управление в системах тягового электроснабжения. Электронный научный журнал «Исследовано в России». <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles>

13. L. Cunha, N. Henriques, J. Esteves, and J. Santana, «Computer aided design tool for the study of electric traction fixed installations and train operation», Int. Conf. on Computers in Railways VI, COMPRAIL '98, September 1998, Lisbon, Portugal, pp. 479–487.

14. T. Kulworawanichpong. Optimising ac electric railway power flows with power electronic control, PhD, University of Birmingham, UK, November 2003.

15. Измерение расхода энергии на электроподвижном составе. Экологические системы, №11, 2003.

16. Давыдов Б.И. Об измерении потерь энергии в контактной сети. Вестник ВНИИЖТ, № 1, 2007, С. 42-44.

17. M. Grobler. Determining transmission line parameters from time-stamped data. PhD thesis. University of Pretoria, July, 2007

18. Интегрированная автоматизированная система для тяговой подстанции. http://www.tmc.ru/sistemy_i_resheniya/resheniya/transport/zheleznodorozhnyj_transport/integrirovannaja_avtomatizirovannaja_sistema_dlja/

19. Система взаимодействия с локомотивом <http://www.trans-ip.ru/svltr.html>

20. Ожегов, А. Н. Системы АСКУЭ: учебное пособие / А.Н. Ожегов. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. 102с.

21. Измерение.RU – Системы АСКУЭ (АИИС) для рынка электроэнергии. Счетчики электроэнергии, воды и тепла [Электронный ресурс] / Компания «Эльстер Метроника». – Электрон. текстовые дан. – М.: Компания «Эльстер Метроника», 2008. – Режим доступа: <http://www.izmerenie.ru/>

22. Никифоров М. М. Принципы построения систем учета электроэнергии на фидерах контактной сети постоянного тока / М. М. Никифоров, А. С. Окишев, С. Н. Чижма // Электрификация и развитие инфраструктуры энергообеспечения тяги поездов скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта: Тезисы докладов Седьмого международного симпозиума «Eltrans'2013». Петербургский гос. ун-т путей сообщения. СПб, 2013. С. 74–79.

23. Чижма С. Н. Система учета электроэнергии на фидерах контактной сети / С. Н. Чижма, А. С. Окишев, А. А. Лаврухин, А. Б. Кильдибеков // Информационные и управляющие системы на транспорте и в промышленности: Материалы Всероссийской научно-технической интернет-конференции с международным участием. Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2014. С. 179–184.

24. Чижма С.Н. Применение систем синхронизации времени в сетях электроснабжения железнодорожного транспорта. Инновационные проекты и новые технологии в образовании, промышленности и на транспорте: Материалы научно-практической конференции / С.Н. Чижма, Ю.В. Кондратьев А.А. Хряков, А.С. Онуфриев // Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2011. С. 263-266.

Information System of Operational Control Parameters of Electricity in the Traction Power Supply Network

Chizhma S.N., Lavruhin A.A., Maliutin A.G., Okishev A.S.

Omsk State Transport University,
department «Automation and control systems»
Omsk, Russia
chizhmasn@omgups.ru

Abstract. Described block diagram, the algorithmic basis, functional composition and some technological features of hardware and software of the information system of operational control parameters of electricity in the traction power supply network.

Keywords: information system, the parameters of electricity, the unit of data collection and transmission, data transmission system, information-computing system, the server system for the collection of telemetry data, the telemetry server applications, system I used a single time.

REFERENCES

1. Zakarukin V.P., Krukov A.V., Raevski N.V. *Modelirovanie i prognozirovanie protsessov na zheleznodorozhnom transporte* [Modeling and forecasting of processes of energy consumption in rail transport]. Irkutsk. IrSTU. 2007. 115 p.
2. S. Stichel. Railway electrification - course of rail vehicle technology. KTH, 2012.
3. Zhelezko U.C. *Raschet, analiz i normirovanie poter elektroenergii v elektricheskikh setiakh: Rukovodstvo dlia prakticheskikh raschetov* [Calculation analysis and valuation losses of electricity in electric networks: a Guide for practical calculations] / U.C. Zhelezko, A.V. Artemiev, O.V. Savchenko. M.: NC ENAK, 2006. 280 p.
4. Zhelezko U.C. *Metody rascheta tekhnicheskikh poter elektroenergii v setiakh 380/220 V* [Methods of calculation of technical losses in the network 380/220 V] / U.C. Zhelezko // *Elektricheskije stantsii* [Electrical station]. 2002. № 1. C. 14-20.
5. Zhelezko U.C. *Opreделение integralnykh karakteristik grafikov nagruzki dlia rascheta poter elektroenergii v elektricheskikh setiakh* [The definition of the integral characteristics of the load curves for calculation of electric energy losses in electric networks] / U.C. Zhelezko, O.V. Savchenko // *Elektricheskije stantsii* [Electrical station]. 2002. № 10. P. 9-13
6. Zhelezko U.C. *Vybor meropriatii po snizheniu poter elektroenergii v elektricheskikh setiakh* [The choice of measures to reduce electricity losses in electric networks] / U.C. Zhelezko. M.:Ergoatomizdat, 1989. 211 p.
7. Cheremisin V. T. Increasing energy efficiency for traction substations // The 6th International Symposium for Transportation Universities in Europe and Asia. / Korea National University of Transportation. – 2013.
8. Cheremasin V.T. *Otzenka potenciala povyshenia energeticheskoy effektivnosti sistemy tiagovogo elektrosnabzhenia* [Evaluation of potential energy efficiency of electric traction system] / V.T. Cheremisin, M.M. Nikiforov // *Izvestia Transsiba* [Proceedings of the TRANS-Siberian railway]. Omsk, 2013. №2. P. 75 – 84.
9. Osika L.K. *Kommerchesky i tehichesky uchet elektricheskoy energii na optovom i roznichnom ryinkach: Teoria i prakticheskie rekomendacii* [Commercial and technical accounting of electric energy on wholesale and retail markets: Theory and practical advice] / L.K. Osika. SPb.: Politechnica, 2005. 360 p.
10. G. Hofmann. Modellierung und Berechnung von Bahnstromversorgungsnetzen. Elektrische Bahnen, 1995, № 3, S. 73 – 78.
11. Burkov A.T., Marikin A.N. *Upravlenie napriazheniem v kontaktnoy seti na skorostnykh uchastkakh* [The control voltage in the contact network of high speed sections]. *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway transport], 2006, № 10. P. 55 – 57.
12. Zakarukin V.P., Krukov A.V., Astashin C.M. *Modelirovanie i upravlenie v sistemah tiagovogo elektrosnabzhenia* [Modeling and control in systems of traction power supply]. *Issledovano v Rossii* [IS investigated IN RUSSIA]. Available at <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles> (accessed 1 May 2015)
13. L. Cunha, N. Henriques, J. Esteves, and J. Santana, «Computer aided design tool for the study of electric traction fixed installations and train operation», Int. Conf. on Computers in Railways VI, COMPRAIL'98, September 1998, Lisbon, Portugal, pp. 479–487.
14. T. Kulworawanichpong. Optimising ac electric railway power flows with power electronic control, PhD, University of Birmingham, UK, November 2003.
15. *Izmerenie pashoda elektroenergii na elektropodvizhnom sostave* [Measurement of energy consumption in electric rolling stock]. *Ekologicheskije sistemy* [Ecological system], №11, 2003.
16. Davydov B.I. Ob izmerenii poter energii v kontaktnoy seti [About the measurement of energy losses in catenary]. *Vestnik VNIIZHT* [Vestnik VNIIZHT], № 1, 2007, p. 42-44.
17. M. Grobler. Determining transmission line parameters from time-stamped data. PhD thesis. University of Pretoria, July, 2007
18. *Integrirovannaya avmatizirovannaya sistema dlia tyagovoy podstancii* [Integrated automated system for traction substation]. Available at http://www.tmc.ru/sistemy_i_reshenija/reshenija/transport/zheleznodorozhnyj_transport/integrirovannaya

vannaja_ avtomatizirovannaja_sistema_dlja_/_ (accessed 1 May 2015).

19. *Sistema vzaimodeystvia s lokomotivom* [The system of interaction with the locomotive]. Available at <http://www.trans-ip.ru/svltr.html> (accessed 1 May 2015).

20. Ozhegov, A. N. *Sistemy ASKUE: Uchebnoe posobie* [AMR system: study guide] / A.N. Ozhegov. – Kirov: ViatSU, 2006. 102 p.

21. *Sistemy ASKUE (AIIS) dlia rynka elektroenergii. Shetchiki elektroenergii, vody, tepla* [AMR system (AIIS) for the electricity market. Electricity meters, water and heat] / The Company «Elster Metronica»: Available at <http://www.izmerenie.ru/> (accessed 1 May 2015).

22. Nikiforov M. M. *Printsipy postroenia system ucheta elektroenergii na fiderah kontaktной seti postoyannogo toka* [Principles of electric power metering systems at feeder catenary DC] / M. M. Nikiforov, A. S. Okishev, S. N. Chizhma // *Elektrifikatsia i razvitie infrastruktury energoobespechenia tyagi poezdov skorostnogo i vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta: Tezisy dokladov sedmogo mezhdunarodnogo simpoziuma «Eltrans'2013»* [Electrification and infrastructure development of traction power supply high-speed trains and high speed rail: Abstracts of the Seventh international Symposium

"Eltrans'2013"]. Petersburg State Transport University. SPb, 2013. P. 74–79.

23. Chizhma S. N. *Sistema ucheta elektroenergii na fiderah kontaktной seti* [The metering system on the catenary feeders] / S. N. Chizhma, A. S. Okishev, A. A. Lavruhin, A. B. Kildibekov // *Informatcionnye i upravlyauchie sistemy na transporte i v promyshlennosti: materialy vserossiskoy nauchno-tehnicheskoy internet-konferencii s mezhdunarodnym uchastiem* [Information and control systems in transport and industry: proceedings of all-Russian scientific and technical Internet-conference with international participation]. Omsk State Transport University. Omsk, 2014. P. 179–184.

24. Chizhma S. N., *Primenenie system sinhronizatsii v setiah elektrosnabzhenia zheleznodorozhnogo transporta* [Application of systems time synchronization in power networks of the railway transport]. *Innovatsionnye proekty i novye tehnologii v obrazovanii, promyshlennosti i na transporte: materialy nauchno-prakticheskoy konferencii* [Innovative projects and new technologies in education, industry and transport: materials of scientific-practical conference] / S. N. Chizhma, Y. V. Kondratiev, A. A. Chriakov, A. S. Onufriev // Omsk State Transport University. Omsk, 2011. P. 263–266.

Подход к построению алгоритмов статистического анализа потоков ошибок в дискретных каналах связи

Красновидов А. В.
Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия,
<alexkrasnovidow@mail.ru>

Аннотация. Для построения эффективных и надежных систем связи необходимо знание статистических характеристик потоков ошибок, действующих в каналах передачи дискретной информации. Эта задача может быть решена путем обработки результатов экспериментальных исследований каналов связи. В статье предлагается подход к построению алгоритмов обработки потоков ошибок в дискретных каналах связи, обеспечивающий оперативное получение их статистических характеристик. Предлагаемый подход дает возможность одновременного получения нескольких характеристик за один просмотр потока ошибок, представленного в интервальной форме. Соответствующая программная система может быть реализована в виде RPC-приложения.

Ключевые слова: передача данных, поток ошибок, безошибочный интервал, сегмент, отрезок, сервер обработки данных, RPC, DCOM.

ВВЕДЕНИЕ

Для построения эффективных и надежных систем связи необходимо знание статистических характеристик потоков ошибок, действующих в каналах передачи дискретной информации. Эта задача может быть решена путем обработки результатов экспериментальных исследований каналов связи. Экспериментальное исследование каналов связи состоит в передаче испытательных последовательностей, анализе верности передачи и регистрации результатов этого анализа. Для анализа верности передачи по каждой позиции испытательной последовательности сравнивается символ на выходе канала с переданным, при их совпадении регистрируется символ 0, при несовпадении (ошибка) регистрируется символ 1. Последовательность результатов сравнения представляет собой экспериментально наблюдаемую реализацию $\{e_k\}$ последовательности ошибок E . Таким образом, поток ошибок $E = \{e_k\}$ представляет собой последовательность случайным образом расположенных 0 и 1 (т.е. $e_k = 0 \cup 1$).

Поток ошибок E можно различным образом записать в компактном виде, воспользовавшись, например, интервальным представлением [1]. Тогда описание двоичного процесса E заменяется описанием однозначно отображающего его недвоичного процесса $A = \{a_k\}$, где $a_k = \lambda_k$, где $\lambda = 0, 1, 2, \dots, n$. случайная величина, равная длине безошибочного интервала. Поэтому задача обработки двоичного процесса E сводится к обработке последовательности случайных целых чисел A .

ОБРАБОТКА БОЛЬШИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

В [2] рассмотрена задача обработки большой последовательности нумерованных элементов $A_N = \{a_1, \dots, a_n\}$ и получения некоторой интегральной характеристики (в общем случае векторной) всей последовательности, а также ее частей-сегментов S_k , каждые из которых имеет длину m_k соответственно.

Получение таких характеристик возможно в ходе последовательной обработки, что формализуется в виде:

$$f(A_N) = \psi \left(f(A_Y), \frac{A_N}{A_Y} \right), \quad (1)$$

где $A_Y = \{a_1, \dots, a_Y\}$ – отрезок последовательности от начала по a_Y включительно; $\frac{A_N}{A_Y}$ – остаток A_N , подлежащий обработке. Как правило, удается построить более простую (в смысле количества операций), чем $f(A_Y)$ характеристику отрезка A_Y , имеющую минимальный объем и содержащую всю необходимую для определения $f(A_N)$ информацию – $F(A_N)$. Такую характеристику, по аналогии с математической статистикой, можно назвать достаточной. Тогда соотношение (1) будет иметь вид:

$$f(A_N) = \psi_1 \left(F(A_Y), \frac{A_N}{A_Y} \right), \quad (2)$$

Во многих задачах последовательной обработки A_N , может быть разбита на последовательность таких сегментов S_k , когда для каждого из них существует достаточная характеристика, не зависящая от результатов обработки предшествующих сегментов. Сегменты, для которых можно построить такие достаточные характеристики, называются полными и будут обозначаться W .

Очевидно, что для получения достаточной характеристики объединения полных сегментов,

необходимо располагать только множеством достаточных характеристик этих сегментов:

$$F(W_k \cup W_j \cup \dots \cup W_r) = \psi_2(F(W_k), F(W_j), \dots, F(W_r)). \quad (3)$$

Для случая последовательной обработки соотношение (3) переходит в рекуррентную процедуру следующего вида:

$$F(\tilde{A}_{k+1}) = \psi_2(F(\tilde{A}_k), F(W_{k+1})), \quad (4)$$

где

$$\tilde{A}_j = W_1 \cup W_2 \cup \dots \cup W_j.$$

Приведенное описание охватывает все виды последовательной обработки информации в оперативной памяти компьютера, если эта информация в каком-либо организованном виде хранится во внешней памяти (магнитные ленты, диски).

Пусть последовательность A_N разбивается на отрезки равной длины и количество таких разбиений равно R . Длина отрезка для разбиения с номером i равна μ_i . Пусть наибольший общий делитель (НОД) длин отрезков $\{\mu_i\}$ равен μ_0 (элементарный сегмент). Тогда для любого элементарного сегмента длиной μ_0 , начинающегося с элемента $a_{(k-1)\mu_0+1}$, может быть построена достаточная характеристика

$$\varepsilon_k = F(a_{(k-1)\mu_0+1}, \dots, a_{k\mu_0}).$$

Очевидно, что $\mu_i = m_i * \mu_0$, где m_i – количество элементарных сегментов в отрезке длиной μ_i .

Пусть w_{ji} обозначает j -й по порядку сегмент i -го разбиения. Его достаточная характеристика может быть построена с помощью соотношений (3) и (4). Так как

$$W_{ji} = v_{(j-1)m_i+1} \cup v_{(j-1)m_i+2} \cup \dots \cup v_{jm_i}, \quad (5)$$

где v_k – элементарный сегмент i -го разбиения, то справедливым оказывается следующее соотношение для вычисления достаточной характеристики сегмента w_{ji} :

$$F(w_{ji}) = \psi_2(\varepsilon_{(j-1)m_i+1}, \varepsilon_{(j-1)m_i+2}, \dots, \varepsilon_{jm_i}). \quad (6)$$

Отсюда, в соответствии с (4), достаточная характеристика сегмента w_{ji} может быть рассчитана рекуррентно:

$$\begin{aligned} F^1(w_{ji}) &= \varepsilon_{(j-1)m_i+1}; \\ F^k(w_{ji}) &= \psi_2(F^{k-1}(w_{ji}), \varepsilon_{(j-1)m_i+k}). \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь k – номер шага вычисления $F(w_{ji})$. Так как всегда можно ввести некоторую величину $F^0(w_{ji})$ так, чтобы выполнялось соотношение:

$$F^1(w_{ji}) = \psi_2(F^0(w_{ji}), \varepsilon_{(j-1)m_i+k}),$$

то рекуррентная процедура будет иметь вид:

$$\begin{aligned} F^k(w_{ji}) &= \psi_2(F^{k-1}(w_{ji}), \varepsilon_{(j-1)m_i+k}); \\ F(w_{ji}) &= F^{m_i}(w_{ji}), k = 1, 2, \dots, m_i. \end{aligned} \quad (8)$$

При таком подходе нет необходимости сохранять ранее рассчитанные достаточные характеристики ε_k , так как достаточной характеристикой любого сегмента S ,

состоящего из r элементарных сегментов, входящих в w_{ji} , начиная с первого, будет

$$F^r(w_{ji}) = F(v_{\mu+1} \cup v_{\mu+2}, \dots, \cup v_{\mu+r}). \quad (9)$$

ОБЩИЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ АЛГОРИТМОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

Пусть рассматривается разделение потока ошибок на блоки (отрезки) равной длины. Разделение исходного потока ошибок на отрезки (блоки) равной длины L будем называть разбиением.

Пусть анализируется последовательность первых N интервалов, которая представляет собой часть потока, заканчивающуюся N -ой ошибкой. Длина этой последовательности определяется выражением:

$$S_N = \sum_{i=1}^N a_i.$$

Количество отрезков (блоков) длиной L :

$$M = \left\lfloor \frac{S_N}{L} \right\rfloor.$$

Длина последнего, как правило, неполного отрезка длины L определяется выражением:

$$J_N = S_N - \left\lfloor \frac{S_N}{L} \right\rfloor * L = S_N \pmod{L}. \quad (10)$$

Интервал a_i называется L -граничным, если один из его концов является первым символом некоторого L -отрезка.

Если интервал (число) a_j является M -ым по счету L -граничным интервалом, то $S_{j-1} \leq M * L < S_j$, где

$$S_j = \sum_{i=1}^j a_i = S_{j-1} + a_j.$$

Пусть a_j есть N -й по счету L -граничный интервал. Тогда окончание этого интервала, принадлежащего L -отрезку с номером N , определяется из соотношения:

$$a_j = S_j \pmod{L}.$$

При этом по завершении обработки L -отрезка с номером N и переходе к обработке L -отрезка с номером $(N + 1)$ будет справедливо:

$$\begin{cases} J_N = \sum_{i=j}^N a_i; \\ \text{при } j \leq N - 1; J_N < L \\ J_{N+1} = J_N + a_{N+1}. \end{cases}$$

Тогда L -граничный интервал определяется неравенством $J_{N-1} < L < J_N - 1$, а из выражения (10) следует, что $0 \leq J_N < L$ и $J_0 = -1$. Отсюда условие того, что интервал является L -граничным, имеет вид:

$$J_N \geq L. \quad (11)$$

Если условие выполнено, то a_N – есть L -граничный. Тогда «стирается» ставшая ненужной часть последовательности, содержащая целое число L -отрезков:

$$J_N = \left(\sum_{i=1}^N a_i \right) \pmod{L}. \quad (12)$$

На рис. 1 показано разбиение части потока ошибок (ошибки обозначены символом *) состоящей из первых

восьми безошибочных интервалов, на L-отрезки, при этом все изображенные интервалы, кроме a_4, a_6 и a_7 , являются L – граничным. a_1 – первый по счету L – граничный интервал, a_5 – четвертый по счету.

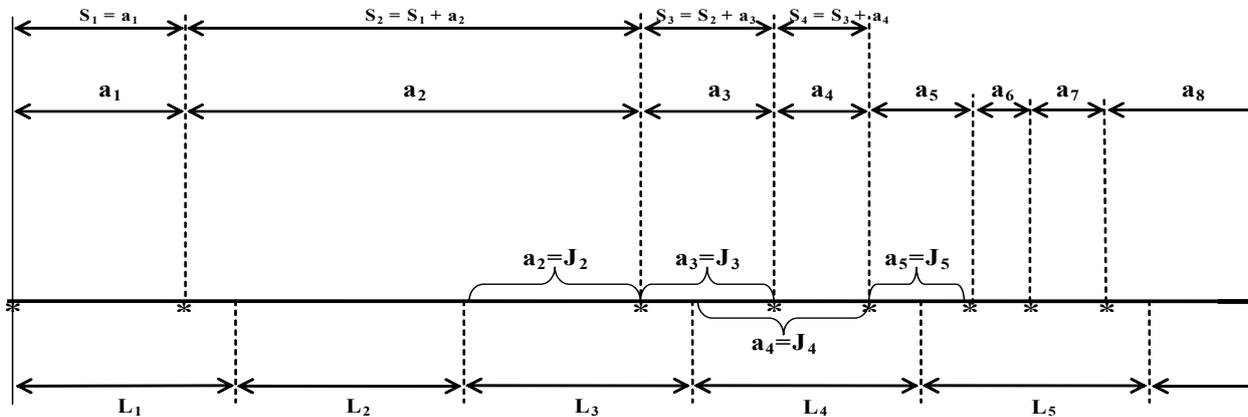


Рис. 1. Разбиение потока ошибок L-отрезки

Рассмотренная методика иллюстрируется алгоритмом для вычисления кратности (количества) ошибок в блоках различной длины.

Эти характеристики потока ошибок дают возможность правильно выбрать наиболее подходящий код для данного канала связи, выбрать оптимальную длину передаваемого кадра и т.п.

В этой задаче имеет место разбиение потока ошибок на блоки длиной L. Полные сегменты здесь совпадают с элементарными. Достаточной характеристикой полного такого сегмента является количество ошибок в каждом блоке. Достаточной характеристикой всего потока является количество блоков, содержащих K ошибок ($K = 1 \div L$), которое пересчитывается после обработки очередного безошибочного интервала a_j .

Обработка очередного безошибочного интервала включает в себя следующие операции:

1. Проверяется, является ли очередной интервал a_i L – граничным, т. е. выполнение условия:

$$a_i < L.$$

Если это условие не выполнено, то анализируемый интервал обязательно является L – граничным. Если оно выполнено, то анализируемый интервал может быть L – граничным, а может таковым не являться. В этом случае проверяется условие:

$$J_N = J_N \pmod{L} \leq a_i. \quad (13)$$

2. Если оно выполнено, то анализируемый интервал является L – граничным. Проверка условия (13) эквивалентна проверке общего условия (11), так как в силу (10):

$$J_{N-1} = \left(\sum_{j=1}^{N-2} a_j + a_{N-1} \right) \pmod{L}.$$

Тогда (13) записывается следующим образом:

$$J_N = \begin{cases} J_{N-1} + a_N > a_N, & \text{если } J_{N-1} + a_N < L; \\ a_N - \Delta(a_N) \leq a_N, & \text{если } J_{N-1} + a_N > L. \end{cases}$$

Второе из этих неравенств следует из того, что:

$$\begin{aligned} J_N &= J_{N-1} + [a_N + \Delta(a_N)] - \Delta(a_N) \\ &= J_{N-1} + \Delta(a_N) + (a_N - \Delta(a_N)) \\ &= a_N - \Delta(a_N) \leq a_N, \end{aligned}$$

где $\Delta(a_N)$ – часть отрезка a_N , которая обеспечивает выполнение условия (12).

3. Если очередной интервал не является L – граничным, то пересчитывается соответствующая достаточная характеристика. В результате обработки всей последовательности будет сформировано множество достаточных характеристик вида:

$$F^N = (W_i) = k_i; i = 1 \div M; k = 0,1,2 \dots$$

Здесь i – количество ошибок в L – блоках, k_i – количество блоков с i ошибками, N – номер шага обработки.

ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Рассмотренный подход к построению алгоритмов статистической обработки потоков ошибок может быть

применен для создания аппаратно – программного комплекса, предназначенного для анализа состояния дискретных каналов, в том числе, и в реальном времени (экспресс – анализ). С примерами подобных комплексов можно познакомиться в [3], [4]. Принципы их работы основаны на регистрации потоков ошибок на промежуточных носителях и последующей их обработке с помощью средств вычислительной техники.

При этом исследователей и проектировщиков интересуют как интегральные характеристики всей

последовательности в целом, так и отдельных ее частей – сегментов. В [2] показано, что экономия времени при обработке всей последовательности и еще R ее разбиений при параллельной обработке по отношению к методу непосредственной обработки составляет R^2 раз.

Это приводит к следующей схеме реализации системы для определения характеристик потоков ошибок, возникающих в результате использования каналов связи, показанной на рис. 2.

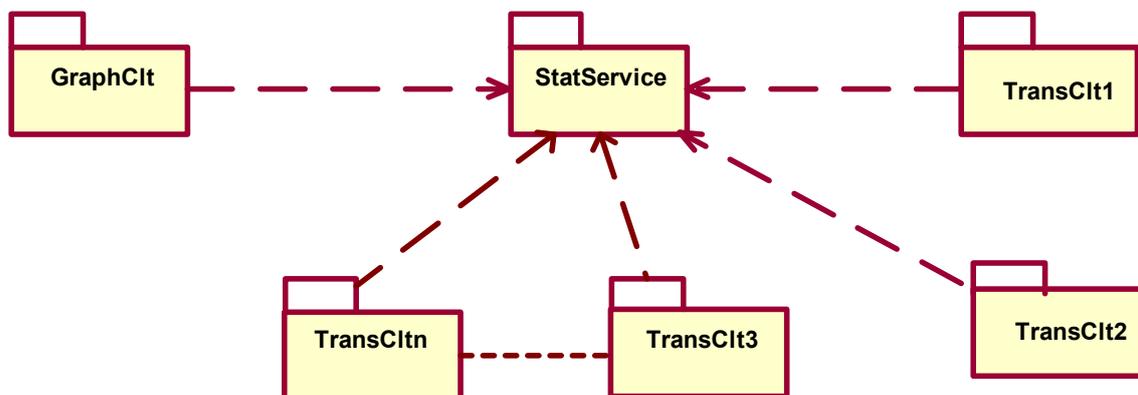


Рис. 2. Архитектура системы для определения характеристик потоков ошибок

Система может быть реализована в рамках клиент – серверной технологии распределенных вычислений. Она включает в себя следующие компоненты:

- Сервер обработки данных StatService;
- Программы предварительной обработки потоков ошибок TransClt1 TransCltN, вычисляющих достаточные характеристики;
- Программа отображения результатов работы GraphClt.

Таким образом, предлагаемая архитектура представляет собой распределенное приложение. Существует две основные возможности его реализации:

1. Технология вызовов удаленных процедур (Remote ProcedureCall — RPC).

2. Технология распределенной модели составных объектов (Distributed Component Object Model — DCOM).

Идея вызова удаленных процедур (Remote Procedure Call -RPC) состоит в расширении хорошо известного и понятного механизма передачи управления и данных внутри программы, выполняющейся на одной машине, на передачу управления и данных через сеть. Средства удаленного вызова процедур предназначены для облегчения организации распределенных вычислений. Наибольшая эффективность использования RPC достигается в тех приложениях, в которых существует интерактивная связь между удаленными компонентами с небольшим временем ответов и относительно малым количеством передаваемых данных. Такие приложения называются RPC-ориентированными.

Характерными чертами вызова удаленных процедур являются:

- асимметричность, то есть одна из взаимодействующих сторон является инициатором;

- синхронность, то есть выполнение вызываемой процедуры приостанавливается с момента выдачи запроса и возобновляется только после возврата из вызываемой процедуры.

Идея, положенная в основу RPC, состоит в том, чтобы вызов удаленной процедуры сделать выглядящим по возможности так же, как и вызов локальной процедуры. Другими словами, сделать RPC прозрачным: вызываемой процедуре не требуется знать, что вызываемая процедура находится на другой машине, и наоборот [5].

RPC достигает прозрачности следующим путем. Когда вызываемая процедура действительно является удаленной, в библиотеку помещается вместо локальной процедуры другая версия процедуры, называемая клиентской заглушкой (stub). Подобно оригинальной процедуре, заглушка вызывается с использованием вызываемой последовательности, так же происходит прерывание при обращении к ядру. Только в отличие от оригинальной процедуры она не помещает параметры в регистры и не запрашивает у ядра данные, вместо этого формирует сообщение для отправки ядру удаленной машины. Взаимодействие программных компонентов при выполнении удаленного вызова процедуры иллюстрируется рис. 3.

При применении средств DCOM, вызывается метод интерфейса, используя некоторые аргументы. В DCOM вызов метода преобразуется в вызов RPC. В этом случае процедура эквивалентна методу, который находится в компоненте.

Подобно этому, когда служба DCOM вызывается с помощью метода интерфейса DCOM, этот вызов преобразуется в удаленный вызов процедуры, т.е. в вызов метода компонента службы DCOM.

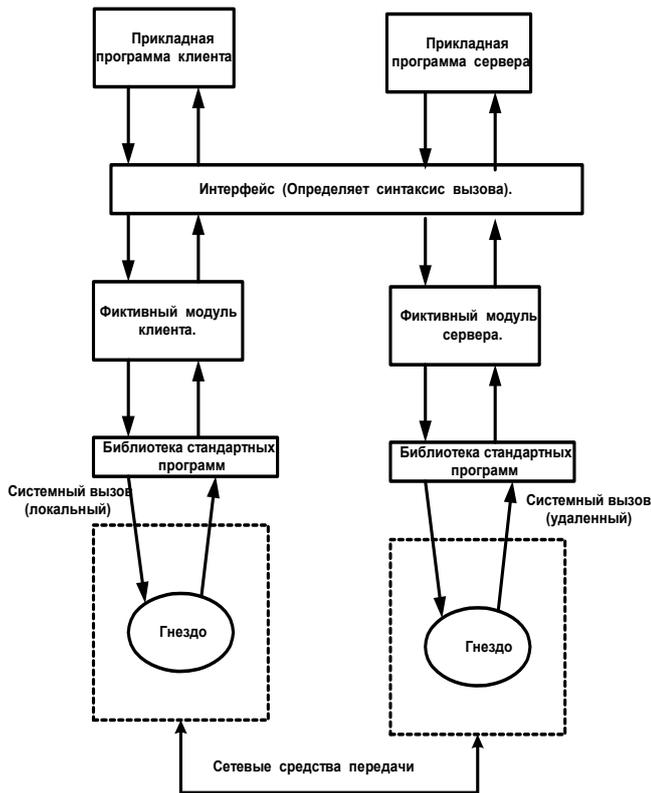


Рис. 3 Вызов удаленной процедуры

Средства DCOM полностью зависят от средств Microsoft RPC, обеспечивающих распределенную обработку. Кроме того, существенным является то, что в рамках архитектуры взаимодействия открытых систем (Open System Foundation – OSF) интерфейс RPC выбран в качестве базовой коммуникационной модели для распределенных вычислительных элементов (DCE). Отсюда следует, что для реализации предлагаемой системы наиболее целесообразно использовать именно технологию RPC. В этом случае программы предварительной обработки потока ошибок могут быть реализованы, например, на встроенных специализированных процессорах, работающих под управлением операционных систем реального времени. Такие процессоры могут быть подключены непосредственно к регистраторам потоков ошибок. Программа отображения результатов работы может выполняться на устройстве с мощным графическим процессором, а вычисление статистических характеристик

– на универсальном компьютере с высоким быстродействием.

ВЫВОДЫ

1. Во многих задачах статистической обработки потоков ошибок он может быть разбит на последовательность сегментов S_k , таких, что для каждого из них существует достаточная характеристика, не зависящая от результатов обработки предшествующих сегментов.

2. При обработке потоков ошибок для получения нескольких статистических характеристик всего потока и еще R его разбиений экономия времени при параллельной обработке по отношению к методу непосредственной обработки составляет R^2 раз.

3. Предлагаемая методика может быть реализована как распределенное приложение, в котором получение достаточных характеристик может быть возложено на специализированные процессоры, а вычисление окончательных характеристик – на универсальный компьютер с высоким быстродействием.

4. Наиболее предпочтительным типом такого приложения представляется RPC – приложение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блох Э. Л. и др. Модели потоков ошибок в каналах передачи цифровой информации. М.: Связь, 1981. – 448 с., ил.
2. Красновидов А. В., Ал Наджар Мустафа Салах Абдул Ваххаб. К вопросу об оценке эффективности алгоритмов обработки больших числовых последовательностей. Интеллектуальные системы на транспорте: сборник материалов V Международной научно-практической конференции "ИнтеллектТранс-2015" / под редакцией д-ра техн. наук, профессора А. А. Корниенко. - СПб.: ПГУПС, 2015. – С. 379-384.
3. Л. П. Пуртов, А. В. Чулкин. Автоматическое измерение параметров дискретных каналов. В кн.: Системы и аппаратура передачи данных. Сб. науч. тр. М.: ЦНИИС, 1987.
4. M. D. Balcovic, H. W. Klanar. High – Speed Voice band Data Transmission Performance of the Switched Telecommunications Network. Bell System Technical Journal, 50 (April, 1991), pp. 1349-1384.
5. Шмидт Д., Хьюстон С. Программирование сетевых приложений на C++. «Бином», 2009. – 319 с.

An Approach to the Construction of Algorithms for the Statistical Analysis of Error Flows in Digital Communications Channels

Krasnovidow A. V.

Petersburg State Transport University
Sankt-Petersburg, Russia
<alexkrasnovidow@mail.ru>

Abstract: Building effective and reliable communication systems requires knowledge of the statistical characteristics of the error flows in digital data transmission channels. This problem can be solved by processing results of experimental researches of communication channels. The article proposes an approach for constructing algorithms for processing flows of errors in digital communication channels which provides operative receipt of their statistical characteristics. The proposed approach enables the simultaneous getting the several characteristics during the single viewing of the error flow, presented in the interval form. The appropriate software system can be implemented as the RPC-application.

Keywords: data transfer, error flows, error-free interval, segment, data processing server, RPC, DCOM.

REFERENCES

1. Bloh E. L. and others. Models error flow in transmission channels of digital information. [Modeli potokov oshibok v kanalah peredachi cifrovoj informacii.] Svyaz [Link], Moscow, 1981, 448 p.
2. Krasnovidow A. V., Al Nadzhar Mustafa Salah Abdul Vahkhab. On the question of assessing the effectiveness of the algorithms processing large number sequences. Intelligent systems in transportation [*K voprosu ob ocenke ehffektivnosti algoritmov obrabotki bol'shikh chislovyh posledovatel'nostej. Intellektual'nye sistemy na transporte*]. *Sbornik materialov V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "IntellektTrans-2015"* / pod redakciej d-ra tekhn. nauk, professora A. A. Kornienko [Collection of materials of the V International scientific and practical conference "IntellektTrans-2015" / edited by Dr. tehn. Sciences, Professor AA Kornienko], 2015, pp. 379-384.
3. Purtov L. P., Chulkin A. V. Avtomaticheskoe izmerenie parametrov diskretnyh kanalov [Automatic measurement of the digital channels]. In the book.: Systems and equipment data. Coll. scientific. tr. [V kn.: Sistemy i apparatura peredachi dannyh. Sb. nauch. tr.], Moscow, CNIIS, 1987.
4. Balcovic M. D., Klanar H. W. High – Speed Voice band Data Transmission Performance of the Switched Telecommunications Network. Bell System Technical Journal, 50 (April, 1991), pp. 1349-1384.
5. SHmidt D., H'yuston S. Programming network applications in C ++. [Programmirovanie setevyh prilozhenij na S++.] SPb, Binom, 2009, 319 p.

Коррекция гипердельтного распределения в теории случайных процессов

Смагин В.А.

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
Санкт-Петербург, Российская Федерация
va_smagin@mail.ru

Аннотация. Ранее предложенное для моделирования случайных процессов гипердельтное распределение вероятностей применимо только для положительных случайных величин. На основе использования преобразования Фурье и характеристической функции область его применения распространена на всю область задания случайных величин.

Ключевые слова: гипердельтное распределение вероятностей, случайные немарковские процессы, метод моментов, отрицательные и положительные случайные величины, преобразования Лапласа и Фурье, характеристическая функция.

ВВЕДЕНИЕ

В прикладных задачах теории массового обслуживания, теории эффективности, теории надёжности, исследовании операций и др. представление моделей однородными марковскими процессами с конечным или счётным числом состояний – наиболее простым классом случайных процессов – часто не соответствует реальной действительности. Оно оправдывается в основном достигнутой развитостью математического аппарата, применяемого при исследовании марковских моделей систем.

Представление моделей систем немарковскими случайными процессами влечёт за собой использование более сложного математического аппарата. В настоящее время известны различные аналитические методы исследования систем немарковского типа. Одним из достаточно эффективных в приложениях оказался метод «комплексных вероятностей» Кокса [1]. В нём вводятся фиктивные этапы (состояния) случайного процесса, описываемые комплексными величинами. При этом вероятности состояний являются реальными.

На основе данного метода в статье [2] предлагалось аппроксимационное представление произвольных (гладких) плотностей распределений в виде гиперэкспоненциальной плотности с комплексно-сопряжёнными весовыми коэффициентами и параметрами. Однако применение этого представления при большом числе фаз становится достаточно трудоёмким как в аналитическом, так и численном виде. Также этому методу свойственны иногда явления колебательности получаемых аппроксимаций на хвостах распределений. В статье [3] был предложен гипердельтный метод аппроксимации. Отмечались широкие возможности использования метода, как в аналитическом

виде, так и при компьютерном моделировании случайных процессов.

Сущность метода [3] заключалась в представлении произвольной плотности распределения, сосредоточенной на временной оси, приближённо в виде:

$$f_a(t) = \sum_{i=1}^n C_i \delta(t - T_i), \quad (1)$$

где C_i – вероятности, удовлетворяющие условию

$$\sum_i^n C_i = 1, \text{ а } \delta - \text{ дельта-функция Дирака. Точность по-}$$

добного представления будет тем выше, чем больше целая величина n . Для определения искомых постоянных величин C_i , T_i , можно воспользоваться методом моментов.

Если $n > 2$, то значения указанных величин определяются численно. Когда $n = 2$, значения указанных величин находятся аналитически из следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned} C_1 + C_2 &= 1, & C_1 T_1 + C_2 T_2 &= v_1, \\ C_1 T_1^2 + C_2 T_2^2 &= v_2, & C_1 T_1^3 + C_2 T_2^3 &= v_3, \end{aligned} \quad (2)$$

в которой v_i – i -й начальный момент случайной величины, распределённой с плотностью вероятности $f(t)$.

Из системы уравнений (2) получаем:

$$\begin{aligned} C_{1,2} &= \frac{1}{2} \left(1 \pm \frac{3v_2 v_1 - v_3 - 2v_1^3}{\sqrt{v_3^2 - 6v_3 v_2 v_1 - 3v_2^2 v_1^2 + 4v_3 v_1^3 + 4v_2^3}} \right), \\ T_{1,2} &= \frac{v_3 - v_2 v_1 \mp \sqrt{v_3^2 - 6v_3 v_2 v_1 - 3v_2^2 v_1^2 + 4v_3 v_1^3 + 4v_2^3}}{2(v_2 - v_1^2)}. \end{aligned} \quad (3)$$

В [3] для различных распределений вероятностей при известных v_1 , v_2 , v_3 найдены значения C_1 , C_2 , T_1 , T_2 , представленные в таблице. Представлена графически аппроксимация экспоненциального распределения. Кроме того, приведены примеры моделирования простой сети массового обслуживания и аналитического решения од-

ной задачи надёжности. Изложены особенности численного компьютерного моделирования случайных процессов с применением гипердельтного распределения.

В статье [4] авторами приводятся следующие новые дополнительные результаты:

- гипердельтное распределение можно применять для аппроксимации распределений, сосредоточенных на $(-\infty, \infty)$,

- его можно применять и для аппроксимации распределений, обладающих разрывом первого рода,

- выполнено численное решение при аппроксимации распределений с большим количеством начальных моментов (13 моментов).

Следует отметить, что первый результат был получен при условии, что все рассматриваемые начальные моменты теоретического распределения положительны. А так как система уравнений (2) и все системы уравнений при $n > 2$ в статье [3] были получены на основе записи выражений для дельта-функций на положительной оси $[0, \infty)$, это означает, что все величины $T_i > 0$. При этом условии применялось преобразование Лапласа и производилось его дифференцирование для определения начальных моментов левых частей уравнений системы (2). Это означает, что правильность вывода о возможности аппроксимации распределений на интервале $(-\infty, \infty)$ авторами [4] не установлена. Поэтому цель данной статьи показать, каким образом выполнять данную аппроксимацию в корректном виде.

Ответ следует из указания на величину интервала $(-\infty, \infty)$, о чём ранее некоторые авторы [4] были проинформированы, но в своей публикации не учли этого. Устраним эту неточность, используя преобразование Фурье и характеристическую функцию.

Необходимые математические сведения. Ранее для получения выражений (1) – (3) использовалось одностороннее преобразование Лапласа. Левые части уравнений (2) были получены дифференцированием изображения Лапласа (1) и приравниванием производных по переменной Лапласа к нулю. При этом значения начальных моментов v_i предполагались положительными.

Если в выражении (1) при любом числе n хотя бы одна дельта-функция имела бы в аргументе знак «плюс», что означает расположение её на отрицательной оси, то применение преобразования Лапласа было бы невозможным. Возможным выходом при этом условии было бы использование либо двустороннего преобразования Лапласа, как это делается при решении интегрального уравнения Винера-Хопфа на основе метода факторизации, либо применение преобразования Фурье [5]. На наш взгляд, выбор второго способа является в силу его простоты наиболее предпочтительным. Поэтому нами используется характеристическая функция:

$$\varphi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{itx} w(x) dx, \quad (4)$$

где $i = \sqrt{-1}$, а $w(t)$ – плотность вероятности. Разлагая экспоненту под знаком интеграла в ряд, получаем:

$$\begin{aligned} \varphi(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} \left(1 + itx + \frac{(itx)^2}{2!} + \frac{(itx)^3}{3!} + \dots \right) w(x) dx = \\ &= 1 + it v_1 + \frac{(it)^2}{2!} v_2 + \frac{(it)^3}{3!} + \dots \end{aligned} \quad (5)$$

Поэтому величина k -го начального момента плотности $w(t)$ находится по формуле:

$$v_k = \frac{\varphi^{(k)}(0)}{i^k}, \quad (6)$$

где $\varphi^{(k)}(0)$ – значение в нуле k -й производной характеристической функции.

Вместо системы уравнений (2), получаемой на основе преобразования Лапласа только для положительных сдвигов во всех дельта-функциях, входящих в выражение вида (1), можно записать аналогичную систему уравнений для равенства начальных моментов на основе преобразования Фурье для характеристических функций. На примере, когда $n = 2$, будем иметь:

$$\begin{aligned} C_1 \varphi_1(0) + C_2 \varphi_2(0) &= 1, \\ C_1 \frac{\dot{\varphi}_1(0)}{i} + C_2 \frac{\dot{\varphi}_2(0)}{i} &= v_1, \\ C_1 \frac{\ddot{\varphi}_1(0)}{i^2} + C_2 \frac{\ddot{\varphi}_2(0)}{i^2} &= v_2, \\ C_1 \frac{\overset{\cdot\cdot\cdot}{\varphi}_1(0)}{i^3} + C_2 \frac{\overset{\cdot\cdot\cdot}{\varphi}_2(0)}{i^3} &= v_3. \end{aligned} \quad (7)$$

Система (7), в отличие от системы (2), может иметь как положительные, так и отрицательные начальные моменты v_k , $k = 1, 2, 3$. В самом простейшем случае, когда характеристическая функция представляет собой единичную функцию Хевисайда (для вырожденного распределения вероятностей), на правой полуоси $[0, \infty)$ имеем $\varphi(t) = e^{ita}$, а на левой полуоси $(-\infty, 0]$ – $\varphi(t) = e^{-ita}$. Выражения для соответствующих дельта-функций принимают вид $\delta(t-a)$ или $\delta(t+a)$, где a – величина сдвига на положительной или отрицательной полуоси.

При известных моментах v_k , с учётом части или всех отрицательных из них, после решения системы уравнений (7) можно составить выражение для плотности вероятности гипердельтного распределения, а затем применять его для определения необходимых показателей. Это справедливо не только в случае учёта трёх начальных моментов, но и при любом значении n , что можно подтвердить численными вычислениями, как это выполнено в [4].

Пример 1. Задана плотность нормального распределения:

$$f(t) = 1/\sqrt{2\pi} \exp(-((t-m)^2/2\sigma^2)), \quad (8)$$

со следующими значениями параметров $m = -10$ ед., $\sigma = 2$ ед. Требуется представить её приближённо на основе использования гипердельтного распределения с учётом трёх начальных моментов ν_1, ν_2, ν_3 . Вычисляя значения этих моментов, получаем $\nu_1 = -10$ ед., $\nu_2 = 104$ ед.², $\nu_3 = -1120$ ед.³. Система уравнений для определения значений параметров аппроксимации примет прежний вид (1):

$$\begin{aligned} C_1 + C_2 &= I, \\ C_1 T_1 + C_2 T_2 &= \nu_1, \\ C_1 T_1^2 + C_2 T_2^2 &= \nu_2, \\ C_1 T_1^3 + C_2 T_2^3 &= \nu_3. \end{aligned} \tag{9}$$

Подставляя в систему значения указанных моментов и решая её, получаем: $C_1 = I/2, C_2 = I/2, T_1 = -8$ ед., $T_2 = -12$ ед. Используя свойства преобразования Фурье и характеристической функции, запишем аппроксимационное гипердельтное представление функции плотности вероятностей в следующем виде:

$$f_a(t) = \frac{1}{2}(\delta(t+8) + \delta(t+12)). \tag{10}$$

Укажем ещё раз, что аппроксимационное представление (10) невозможно было бы получить, если бы использовалось для этой цели одностороннее преобразование Лапласа. Проиллюстрируем графически функцию распределения и дополнительную функцию для данной плотности сти вероятности (10). Будем иметь:

$$\begin{aligned} F_a(t) &= \frac{\Phi(t+8)}{2} + \frac{\Phi(t+12)}{2}, \\ P_a(t) &= \frac{\Phi(-t-8)}{2} + \frac{\Phi(-t-12)}{2}, \\ F_a(t) + P_a(t) &= I, \end{aligned} \tag{11}$$

где $\Phi(x)$ – единичная функция. На рис. 1 и 2 представлены аппроксимации функции распределения (ФР) и дополнительной функции распределения (ДФР). На рис. 3 совместно показаны соответственно графики аппроксимируемой и аппроксимированных функций.

Рассмотренный пример подтверждает корректность выполнения приближённого представления аналитических выражений функций распределения теории вероятностей на основе гипердельтного распределения не только на положительном луче оси абсцисс, но и на луче отрицательном.

Это означает, что гипердельтная аппроксимация, использующая свойства интегрального преобразования Фурье характеристической функции, применима на всей вещественной оси $(-\infty, \infty)$. Отсюда также следует, что если нам известны численные значения необходимого числа начальных моментов с точностью до знаков, то с их помощью на основе данной аппроксимации можно при-

ближённо построить искомое распределение вероятностей.

Рассмотренный пример подтверждает корректность выполнения приближённого представления аналитических выражений функций распределения теории вероятностей на основе гипердельтного распределения не только на положительном луче оси абсцисс, но и на луче отрицательном. Это означает, что гипердельтная аппроксимация, использующая свойства интегрального преобразования Фурье и характеристической функции, применима на всей вещественной оси $(-\infty, \infty)$.

Отсюда также следует, что если нам известны численные значения необходимого числа начальных моментов с точностью до знаков, то с их помощью на основе данной аппроксимации можно приближённо построить искомое распределение вероятностей.

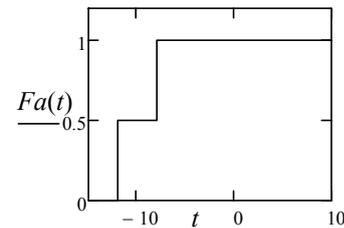


Рис. 1. Аппроксимация ФР

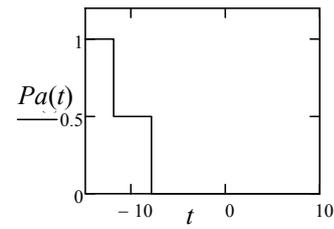


Рис. 2. Аппроксимация ДФР

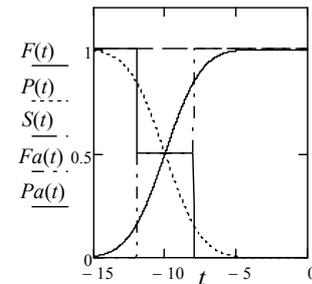


Рис. 3. Совместные графики функций

Замечание. Следует отметить тот факт, что в условиях нашего примера моменты ν_1, ν_3 одновременно становятся отрицательными. Поэтому значение выражения под корнем в (3) остаётся неизменным, а величины T_1, T_2 , принимающие в [1] значения $T_1 = m - \sigma, T_2 = m + \sigma$, в данном примере легко определяются как $T_1 = -m + \sigma, T_2 = -m - \sigma$. А так как $T_1 = -10$ ед., $T_2 = 2$ ед., то значения этих величин $T_1 = -8$ ед., $T_2 = -12$ ед., то есть они совпадают со значениями, определёнными численно при решении уравнений (7). Поступая подобным образом, можно найти значения данных параметров и для других распределений, как это было выполнено в [3] и составить

аналитические выражения для аппроксимированных плотностей вероятностей.

Пример 2. Используя результаты исследований, приведённых в статье [6], рассмотрим аппроксимацию «тяжёлого распределения» Парето гипердельтным распределением. Функция распределения Парето представляется в виде:

$$F(t) = 1 - \left(\frac{K}{t}\right)^\alpha, t \geq K, \quad (12)$$

где K – параметр масштаба, α – параметр формы распределения. На рис. 4 представлены функции (12) при следующих значениях параметров:

$$F1(t) = 1 - \left(\frac{K1}{t}\right)^{\alpha1}, K1 = 0,333, \alpha1 = 1,5;$$

$$F2(t) = 1 - \left(\frac{K2}{t}\right)^{\alpha2}, K2 = 0,6, \alpha = 2,5;$$

$$F3(t) = 1 - \left(\frac{K3}{t}\right)^{\alpha3},$$

$$K3 = 0,714, \alpha3 = 3,5; F4(t) = 1 - \left(\frac{K4}{t}\right)^{\alpha4},$$

$$K4 = \frac{\alpha4 - 1}{\alpha4} = \frac{10,5}{11,5}, \alpha4 = 11,5.$$

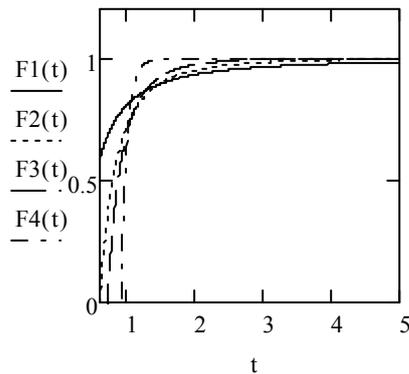


Рис. 4. Функции (12)

Из рис. 4 следует, что наиболее близким к «прямоугольному распределению» является распределение $F4(t)$, у которого наибольшее значение параметра формы $\alpha4 = 11,5$. Ему соответствует наименьшее значение коэффициента вариации $\eta4 = 0,109$ из представленных распределений.

Рассмотрим аппроксимацию первых трёх распределений из четырёх гипердельтным распределением на основе системы уравнений (9) и следующих из неё формул (3). Для функции $F1(t)$ получаем следующие значения параметров:

$$\begin{aligned} C_1 &= 0,5 + 2,769i, C_2 = 0,5 - 2,769i, \\ T_1 &= -0,111 + 0,314i, T_2 = -0,111 - 0,314i, \end{aligned} \quad (13)$$

где $i = \sqrt{-1}$. Из данных (13) следует, что рассматриваемая функция распределения не может быть аппроксимирована гипердельтным распределением.

Для функции $F2(t)$ получаем следующие значения параметров:

$$C_1 = 0,976, C_2 = 0,024, T_1 = -4,735, T_2 = 1,135. \quad (14)$$

Из представленных данных следует, что гипердельтная аппроксимация второй функции распределения возможна, её плотность вероятности равна

$$f2(t) = 0,024\Delta(t - 1,139) + 0,976\Delta(t + 4,739), \quad (15)$$

а функция распределения –

$$F2(t) = 0,024\Phi(t - 1,139) + 0,976\Delta(t + 4,739). \quad (16)$$

На рис. 5 представлена функция (16).

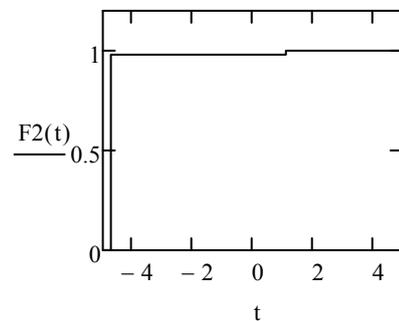


Рис. 5. Функция (16)

Для функции $F3(t)$ получены следующие значения параметров:

$$C_1 = 7,035 \cdot 10^{-3}, C_2 = 0,993, T_1 = 0,963, T_2 = 6,2. \quad (17)$$

Плотность вероятности и функция распределения будут равны:

$$f3(t) = 7,035 \cdot 10^{-3} \Delta(t - 0,963) + 0,993\Delta(t - 6,2),$$

$$F3(t) = 0,007035\Phi(t - 0,963) + 0,993\Phi(t - 6,2).$$

Функция распределения $F3(t)$ показана на рис. 6.

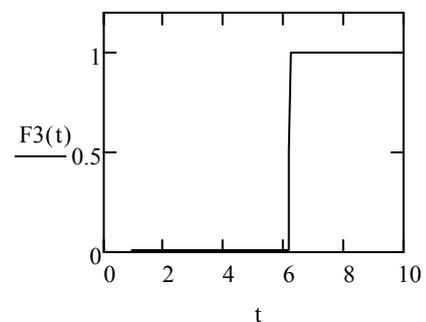


Рис. 6. Функция распределения $F3(t)$

Следует отметить, что значения начальных моментов у функций были равны:

$$F1(t) - \nu_1 = 1, \nu_2 = -0,333, \nu_3 = -0,037;$$

$$F2(t) - \nu_1 = 1, \nu_2 = 1,8, \nu_3 = -1,08;$$

$$F3(t) - \nu_1 = 1, \nu_2 = 1,19, \nu_3 = 2,551.$$

Ранее отмечалось [4], что достоинством гипердельного распределения является возможность его использования при моделировании случайных процессов с весьма малыми значениями коэффициента вариации (вырожденном и разрывном распределениях), чего нельзя указать для распределения Парето и его гипердельной аппроксимации. Это свойство может иметь место лишь при больших значениях параметра α , что и подтверждает пример функции распределения $F4(t)$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гипердельная аппроксимация распределений вероятностей по методу моментов среди ряда исследователей получила применение при решении ими прикладных задач. Это определяется, прежде всего, удобством вычисления некоторых интегралов. Но основное применение она находит при решении таких задач, в которых сложное для исследований немарковское представление случайных процессов более целесообразно заменять марковским.

Недостатком ранее предложенного гипердельного распределения являлось то, что его можно было применять только для распределений вероятностей с положительными значениями случайной величины. В предлагаемой статье этот недостаток предложено устранить. Для этой цели рекомендовано распространить применение

метода аппроксимации и для отрицательных значений случайной величины.

Предложенная коррекция метода основывается на применении вместо преобразования Лапласа преобразования Фурье и характеристической функции. Рассмотрены примеры аппроксимаций нормального распределения, сосредоточенного на отрицательной полуоси вещественных чисел, а также сравнительного «тяжёлого распределения» Парето.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cox D.R. A use of complex probabilities in the theory of stochastic processes //Proc. Cambr. Phil. Soc. – 1955. – Vol. 51, № 2. – P. 313-319.
2. Смагин В.А. Об одном методе исследования немарковских систем// Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1983. – № 6. – С. 31-36.
3. Смагин В.А., Филимоныхин Г.В. О моделировании случайных процессов на основе гипердельного распределения. – Автоматика и вычислительная техника. – 1990. – № 1. – С. 25-31.
4. Бубнов В.П., Сафонов В.И., Сергеев С.А. Применение гипердельного распределения в имитационных моделях микропроцессорных систем управления и диагностики электровозов. – Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения. – Новочеркасск. – 2015. – 1(69). – С. 39-47.
5. Дюге Д. Теоретическая и прикладная статистика. – Пер. с французского В.М. Калинина. – М: Наука. – 1972. – 383 с.
6. Рыжиков Ю. И. Теория очередей и распределение Парето. Сборник трудов ВКА имени А.Ф. Можайского. – 2015. – № 648 (в печати).

Correction of the Hyperdelta Distribution in the Theory of Stochastic Processes

Smagin V.A.

Military Space academy named after A.F. Mozhaisky
Sankt-Petersburg, Russia
va_smagin@mail.ru

Abstract. For modelling nonmarcovian stochastic processes wide application finds hyperdelta distribution of probabilities of positively certain variates. For dilating of area of its application on all material axis of the task of variates correction on the basis of transformation the Fourier and a characteristic function is offered.

Keywords: hyperdelta distribution of probabilities, stochastic nonmarcovian processes, a method of the moments, negative and positive variates, transformations of Laplace and the Fourier, a characteristic function.

REFERENCES

1. Cox D.R. A use of complex probabilities in the theory of stochastic processes//Proc. Cambr. Phil. Soc. 1955, Vol. 51, № 2, pp. 313-319.
2. Smagin V. A. About one method of research nonmarcovian systems [*Korreksiia giperdel'nogo raspredeleniia v teorii sluchainykh protsessov*]//Izv. AS the USSR. Technical cybernetics [Math. USSR Academy of Sciences. Technical Cybernetics]. 1983, № 6, pp. 31-36.
3. Smagin V. A, Filimonihin G.V. About modelling of stochastic processes on a basis hyperdelta distributions [*O modelirovanii sluchainykh protsessov na osnove giperdel'nogo*

raspredeleniia]. – *Avtomatika i vychislitel'naia tekhnika* [Automation and Computer Engineering]. 1990, № 1, pp. 25-31.

4. Bubnov V.P., Safonov V. I, Sergeys S.A. Application hyperdelta distributions in imitating models of microprocessor control systems and diagnostics of electric locomotives [*Primenenie giperdel'nogo raspredeleniia v imitatsionnykh modeliakh mikroprotsessornykh sistem upravleniia i diagnostiki elektrovozov*]. – *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo i proektno-konstruktorskogo instituta elektrovostroeniia* [The bulletin of the All-Russia research and design institute. – Electric locomotive]. Novochoerkassk. 2015, 1 (69), pp. 39-47.

5. Duge D. Theoretical and Applied Statistics. – Ed. French VM Kalinin [*Teoreticheskaia i prikladnaia statistika. – Per. s frantsuzskogo V.M. Kalinina*] – M.: the Science. – 1972. 383 p.

6. Ryzhikov Y.I. The theory of queues and the Pareto distribution [*Teoriia ocheredei i raspredelenie Pareto*]. *Sbornik trudov VKA imeni A.F. Mozhaiskogo* [Proceedings GCA named after AF Mozhaiskogo]. 2015. № 648, pp. 23-41. (in the press).

Метод составления систем однородных дифференциальных уравнений для расчёта вероятностно-временных характеристик нестационарных систем обслуживания

Сергеев С.А.

Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия
serega_svetl@mail.ru

Аннотация. Предлагается метод построения систем дифференциальных уравнений на основе использования рекурсивного алгоритма генерации матрицы коэффициентов для системы однородных дифференциальных уравнений, описывающих модель нестационарной системы обслуживания. Предлагаемый на его основе алгоритм упрощает построение матриц коэффициентов. С его помощью впервые были реализованы такие сложные модели нестационарных систем обслуживания как сетевая и L-канальная. Также приводится детальный алгоритм построения матрицы коэффициентов для сетевой модели.

Ключевые слова: решение нестационарных систем обслуживания, алгоритм генерации матрицы коэффициентов, сетевая модель нестационарной системы обслуживания.

ВВЕДЕНИЕ

Отличительной чертой современных аппаратно-программных комплексов (АПК) является то, что при создании они, прежде всего, должны быть ориентированы на функционирование не только в нормальных, но и в критических (кризисных) условиях. Для определения возможности реализации всех операций, связанных с технологическим циклом управления, на заданном временном интервале применяют математическое моделирование.

Математической базой является теория массового обслуживания (ТМО). Большинство авторов используют модели ТМО в предположении, что очередь заявок бесконечна, существует стационарный режим, а коэффициент загрузки не превышает единицы [1-4]. Однако наибольший практический и теоретический интерес представляют модели нестационарных систем обслуживания (НСО).

В [5] описан численно аналитический метод, в котором скорость и точность решения обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), описывающих НСО, превосходят наиболее распространённый, при решении данного рода задач, метод Рунге-Кутты. В [6] описана его модификация и метод борьбы с погрешностью.

Рассмотрим простейшую одноканальную НСО. На вход НСО последовательно поступает N запросов на об-

работку. Распределения временных интервалов между моментами поступления запросов описываются экспоненциальными законами с интенсивностями $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N\}$, где λ_i соответствует i -й поступающей заявке. Считаем, что система не имеет потерь. Закон распределения времён обслуживания тоже экспоненциальный с интенсивностями $\{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N\}$, где μ_j соответствует j -й обслуживаемой заявке.

Состояния системы в каждый момент времени характеризуются числом находящихся в системе запросов $i = \overline{0, N}$ и числом уже получивших обслуживание запросов $j = \overline{0, N-i}$. Вероятности пребывания системы в этих состояниях обозначается через $P_{i,j}(t)$. Их общее число $K = (N+1)(N+2)/2$. На рис. 1 представлена диаграмма переходов между состояниями системы.

Для определения распределения вероятностей нахождения системы обслуживания в состояниях (i, j) необходимо решить относительно $P_{i,j}(t)$ систему ОДУ, каждое из которых выглядит следующим образом:

$$\dot{P}_{i,j}(t) = u(i) (\lambda_{i+j} P_{i-1,j}(t) - \mu_{j+1} P_{i,j}(t)) + u(j) \mu_j P_{i+1,j-1}(t) - u(N-i-j) \lambda_{i+j+1} P_{i,j}(t). \quad (1)$$

Здесь $u(t)$ — функция Хевисайда, заданная как

$$u(t) = \begin{cases} 1, & t > 0, \\ 0, & t \leq 0. \end{cases} \quad (2)$$

Рассмотренная система ОДУ (1) является линейной однородной системой уравнений. Она может быть представлена в матричной форме:

$$\dot{x}(t) = Ax(t), \quad (3)$$

где $x(t)$ — вектор неизвестных функций размерности K , а A — квадратная матрица.

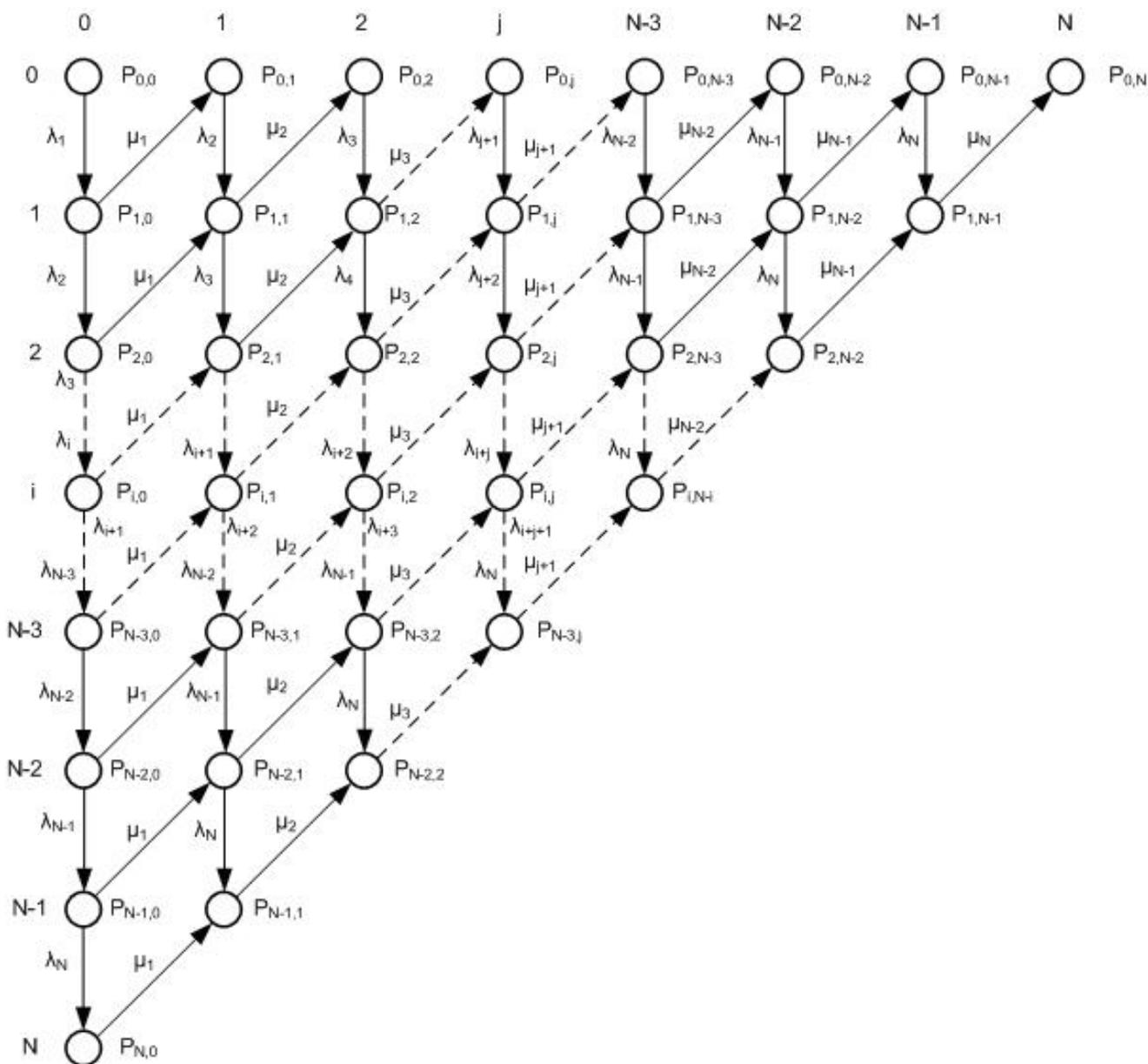


Рис. 1. Диаграмма переходов между состояниями

Когда известно общее уравнение системы ОДУ, описывающей НСО, реализовать алгоритм генерации матрицы A не составляет труда. Но, при добавлении в модель НСО новых характеристик, таких как несколько каналов обслуживания, различный приоритет заявок, очереди к каналам и т.д., общее уравнение системы значительно усложняется. Для примера приведём общее уравнение системы ОДУ, описывающей двухканальную систему обслуживания, приведённую в [7].

НСО имеет N ($N=2$) каналов обслуживания. На НСО поступает K запросов с интенсивностями $\{\lambda_1, \dots, \lambda_k\}$, интенсивность обслуживания

$$\mu = [\mu_s, j] = \begin{bmatrix} \mu_{1,1} & \mu_{1,2} \\ \mu_{k,1} & \mu_{k,2} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где $s=1, K$ – номер запроса; $j = 1, 2$ – номер канала.

Состояния системы в каждый момент времени характеризуются числом обслуженных запросов n ($n=0, K$), числом находящихся в НСО запросов m ($m=0, K-n$) и вектором занятости каналов l ($l = l_1, l_2 = [l_j]$), где $l_j = 0, 1$. (m, n, l) -тое уравнение принимает вид:

$$\begin{aligned} \frac{dP_{m,n,l}(t)}{dt} = & \delta(m) * \left[\sum_{j=1}^{j=N} \alpha_j (P_{m-1,n,l_j}(t) + \right. \\ & \left. \delta(m-N) P_{m-1,n,l} \right] (t) * \lambda_{m+n} + \delta(n) * \\ & \left\{ \sum_{j=1}^{j=N} \left[\beta_{jl} \sum_{k=0}^{k=N+n-2} P_{m+1,n-1,l_j}(t) * \mu_{k,j} + \beta_j * \right. \right. \\ & \left. \left. P_{m+1,l_j}(t) * \mu_{N+n-1,j} + w_j * P_{m+1,n-1,l_j}(t) * \mu_{m+n,j} + \right. \right. \\ & \left. \left. w_{il} * \sum_{k=0}^{k=m+n-1} P_{m+1,n-1,l_j}(t) * \mu_{k,j} + \delta_l(l_1) * \right. \right. \end{aligned}$$

$$\delta_l(l_2) * \sum_{k=1}^{k=m+n} P_{m+1,n-1,l_j}(t) * \mu_{k,j} \} - \left[\delta(K - m - n) * \lambda_{m+n+1} + \delta(m) \sum_{j=1}^{j=N} \delta(l_j) * \mu_{l_j,j} \right] * P_{m,n,l}(t), \quad (5)$$

где N=2;

$$\beta_j = \delta_1(N + n - l_j) * \delta(N + n - l_i - 1);$$

$$\beta_{jl} = \delta_1(N + n - l_j) * \delta_l(N + n - l_i - 1);$$

$$\alpha_j = d\lambda(m - 2) * d(l_i - l_j) + d\lambda(m - 1) * d\lambda(l_j) * pi;$$

$$w_j = \delta_1(l_j) * \beta(l_i) * \delta(m + n - l_i);$$

$$w_{jl} = \delta_l(l_j) * \beta(l_i) * \delta_l(m + n - l_i);$$

$$i = \begin{cases} 1, & \text{если } j \neq 1; \\ 2, & \text{если } j = 1; \end{cases}$$

$$\delta(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x > 0; \\ 0, & \text{если } x \leq 0. \end{cases}$$

$$\delta_l(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x = 0; \\ 0, & \text{если } x \neq 0. \end{cases}$$

$$l_j = \begin{cases} [l_1 - m, l_2], & \text{если } j \neq 1; \\ [l_1, l_2 - m], & \text{если } j = 1. \end{cases}$$

$$l'_j = \begin{cases} [l_1 - (N + n) - k, l_2], & \text{если } j \neq 1; \\ [l_1, l_2 - (N + n) - k], & \text{если } j = 1. \end{cases}$$

$$l''_j = \begin{cases} [l_1 - 1, l_2], & \text{если } j \neq 1; \\ [l_1, l_2 - 1], & \text{если } j = 1. \end{cases}$$

$$l'''_j = \begin{cases} [l_1 + m + n, l_2], & \text{если } j \neq 1; \\ [l_1, l_2 + m + n], & \text{если } j = 1. \end{cases}$$

$$l''''_j = \begin{cases} [l_1 + k, l_2], & \text{если } j \neq 1; \\ [l_1, l_2 + k], & \text{если } j = 1. \end{cases}$$

Вывести такое уравнение и не допустить в нём ошибки очень трудно. При этом существуют куда более сложные системы, вывод общего уравнения для которых не представляется возможным. Например, сетевая модель, описанная в [5]. Для возможности расчёта вероятностно временных характеристик таких моделей было принято решение разработать метод генерации матрицы А без использования общего уравнения системы ОДУ.

СУТЬ МЕТОДА

Суть метода заключается в том, что необходимо вывести правила перехода из одного состояния в другое и ввести некоторое начальное состояние. Под переходом из одного состояния в другое понимается поступление новой заявки на обслуживание, либо обработка заявки, которая в исходном состоянии обрабатывалась. Начальным состоянием может быть состояние системы, в котором n=0 и m=0. На входе в метод передаём начальное состояние и его номер в списке состояний(Num). Для начального состояния Num=1. Далее метод генерирует одно из возможных состояний по правилам перехода, проверяет было ли сгенерировано данное состояние до этого и если нет, то добавляет его в список состояний (xT). Затем записывает изменения в матрицу А по следующей формуле:

$$\begin{aligned} A_{xT.len, Num} &= x; \\ A_{Num, Num} &= A_{Num, Num} - x, \end{aligned} \quad (6)$$

где xT.len – длина списка состояний, сгенерированных на данный момент, x – интенсивность перехода из исходного состояния в новое. Ею может быть интенсивность поступления новой заявки, либо интенсивность обработки очередной заявки. Если полученное состояние уже было сгенерировано и находится в списке состояний под номером Num1, то формула (6) принимает вид:

$$\begin{aligned} A_{Num1, Num} &= x; \\ A_{Num, Num} &= A_{Num, Num} - x. \end{aligned} \quad (7)$$

Если сгенерированное состояние не было получено ранее, то метод начинает рекурсивно генерировать состояния, в которые система может перейти из только что полученного. При этом в рекурсию передаётся Num=xT.len. Если для какого либо состояния сгенерированы все состояния, в которые может перейти система, то этот этап рекурсии завершается. Алгоритм прекращает работу, когда завершатся все этапы рекурсии. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 2.

АЛГОРИТМ ДЛЯ ДВУХКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Продemonстрируем детальный алгоритм генерации матрицы А на примере модели двухканальной системы, описанной выше.

Для возможности определения номера заявки, которую канал системы обслуживает в данный момент, в модели НСО вектор \vec{l} был преобразован в такой что, $\vec{l}_j = 0$, если j-й канал в данный момент свободен, $\vec{l}_j = i$, если j-й канал в данный момент обрабатывает i-ю заявку.

Так как состояния системы характеризуются значениями (n,m, \vec{l}), то в данной системе переходы между состояниями происходят по следующим правилам:

- 1) Из состояния $P_{n,m,\vec{l}}$, $n+m < K$, система переходит в состояние $P_{n1,m1,\vec{l}1}$, где $n1=n, m1=m+1$, с интенсивностью λ_{n+m+1} . При этом может выполняться одно из условий:

- a. Если $\vec{l}_1 = 0$, то $\vec{l}1_1 = \begin{cases} n + 1, \vec{l}1_2 = 0 \\ n + 2, \vec{l}1_2 > 0 \end{cases}$,
 $\vec{l}1_2 = \vec{l}_2, \vec{l}1_1 = \vec{l}_1$.
- b. Если $\vec{l}_2 = 0$ и $\vec{l}_1 \neq 0$, то $\vec{l}1_1 = \vec{l}_1$,
 $\vec{l}1_2 = \begin{cases} n + 1, \vec{l}1_1 = 0 \\ n + 2, \vec{l}1_1 > 0 \end{cases}$.

- 2) Из состояния $P_{n,m,\vec{l}}$, $\vec{l}_1 \neq 0$, система переходит в состояние $P_{n1,m1,\vec{l}1}$, $n1=n+1, m1=m-1$, $\vec{l}1_1 = 0$, $\vec{l}1_2 = \vec{l}_2$ с интенсивностью $\mu_{l_1,1}$.

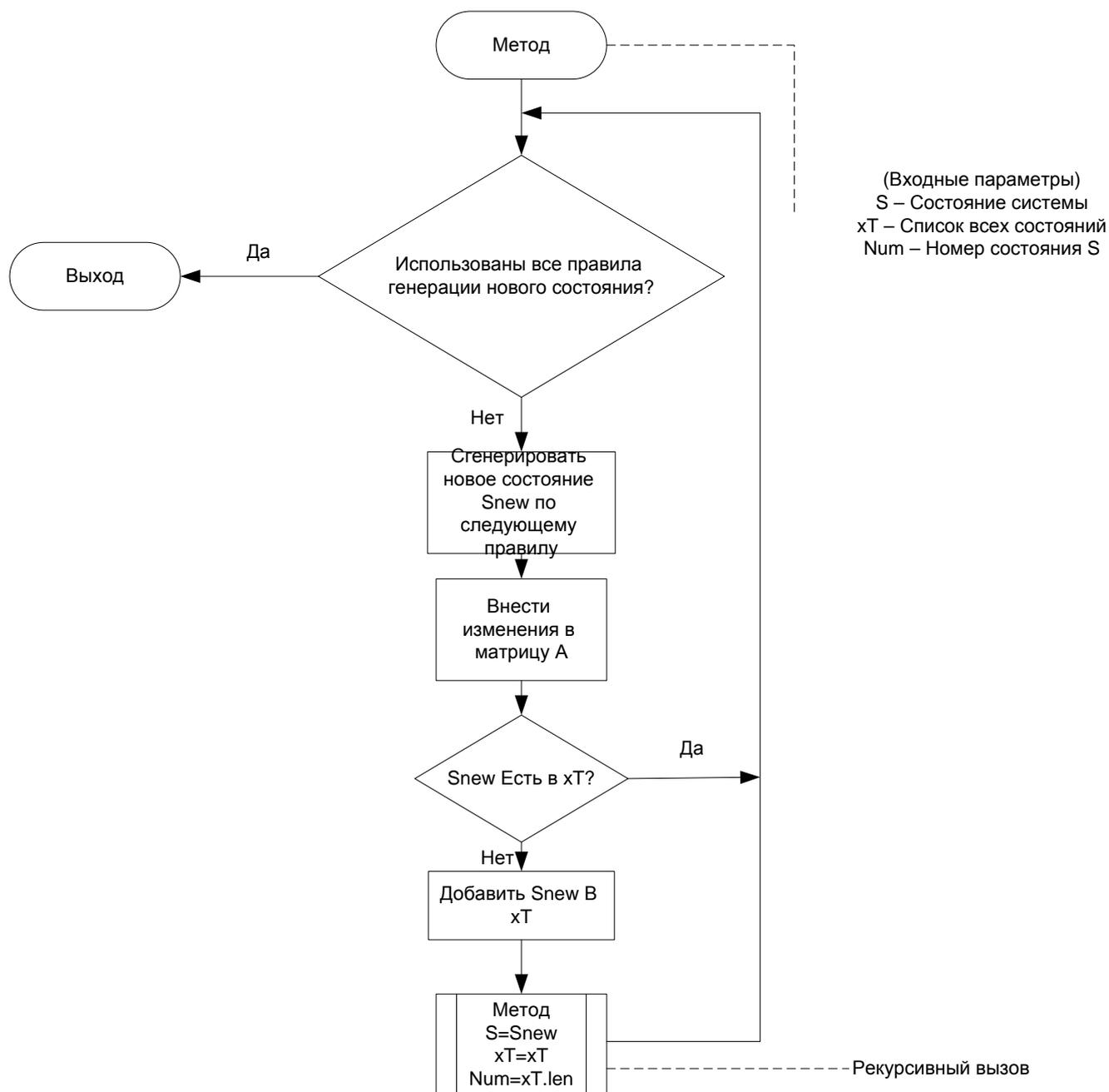


Рис. 2. Блок-схема алгоритма

- 3) Из состояния $P_{n,m,\vec{l}}$, $\vec{l}_2 \neq 0$, система может перейти в состояние $P_{n1,m1,\vec{l}1}$, $n1=n+1, m1=m-1$, $\vec{l}1_1 = \vec{l}_1$, $\vec{l}1_2 = 0$ с интенсивностью $\mu_{l2,2}$.

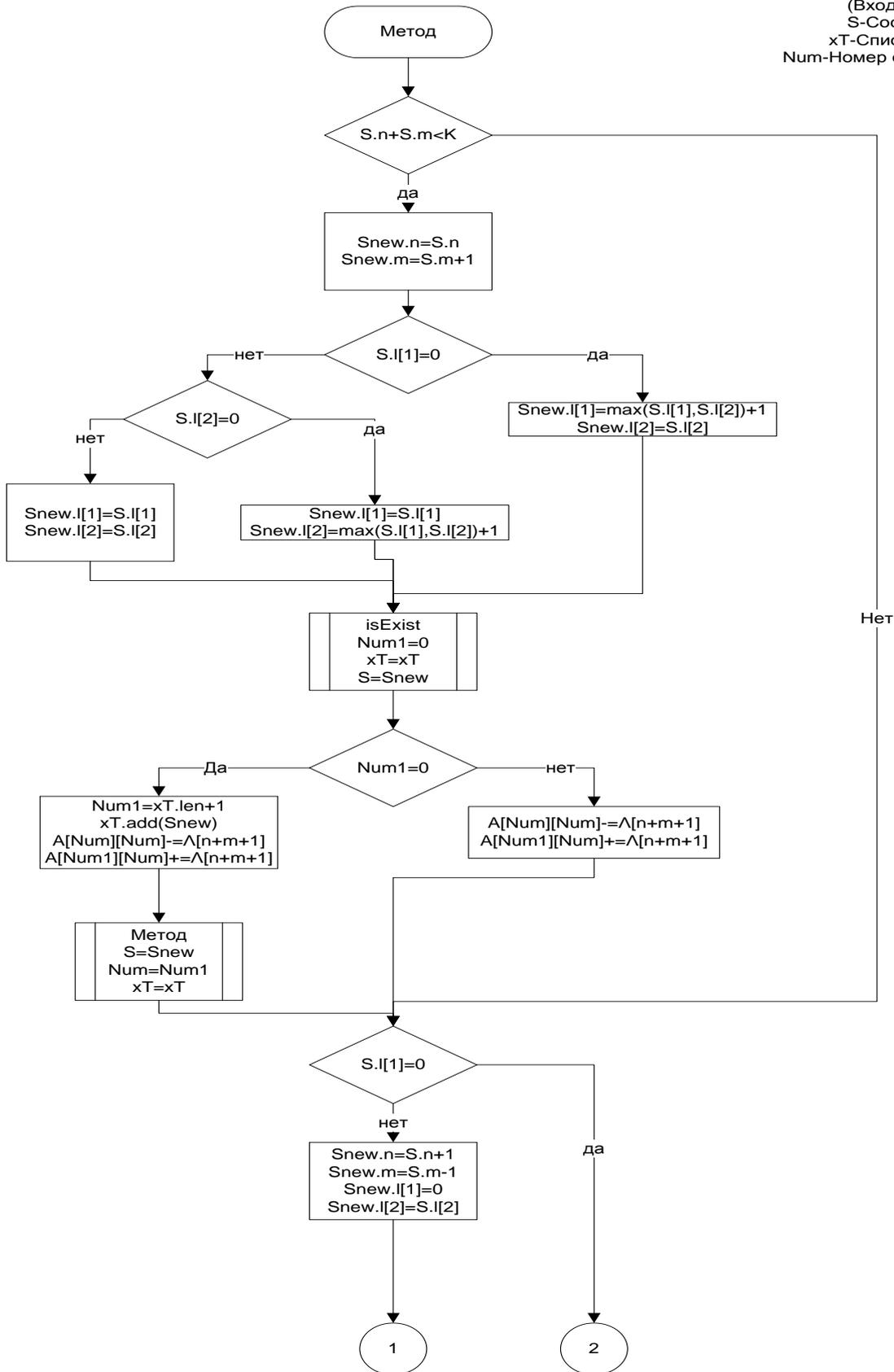
В качестве начального состояния было выбрано состояние $P_{n,m,\vec{l}}$, $n=0, m=0, \vec{l} = [0,0]$.

Блок схема алгоритма, реализующего предлагаемый метод для двухканальной системы с интенсивностью поступления заявок, зависящей от номера заявки, и интен-

сивностью обслуживания, зависящей от номера заявки и номера канала обслуживания, представлена на рисунке 3.

При этом в алгоритме используется дополнительная функция isExist, которая возвращает номер состояния S в списке состояний xT или 0, если состояния в списке нет. Её параметрами являются S – состояние, номер которого ищем, xT – список состояний и Num1 – номер в списке состояний, который требуется найти. Алгоритм данной функции не приводится, т.к. это стандартный алгоритм поиска объекта в списке.

(Входные параметры)
 S-Состояние системы
 xT-Список всех состояний
 Num-Номер состояния S в списке xT



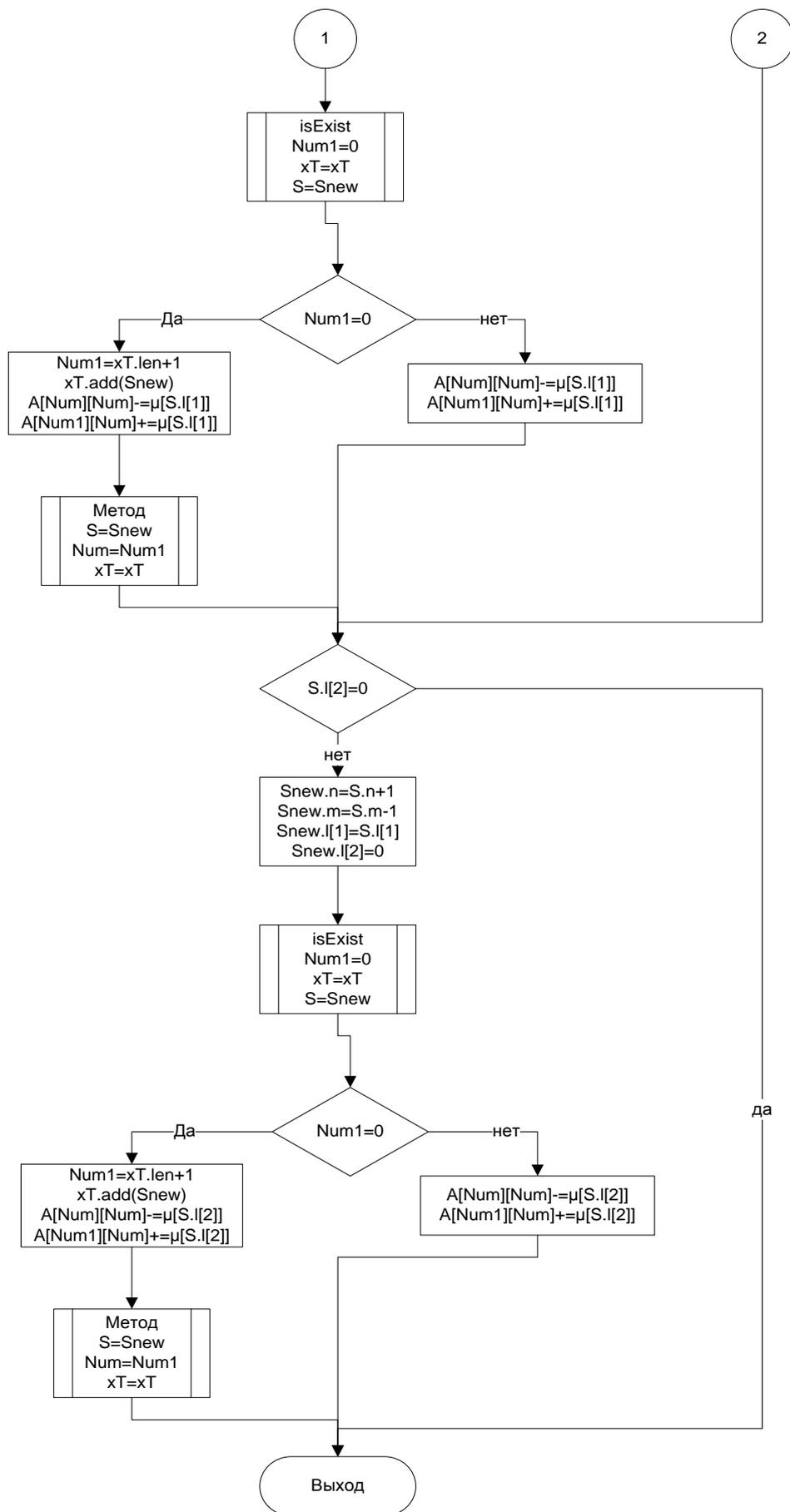


Рис. 3. Алгоритм для двухканальной модели

Как видно из примера выше предложенный алгоритм значительно упрощает процесс составления программы для генерации матрицы коэффициентов А для системы дифференциальных уравнений. Результаты работы модели были проверены другой моделью, где матрица коэффициентов А формировалась с помощью общего уравнения системы ОДУ.

Набольший интерес представляет реализация алгоритма генерации матрицы А для сетевой модели, описанной в [7], так как общее уравнение для неё так и не было выведено.

АЛГОРИТМ ДЛЯ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ

Модель характеризуется следующими параметрами:

1. M – количество типов заявок, причём тип заявки определяет относительный приоритет у i -го типа приоритет ниже, чем у $(i+1)$ -го типа $i \in \overline{1, M}$.
2. $KT_i (i \in \overline{1, M})$ – количество заявок i -го типа, поступающих в НСО за интервал моделирования.
3. λ_{ij} – элемент матрицы интенсивности поступления заявки i -го типа с номером j .
4. L – число каналов обслуживания.
5. $\mu_{ij} (i \in \overline{1, M}, j \in \overline{1, L})$ – элемент матрицы интенсивности обслуживания каналом с номером j заявки i -го типа.
6. $\varphi_{ij} (i \in \overline{1, M}, j \in \overline{1, L})$ – элемент матрицы доступности каналов. $\varphi_{ij} = 1$ заявке типа i доступен канал с номером j , $\varphi_{ij} = 0$ в противоположном случае.
7. $\vec{n} = \{n_i\} (i \in \overline{1, M})$ – вектор, определяющий количество заявок i -го типа, находящихся в НСО.
8. $\vec{m} = \{m_i\} (i \in \overline{1, M})$ – вектор, определяющий количество заявок каждого типа, уже получивших обслуживание и покинувших НСО.
9. $\vec{l} = \{l_j\} (j \in \overline{1, L})$ – вектор состояний каналов обслуживания, $l_j = 0$, если j -й канал свободен, $l_j = i$, если j -й канал обслуживает заявку типа i .
10. dq_i – длина очереди к i -му каналу обслуживания, $i \in \overline{1, L}$.
11. $\vec{q}_i = \{q_{ij}\}, j \in \overline{1, L}, dq_i$ – вектор очереди к i -му каналу обслуживания, при этом j -я компонента i -го вектора равны номеру типа заявки, стоящей в очереди к i -му каналу обслуживания на j -ом месте.

12. $\vec{pr} = \{pr_i\}, i \in \overline{1, M}$ – i -я компонента вектора определяет приоритет заявок i -го типа.

Состояние НСО в каждый момент времени характеризуются упорядоченным набором векторов:

$$(\vec{n}, \vec{m}, \vec{l}, \vec{dq}, \vec{Q}) \quad (8)$$

Алгоритм также использует дополнительную функцию isExist. Кроме того, для возможности гибкого распределения задач между узлами (каналами обслуживания) было введено понятие алгоритма выбора канала обслуживания. Алгоритм выбора канала обслуживания реализован в дополнительной функции choiceChannel. Эта функция имеет 3 параметра: φ – матрица доступности каналов; S – текущее состояние системы; $zType$ – номер типа заявки; $channel$ – переменная, в которую запишется результат работы функции.

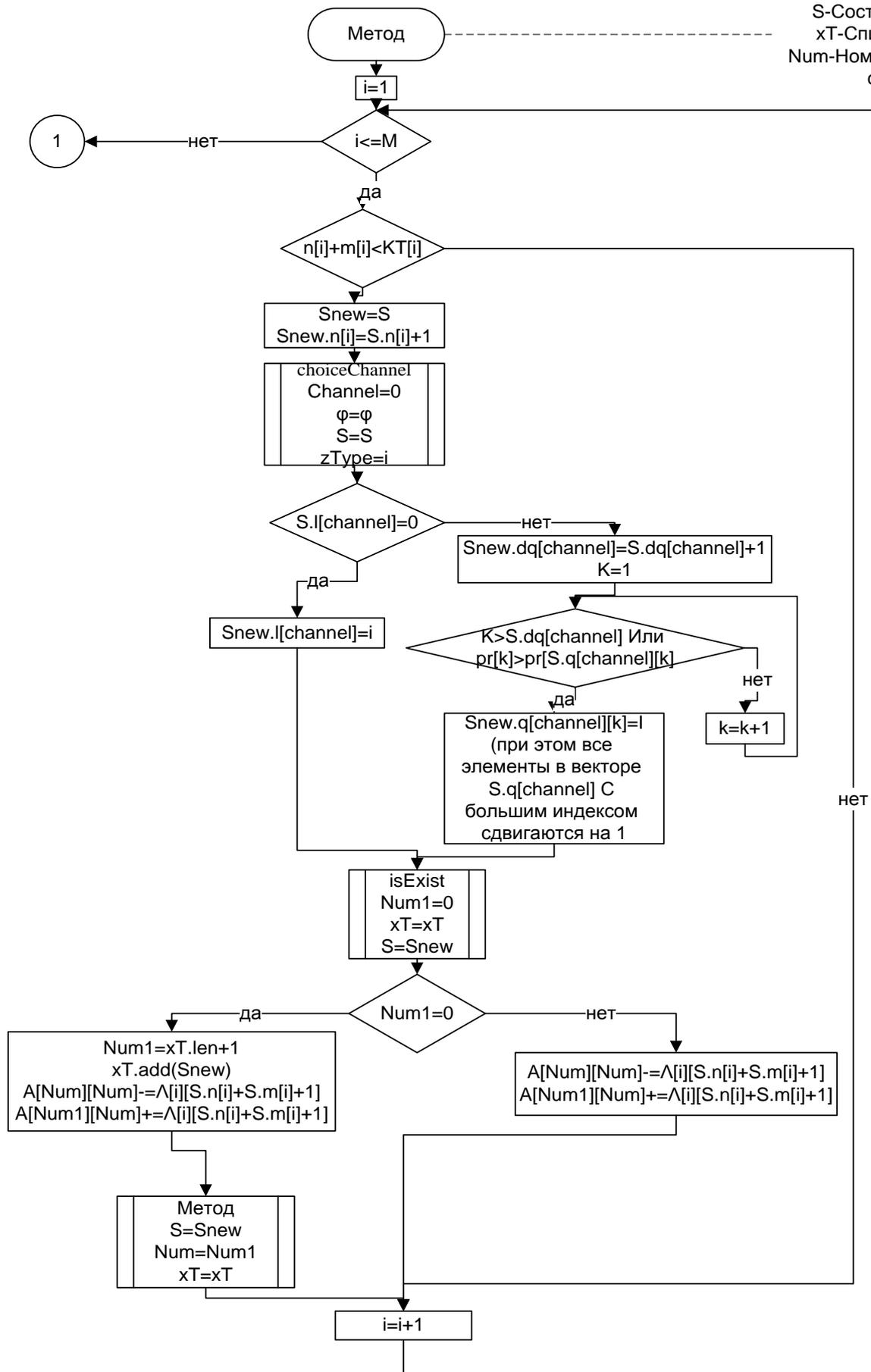
Переходы между состояниями системы происходят по следующим правилам:

1. Из состояния $P_{\vec{n}, \vec{m}, \vec{l}, \vec{dq}, \vec{Q}}$ в котором $n_i + m_i < KT_i$ система может перейти в состояние $P_{\vec{n}1, \vec{m}1, \vec{l}1, \vec{dq}1, \vec{Q}1}$ с интенсивностью $\lambda_{i, n_i + m_i + 1}$. При этом номер канала (j), на который попадёт заявка, определяется с помощью функции choiceChannel, если $l_j > 0$, то $dq1_j = dq_j + 1$, а i добавляется в \vec{q}_j перед всеми заявками, имеющими меньший приоритет. Если $l_j = 0$, то $l1_j = i$, вектор dq и матрица q остаются без изменения. А $n1_i = n_i + 1$. Вектор \vec{m} остаётся без изменений.
2. Из состояния $P_{\vec{n}, \vec{m}, \vec{l}, \vec{dq}, \vec{Q}}$ в котором $l_i > 0$ система может перейти в состояние $P_{\vec{n}1, \vec{m}1, \vec{l}1, \vec{dq}1, \vec{Q}1}$ с интенсивностью μ_{i, l_i} , где $n1_i = n_i - 1$, $m1_i = m_i + 1$, $l1_i = \begin{cases} 0, & dq_i = 0; \\ q_{i,1}, & dq_i > 0, \end{cases}$

при этом необходимо удалить $q_{i,1}$

Кроме того, в алгоритме используется функция проверки наличия состояния isExist, такая же как и для двухканальной системы, описанной выше. В качестве начального состояния выбрано состояние, в котором 0 обслуженных заявок и 0 поступивших. Блок-схема алгоритма генерации матрицы состояний для сетевой модели приведена на рис. 4.

(Входные параметры)
 S-Состояние системы
 xT-Список состояний
 Num-Номер состояния S в
 списке xT



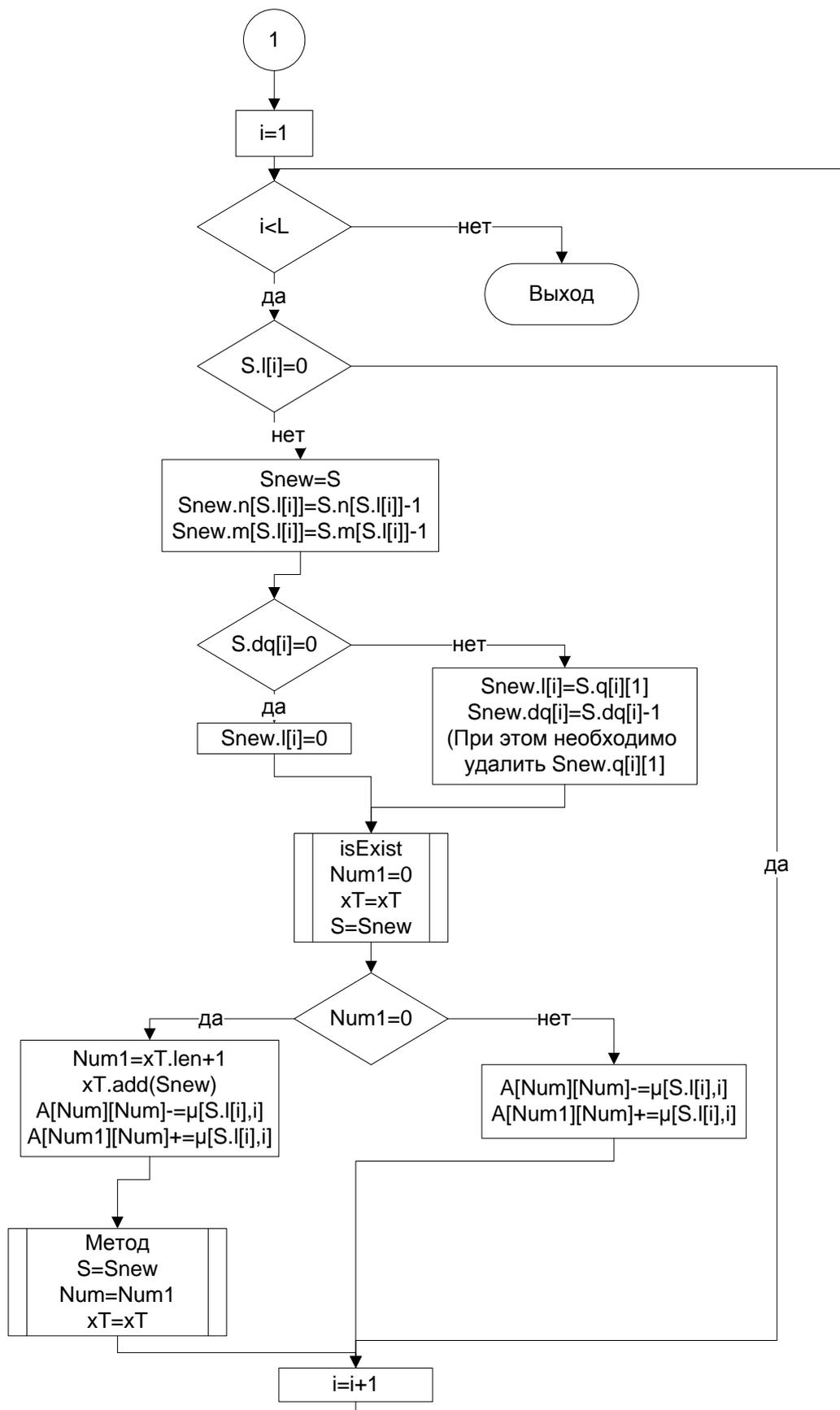


Рис. 4. Блок-схема алгоритма генерации матрицы состояний для сетевой модели

Данный алгоритм был реализован и интегрирован в программу, описанную в [6]. Кроме того, реализована имитационная сетевая модель. В табл. 1 приведены вероятности поглощающего состояния системы в различные моменты времени, полученные с помощью двух моделей.

Таблица 1

Сравнение результатов моделей

Момент времени	Имитационная модель	Аналитическая
1	0.010411	0.0105599357
2	0.224826	0.225337103263
3	0.564251	0.56480951
4	0.776363	0.776569477849
5	0.869929	0.87000275886

СОРТИРОВКА ЭЛЕМЕНТОВ МАТРИЦЫ

Как указано в [5], для системы 3 существует аналитическое решение, если только известны собственные числа матрицы **A**. Очевидным является тот факт, что в случае треугольного вида матрицы **A** (для определённости будем считать её нижней треугольной), её собственные числа выписаны в явном виде на диагонали. Таким образом, аналитическое решение системы можно легко найти, если только матрица **A** – треугольная.

Если пронумеровать состояния по возрастанию числа обработанных запросов, а внутри этих групп по возрастанию числа поступивших запросов то ни одно из состояний полученного списка не будет иметь зависимости от последующих, а матрица **A** примет треугольный вид. Например, в сетевой модели в одной подгруппе одной группы будет более одного состояния, но нумерация останется верной, так как эти состояния не будут зависеть друг от друга.

На выходе предлагаемый метод выдаёт не треугольную матрицу **A** и массив xT , в котором хранятся все состояния системы. Нам необходимо отсортировать элементы массива так, как это описано выше. Для этого необходимо воспользоваться любым алгоритмом сортировки. При этом, при перестановке двух состояний с номерами $x1$ и $x2$ необходимо поменять местами 2 строки и 2 столбца в матрице **A** с теми же номерами. Пример такой перестановки приведён в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Фрагмент матрицы до перестановки

	1	2	...	$x1$	$x2$	$x3$
1	1-1	2-1	...	$x1-1$	$x2-1$	$x3-1$
2	1-2	2-2	...	$x1-2$	$x2-2$	$x3-2$
...
$x1$	1- $x1$	2- $x1$	...	$x1-x1$	$x2-x1$	$x3-x1$
$x2$	1- $x2$	2- $x2$	...	$x1-x2$	$x2-x2$	$x3-x2$
$x3$	1- $x3$	2- $x3$	...	$x1-x3$	$x2-x3$	$x3-x3$

В табл. 3 приведён фрагмент матрицы состояний **A**. Первый столбец и первая строка содержат условные номера состояний. В ячейках таблицы содержится информа-

ция вида: $x-y$, обозначающая интенсивность перехода из состояния x в состояние y .

Таблица 3

Фрагмент матрицы после перестановки

	1	2	...	$x2$	$x1$	$x3$
1	1-1	2-1	...	$x2-1$	$x1-1$	$x3-1$
2	1-2	2-2	...	$x2-2$	$x1-2$	$x3-2$
...
$x2$	1- $x2$	2- $x2$	...	$x2-x2$	$x1-x2$	$x3-x2$
$x1$	1- $x1$	2- $x1$	...	$x2-x1$	$x1-x1$	$x3-x1$
$x3$	1- $x3$	2- $x3$	...	$x2-x3$	$x1-x3$	$x3-x3$

Допустим в процессе сортировки появилась необходимость поменять местами состояния с номерами $x1$ и $x2$. Матрица коэффициентов **A** после такой перестановки представлена в табл. 2. Как видно из табл. 2, зависимости между состояниями не нарушены, что доказывает адекватность предлагаемого метода сортировки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Какой бы сложной и многокритериальной не была модель НСО, предложенный подход позволяет синтезировать для неё алгоритм генерации матрицы коэффициентов. Увеличение числа параметров системы ведёт к увеличению числа состояний и, иногда, правил переходов, но сложность вывода этих правил практически не меняется. Таким образом, рекомендуются пользоваться данным методом взамен вывода общего уравнения системы ОДУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Osogami T. Analysis of transient queues with semidefinite optimization. / T. Osogami, R. Raymond // Queueing Systems. – 2013. №73. – С. 195-234.
2. Wolff R. W. Little’s law when the average waiting time is infinite. / R. W. Wolff, Y. Yao // Queueing Systems. – 2014. №76. – С. 267-281.
3. Sudhesh R., Vijayashree K. V. Stationary and transient analysis of M/M /1 G-queues // Int. J. of Mathematics in Operational Research, 2013. Vol. 5, No 2, pp. 282-299.
4. Sudhesh R., Francis Raj L. Stationary and transient solution of Markovian queues — an alternate approach // Int. J. of Mathematics in Operational Research, 2013. Vol. 5, No 3, pp. 407-421.
5. Бубнов В.П. Алгоритм аналитического расчёта вероятностей состояний нестационарных систем обслуживания. / В.П. Бубнов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2011. №4. – С. 90-97.
6. Бубнов В.П. Особенности программной реализации численно-аналитического метода расчёта моделей нестационарных систем обслуживания. / В.П. Бубнов, А.С. Еремин, С.А. Сергеев // Труды СПИИРАН. – 2015. №1. – С. 218-232.
7. Бубнов В.П. Разработка динамических моделей нестационарных систем обслуживания. / В.П. Бубнов, В.И. Сафонов. – г. Санкт-Петербург, 1999, 65 с.

The Method of Construction of Systems of Homogeneous Differential Equations for Calculating the Probability-Time Characteristics of non-Stationary Service Systems

Sergeev S.A.

Petersburg State Transport University
Saint-Petersburg, Russia
serega_svetl@mail.ru

Abstract. It is proposed the method of construction of systems of differential equations based on the use of a recursive algorithm for generating the coefficient matrix for the homogeneous system of differential equations describing the model of non-stationary service systems. The proposed approach simplifies the construction of the matrix coefficients. With it was first implemented such complex models of non-stationary systems as network and L-channel models. The article also provides a detailed algorithm for the network model.

Keywords: solution of non-stationary systems, service, algorithm for generating the coefficient matrix, network model non-stationary system inspection completed.

REFERENCES

1. Osogami T. Analysis of transient queues with semidefinite optimization. / T. Osogami, R. Raymond // *Queueing Systems*. 2013. № 73. pp. 195-234.
2. Wolff R. W. Little's law when the average waiting time is infinite. / R. W. Wolff, Y. Yao // *Queueing Systems*. – 2014. № 76. pp. 267-281.
3. Sudhesh R., Vijayashree K. V. Stationary and transient analysis of M/M/1 G-queues // *Int. J. of Mathematics in Operational Research*, 2013. Vol. 5, No 2, pp. 282–299.
4. Sudhesh R., Francis Raj L. Stationary and transient solution of Markovian queues — an alternate approach // *Int. J. of Mathematics in Operational Research*, 2013. Vol. 5, No 3, pp. 407-421.
5. Bubnov V.P. *Algoritm analiticheskogo raschyota veroyatnostej sostoyanij nestacionarnykh sistem obsluzhivaniya: Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya*. [Algorithm of analytical calculation of non-stationary state probabilities service systems: News from the St. Petersburg University of communication.] / V.P. Bubnov. 2011. № 4. 90-97 p.
6. Bubnov V.P. *Osobennosti programmnoj realizacii chislenno analiticheskogo metoda raschyota modelej nestacionarnykh sistem obsluzhivaniya: Trudy SPIIRAN*. [Features of the software implementation of numerical-analytical method of calculation models non-stationary service systems: SPIIRAS Proceedings.] / V.P. Bubnov, A.S. Eremin, S.A. Sergeev. 2015. №1. pp. 218-232.
7. Bubnov V.P. *Razrabotka dinamicheskikh modelej nestacionarnykh sistem obsluzhivaniya*. [Developing dynamic modeling of non-stationary systems.] / V.P. Bubnov, V.I. Safonov. – Saint-Petersburg, 1999, 65 p.

Forecasting the Size of the Grant Facilities for the Transportation of Passengers by Rail

Gerasimenko P.V.

Petersburg State Transport University
Saint Petersburg, Russia
pv39@mail.ru

Stasishina A.

Petersburg State Transport University
Saint Petersburg, Russia
stasishinanastya@gmail.com

Abstract. This study proposes an algorithm for forecasting the volume of subsidies for passenger transportation. The basis of the algorithm put construction on the basis of statistical data of North-West branch of the mathematical model and the validation of production-economic activity of the branch of JSC "Federal passenger company". Justification is made for assessing the quality of three types of regression models: linear, type of Cobb-Douglas and Allen. For the proposed model produced prediction and estimation error. Set the level of losses in the revenue of the branch by increasing the volume of passenger traffic and forecast subsidies.

Keywords: passenger transport; repair and maintenance; revenue; regression model; coefficient of determination; Fisher's criterion.

Rail transport is the most important sector of the country, providing economic and cultural ties, the development of many areas of the state [1,2]. The role of transport increases significantly in conditions of market economy, as it affects the acceleration or deceleration of delivery of passengers and cargo, the speed of turnover of capital, management of goods flows, the development of the social sphere of society, etc. In turn, the level of the economy puts demands on transport [3,4].

The reform of the Railways has led to the division freight and passenger companies. This transformation has excluded the possibility to compensate for the loss in passenger revenues freight. These losses are now pinned on the state. A feature of recent years has been the slowdown in economic growth and the reduction of social benefits for the population in Russia, resulting in a reduction of the needs of the population in transport services. The share of rail transport in domestic and international traffic decreased by 4.3% in 2014.

Today, one of the important problems to be solved by the specialists of railway transport is the development of the methodological apparatus for estimating and forecasting the economic and enterprise performance, providing timely and quality transport of passengers.

In Saint-Petersburg Transport University, based on the curriculum of masters in "System analysis and management", the study of theoretical principles of the discipline "Fundamentals of strategic management" is done by the masters themselves. A teacher in specialized classrooms equipped with computers conducts practical classes. The main purpose of training is to develop management decisions based on mathematical models.

The report gives examples of the method of making a strategic decision on the size of subsidies to affiliates of the joint stock company Federal passenger company (FPC). JSC "FPC" carries more than 110 million passengers a year. The company

has 16 branch offices, extensive network of depots and car divisions and personnel in support of all business processes.

Business architecture of the Company is JSC "FPC" as an integrated business system, which operation should be aimed at meeting the needs for the transportation of passengers and baggage trains. An additional objective of the Branch is receiving scheduled JSC "FPC" financial result from passenger transport long-distance and related works and services.

Starting in 2013, for the first time since the formation of the Company was forced to work in conditions of reduction of volumes of transportations of passengers. Passenger traffic for 2014 was 107,0 billion pass.-km, down 6.1% compared to 2013, the Main contribution to the reduction of passenger traffic of the Company in 2014 has made a significant growth of tariffs for passenger transportation in the regulated sector (over 30% in some months of the year) in the Wake of increased competition from aviation and bus carriers, as well as adverse macroeconomic situation, which has led to a slowdown in economic growth and real disposable income.

It is known that passenger transportations are unprofitable traffic. Therefore, the development of the size of government subsidies necessary for the implementation of scheduled passenger transportation is one of the strategic management tasks. The proposed method includes the following steps:

- analysis of Campaign activity and identification using Ishikawa diagrams the impact on the income of all factors;
- building a Pareto chart to establish the main factors determining the largest contribution to the revenue;
- mathematical modeling of the dependency of income from the main factors;
- evaluation using the Fisher test of significance, mathematical models and rational choice based;
- prediction of yield on selected models and managerial decisions.

In the work was the analysis of the most significant causal relationships between the factors and the result indicator, which adopted the Company's revenue. It was built the Ishikawa diagram, also known as chart "Fish bones". Your graph has allowed to identify the key relationships between different factors and more accurately understand the study process. After identifying the main factors that have the most significant impact on the Company's revenue, was built Pareto chart presented in Fig.1. The analysis of the factors with the strongest impact on the revenue of the branch is established that the model must include a ticket service and repair.

To simulate the revenue branch of the Company was used a statistical database of key economic and performance indicators North West branch for the period 2010-2014.g. on a

monthly basis. As a resulting indicator in this paper focused on the relative revenues of the Company and factors – the passenger traffic volume and the actual repair of rolling stock.

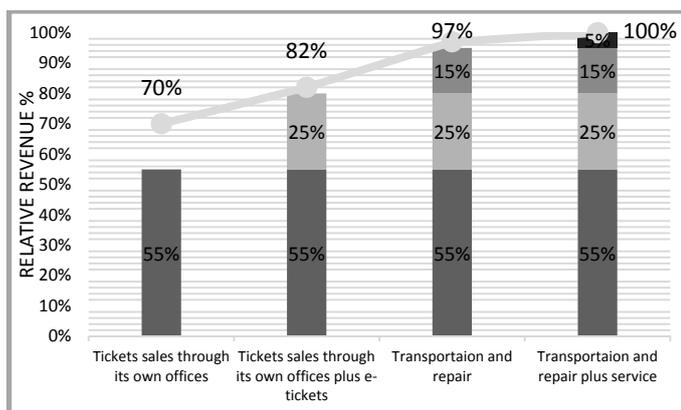


Fig. 1. The Pareto chart

To justify mathematical models of the dependence of the relative revenue of the North-West branch of JSC "FPC" from passenger traffic and volume of repair of rolling stock was applied regression analysis [5, 6]. As mathematical models are considered in this work linear and nonlinear regression function [7, 8]. Among the nonlinear models included type of model Alena and Cobb-Douglas. The construction was carried out using mean values of the result indicator and resources.

The linear model has the form:

$$\hat{Y} = 0,62 - 0,002 \cdot K + 0,0003 \cdot L.$$

Model type Cobb-Douglas has the form:

$$\hat{Y} = -12,54 \cdot K^{-0,89} \cdot L^{1,67}.$$

Model Alena has the form:

$$\hat{Y} = 1,51 + 5,28E - 08 \cdot KL - 4,13E - 06 \cdot K^2 - 1,065E - 10 \cdot L^2.$$

To select the most adequate models are needed to assess their quality. Quality assessment in the coefficient of determination revealed that the linear regression model has a higher coefficient of determination (0,67%). The calculation of the global error norms of the errors for the relevant production models confirmed the higher quality of the linear model among other models.

Estimating the error of approximation models also showed that for linear models there is the least error, which is equal to 18%. The calculation of the global error norms of the errors for the relevant production models confirmed the higher quality of the linear model among other models.

Evaluation of the models by the Fisher allowed for all production models reject the null hypothesis of random nature of the regression coefficient, and, consequently, to evaluate models, accept the alternative hypothesis of statistical significance of all regression equations. Based on performed calculations was recommended for further study and practical application of the linear model as the most simple and having higher quality metrics. In Fig. 2 presents the graphs of the revenue from passenger traffic at a fixed value of the volume of repairs.

The study showed that with an increase in passenger traffic is observed a reduction of revenue, if the ascertained value of the volume of repairs. Similarly, we investigated the dependence of revenue on the volume of repair when fixing the passenger (Fig.3). From Fig. 3 shows that the greater the volume of repair and maintenance, the more the Company's revenue. In Fig.4 shows the technical ability, i.e. graphs of passengers and the volume of repairs at a fixed value of revenue. From them it follows that the preservation of revenue requires the holding of a substantial amount of repair work. Thus, the contribution to the revenue volume of repair work is currently less significant, which confirms the Pareto chart.

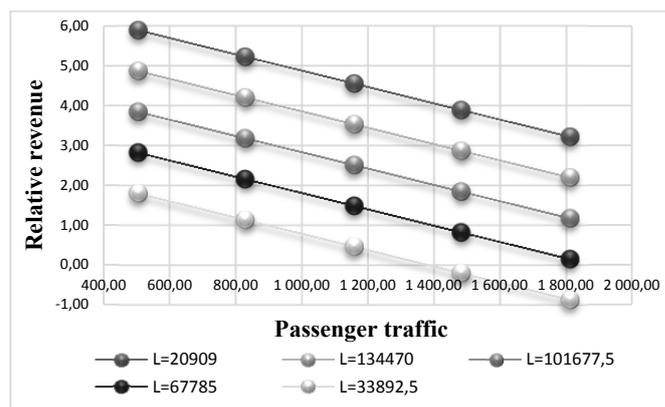


Fig. 2. The dependence of the revenue from passenger traffic

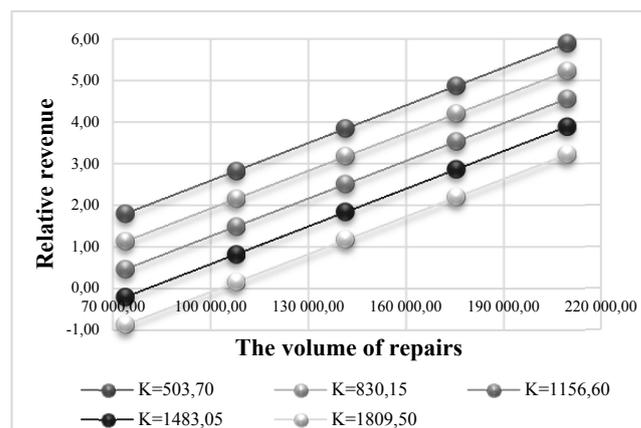


Fig. 3. The dependence of the revenue from volume of repairs

To assess the degree of influence of one factor on revenue while maintaining the values of the other factor made a study of the elasticity model. The obtained ratios of the elasticity of revenue passenger (E_K) and the elasticity of the revenue on the volume of repair and maintenance (E_L):

$$\partial_{\bar{K}} = \frac{dy}{dK} * \frac{\bar{K}}{y(\bar{K})} = b * \frac{\bar{K}}{y(\bar{K})};$$

$$\partial_{\bar{L}} = \frac{dy}{dL} * \frac{\bar{L}}{y(\bar{L})} = b * \frac{\bar{L}}{y(\bar{L})}.$$

The calculation showed that when you change the passenger traffic on 1% revenue branch of the Company is reduced by 5.53 percent, and also that when you change the volume of repair and maintenance of rolling stock, 1% of the Company's revenue will increase by 0.08%.

The adequacy of the proposed models was established by comparing the actual data for the month of February 2015 and predicted values of revenue from operations based on the selected model. The real value of revenues was 1.97 and predicted point value of the relative revenue amounted to:

$$\hat{y}_p = 0,62 - 0,002 \cdot K_p + 0,0003 \cdot L_p = 1,87.$$

Predicted point value of the Company's revenue matches actual - $\hat{y}_{xp} = 1,97$ (the error in the calculations - 4,69%), it also confirms the possibility of using linear models to predict the main production and economic indicators.

To determine the confidence interval of the relative forecast revenue needed to calculate the forecast error according to the formula [2]:

$$m_{\hat{y}_p} = \frac{S_{\text{ост}} *}{\sqrt{\left(1 + \frac{1}{100} + \frac{(K_p - \bar{K})^2}{(K_1 - \bar{K})^2 + \dots + (K_{100} - \bar{K})^2} + \frac{(L_p - \bar{L})^2}{(L_1 - \bar{L})^2 + \dots + (L_{100} - \bar{L})^2}\right)}} = 0,36$$

The maximum forecast error, which with probability 0,95 is not exceeded, will be:

$$\Delta_{\hat{y}_p} = t_{\text{табл}} * m_{\hat{y}_p} = 1,98 * 338205,40 = 0,70,$$

where $t_{\text{табл}}$ - the tabular value of t-statistics t-test for the number of degrees of freedom $n-2=98$, and the significance level of 0.05. Then the limit values of the confidence interval of the forecast revenue of the branch as follows:

$$\hat{y}_{p \text{ min}} = 1,17;$$

$$\hat{y}_{p \text{ max}} = \hat{y}_p + \Delta_{\hat{y}_p} = 2,58.$$

Performed predictive interval calculation for linear regression models showed that, with sufficient reliability (probability of 0.95), the predicted value of the relative revenue $\hat{y}_{xp} = 1,97$ will be covered with a range (1,17; 2,58).

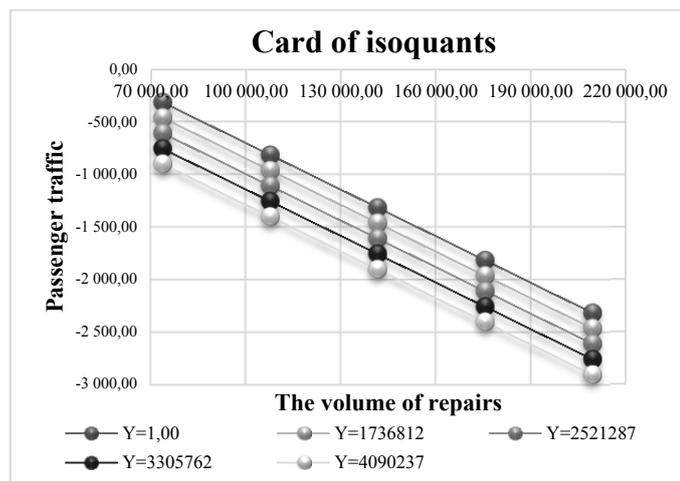


Fig. 4. The dependence from the volume of repairs

In conclusion, the estimated subsidy for making management decisions on scheduled passenger transportation. In the face of declining revenue forecast point value of the size of subsidies for 2016 is 25.7 billion rubles

In Fig. 5 shows the change in revenue and subsidy for the period from 2011 to 2016. As follows from the figure that since 2012 there has been a considerable reduction of state subsidies to passenger transportation long-distance when the significant-dimensional growth of the Company. The size of the predictive values of subsidies for 2016 equal to the relative size of the forecast revenue of the Branch.

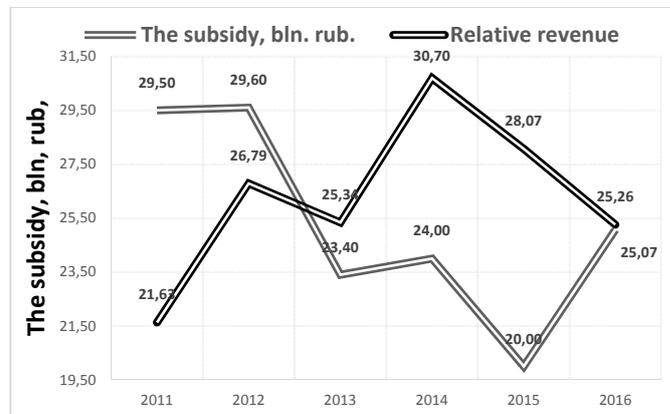


Fig. 5. The subsidy

The decrease in revenue and subsidy from 2014 due to declining passenger traffic, increasing competition among air and bus carriers, and macroeconomic situation in the country.

REFERENCES

1. Panova Y., Korovyakovskiy E., Bessolitsyn A. Rail passenger transport: Analysis and Prospects//Russian Journal of Logistics and Transport Management/2014 №2 (1), pp. 3-17.
2. Bablutsckaya E., Russian Trasport Infrastructure Development.//Russian Journal of Logistics and Transport Management. 2014.№2 (1), pp.21-30.
3. Gerasimenko V.P. Analysis of the dynamics of freight turnover of railway transport in Ukraine and in the CIS countries in pre-crisis and crisis period. Proceedings of the VI International scientific-practical conference "Problems and prospects of development of transport systems"[*Analiz dinamiki gruzooborota zheleznodoroznogo transporta v Ukraine I v stranah SNG v predkrixisniy i krizisniy period*]. Kyiv: DETOT, 2013, pp. 56-57.
4. A study of the impact of the global crisis on structural changes in the dynamics of the turnover of JSC "RZD" [*Issledovanie vliyaniya mirovogo krizisa na strukturnie ismeneniya dinamiki gruzooborota RZD*]. Proceedings of the IV International scientific-practical conference "Modern financial markets: development strategy". SPb.: Publishing house of St. Petersburg state economic University, 2013, pp. 18-20.
5. Johnston J. and Di Nardo J. Econometric Methods, 4th edition. – Mc Graw-Hill, 1997. 531 p.
6. Applied statistics. The basics of econometrics: Textbook for university, in 2 volumes, 2 edition, Ayvazyan S.A. Fundamentals econometrical. –M.UNITY-DANA.2001.
7. Gerasimenko V.P. Method of modeling risk in predicting investment results of the production activity of the enterprise [*Metod modelirovaniya riska pri prognozirovanii rezultatov investirovaniya proizvodstvennoy deyatelnosti predpriyatiya*]. News of St. Petersburg University of means of communication. 2012. № 2 (31), pp. 142-147.

8. Gerasimenko V.P., Stasishina A.E. Simulation of production and economic activity of the branch of JSC "Federal passenger company" [*Modelirovanie proizvodstvenno-ekonomicheskoy deyatel'nosti filiala AO Federalnaya Pas-*

sagirskaya Kompaniya]. Materials of VII International scientific-practical conference "the State and business. Modern problems of the economy. Volume 1". Ranepa. 2015 St Petersburg, pp. 111-116.

Прогнозирование размера субсидий на пассажирские перевозки железнодорожным транспортом

Герасименко П.В.

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия
pv39@mail.ru

Сташишина А. Е.

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

Аннотация. Предложен алгоритм прогнозирования объема субсидий на пассажирские перевозки. В основу алгоритма положено построение на основе статистических данных Северо-Западного филиала математической модели и обоснование производственно-экономической деятельности филиала АО «Федеральная пассажирская компания». Обоснование выполнено по оценке качества трех типов регрессионных моделей: линейной, типа Кобба-Дугласа и Алена. По выбранной из трех моделей произведено прогнозирование и оценивание погрешности. Установлен уровень потерь выручки филиала при увеличении объема пассажирских перевозок и прогноз субсидий.

Ключевые слова: пассажирские перевозки; ремонт и эксплуатация; выручка; регрессионные модели; коэффициент детерминации; критерий Фишера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Panova Y., Korovyakovskiy E., Bessolitsyn A. Rail passenger transport: Analysis and Prospects//Russian Journal of Logistics and Transport Management/2014 №2 (1) с. 3-17.
2. Bablutskaaya E., Russian Transport Infrastructure Development//Russian Journal of Logistics and Transport Management. 2014.№2 (1). С.21-30.
3. Герасименко П.В. Анализ динамики грузооборота железнодорожного транспорта в Украине и в странах СНГ в предкризисный и кризисный период. Материалы

VI Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспортных систем». Киев: ДЕТУТ, 2013. – С. 56-57.

4. Исследование влияния мирового кризиса на структурные изменения динамики грузооборота ОАО «РЖД». Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции «Современные финансовые рынки: стратегии развития». СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2013. – С. 18-20.

5. Johnston J. and Di Nardo J. Econometric Methods, 4th edition. – Mc Graw-Hill, 1997. – 531 с.

6. Applied statistics. The basics of econometrics: Textbook for university, in 2 volumes, 2 edition, Ayvazyan S.A. Fundamentals econometrical. –M.UNITY-DANA. 2001.

7. Герасименко П.В. Методика моделирования риска при прогнозировании результатов инвестирования производственной деятельности предприятия. Известия Петербургского университета путей сообщения. 2012. № 2 (31). – С. 142-147.

8. Герасименко П.В., Сташишина А.Е. Моделирование производственно-экономической деятельности филиала АО "Федеральная пассажирская компания". Материалы VII Международной научно-практической конференции "Государство и бизнес. Современные проблемы экономики. Том 1". РАНХиГС. 2015 г. Санкт-Петербург. – С. 111-116.

Реализация программного комплекса для вычисления фрактальных параметров сложных систем

Захаров А.И., Загайнов А.И.

ВКА им. Можайского

Санкт-Петербург, Россия

ana63916157@yandex.ru, zagainov239@gmail.com

Аннотация. Описываются возможности программного комплекса, предназначенного для вычисления фрактальных параметров сложных систем. Изложены методы численной реализации фрактальной размерности и пути осуществления ее вычисления в режиме реального времени. Показан интерфейс созданного комплекса, выполненный в среде Qt Creator. Параметры программной реализации содержат в себе необходимые для вычисления характеристики (размерность пространства вложения, параметр задержки, скейлинговый диапазон и пр.) и могут быть изменены уже в процессе вычислений. Приведен пример расчета фрактальных размерностей пациента, выполненный в реальном времени с помощью доплерографа Multi-DopX.

Ключевые слова: фрактальные параметры, восстановленный аттрактор, фазовое пространство, корреляционная размерность.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие методов анализа сложных сигналов с конца прошлого столетия приобрело явную тенденцию, направленную в сторону исследования возможностей нелинейных подходов для изучения их закономерностей. Особенно отчетливо эта тенденция наблюдается при построении нелинейных базисов для разложения исходного сигнала, учету нелинейных особенностей при построении прогноза, методов нелинейного регрессионного анализа, RS-статистики и исследования сигнала в конечномерных фазовых пространствах.

В последнем случае все чаще встречаются определения фракталов, хаоса и, особенно часто, детерминированного хаоса. Этот факт обусловлен, прежде всего, тем обстоятельством, что сама теории детерминированного хаоса имеет явный практический результат в виде доказательства сходимости фрактальной размерности в конечных фазовых пространствах для отображений, порожденных конечной системой нелинейных уравнений.

Поэтому исследовательский интерес к анализу фракталов, порожденных сложными временными рядами, состоит в возможности подобной сходимости, детерминированном хаосе самого сигнала и как следствие, постулате о существовании конечномерной системы нелинейных уравнений для исходного отображения. Последнее дает большие возможности для исследований, самый очевидный путь которых – прогнозирование построенных нелинейных систем.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Как будет показано ниже, в настоящее время момент при численном фрактальном анализе сложных систем используется следующий ряд показателей: корреляционная размерность, аппроксимационная (корреляционная) энтропия, примерная энтропия, энтропия Шеннона и ее модификации, старший показатель Ляпунова, экспонента Херста и др. При этом вычисления выполняются в известных статических программных реализациях (напр. модуль FracLab пакета MatLab, пакет TISEAN (авт. R. Hegger и соавт.), пакет Фрактан 4.4 (авт. В. Сычев) приложение CorDimension (Copyright ФНМТ AIRES) и др.). В работах используются алгоритмы для расчета оценки корреляционной размерности и энтропии с помощью алгоритма Грассбергера-Прокаччия [2].

При этом в силу получения результатов в известных реализациях, не дается уточнения алгоритмов вычисления таких параметров, как размерность фазового пространства n и скорость сходимости корреляционной размерности в зависимости от n , скейлинговый диапазон, оптимальное расстояние для вычисления энтропии и др. Тем не менее, авторы нескольких работ получили важные практически интерпретируемые научные результаты.

Так, в работе [1] в качестве сложной системы был взят механизм функционирования регуляции фетального сердечного ритма (ритма плода при беременности) и показано, что корреляционная размерность может служить тестом ее нарушения. Было обследовано 520 беременных, начиная сроков гестации 29-30 недель, среди которых 400 составляли основную группу, а оставшиеся 120 – группу контроля. Регистрация ритма сердца производилась при помощи кардиомонитора «Corometrics-120», с максимальной продолжительностью записи до 90 минут (не менее 60 минут). Анализу подвергались записи с количеством артефактов менее 5%. Автор исследовал наличие детерминированного хаоса в структуре сердечного ритма плода для дальнейшего прогноза его адаптации к внутриутробной гипоксии.

Временные ряды фетального ритма сердца обрабатывались с использованием алгоритмов программы TISEAN. В работе предложена оценка длины временного ряда (согласно Nerenberg) – более 4000 отсчетов. Исходя из этой оценки, по стандартному алгоритму [2] находятся значения корреляционной размерности вариабельности фетального ритма. Отмечено, что в большинстве случаев на этапе беременности в 29-30 недель насыщения корреляцион-

ной размерности не наблюдается (56.7%), и исходя из этого все записи разделены на ритмы с хаотической и случайной динамикой. При этом ко времени родоразрешения (38-40 недель) насыщения не наблюдается уже только у 23.3% испытуемых. Исходя из результатов работы, автор заключает, что практическое применение расчета корреляционной размерности может являться эффективным при прогнозе жизнеспособности плода.

Статья [3] посвящена оценке нелинейных показателей временных рядов сложной системы variability сердечного ритма (BCP) во время сна на примере фрактальной размерности и аппроксимационной энтропии. Были произведены холтеровское мониторирование 23 здоровых добровольцев (14 женщин и 9 мужчин в возрасте 35.4 ± 10.2 лет). Холтеровские записи были получены с помощью системы Delmar 750 A. Временные ряды сердечных сокращений также были проанализированы с помощью спектрального анализа в различных частотных диапазонах, с помощью специально разработанного программного обеспечения.

При анализе показателей BCP были обнаружены существенные различия между бодрствованием и сном для фрактальной размерности, аппроксимационной энтропии и мощности в диапазоне 0.0033-0.5 Hz. Авторы заключают, что без трендовые меры фрактальных компонент в определенной позиции коррелируют с известными линейными показателями BCP.

Авторы [4] пытались дать оценку корреляции нелинейных мер, таких как корреляционная размерность (PD2) и аппроксимационная энтропия (ApEn) во время анестезиологических пособий. В частности, проверялась оценка для случаев послеоперационной дисфункции желудочков. Были обследованы ЭКГ 12 пациентов, перенесших кардиохирургические вмешательства. С помощью микрокомпьютера Vetter model 420 (DataWave, LongMont, CO) получали высокочастотные (до 2000 Hz) ЭКГ, содержащие 10-15 минут записи во время анестезии и столько же после завершения наркоза.

Для расчета указанных характеристик было использовано неопианное программное обеспечение лаборатории Neurotech (Bangor, PA) и пакет математической обработки MatLab. Авторы выявили изменения BCP, которые происходят после выхода из наркоза для всех рассмотренных ЭКГ. Вместе с тем в работе исследовано сравнение уменьшения нелинейных характеристик при вводе в наркоз с мощностями в различных спектральных диапазонах.

Отмечено, что рассмотренные меры не являются эквивалентными и каждая из них несет определенную структуру изменчивости BCP при хирургическом пособии. Например, спектр мощности является очень чувствительным к периодическим изменениям, таким как дыхательная синусовая аритмия, которая зависит от положения пациента и частоты дыхания. При этом, величина периодического изменения не влияет на ApEn, что делает ее предпочтительной мерой BCP при внесении изменений в положение и частоту дыхания. Авторы также заключают, что PD2 подходит для нестационарных данных и является индикатором переходных изменений BCP.

Приведенный обзор не ограничивается получением важных научно значимых результатов при применении

аппарата фрактального анализа. Однако подчеркнем одну важную особенность подобных работ – обычно вычисления производят в отмеченных статических программных реализациях, не учитывающих специфику исходного временного ряда.

РАССМАТРИВАЕМАЯ МЕТОДОЛОГИЯ

Построение фрактала из исходного одномерного конечного сигнала связано с восстановлением его аттрактора. Это положение происходит из теории динамических систем, с которым на начальном этапе своего развития была неразрывно связана теория детерминированного хаоса. Этот факт отчетливо прослеживается в известной теореме Такенса, в которой предложен способ построения восстановленного аттрактора, принадлежащего гладкому многообразию, положив в качестве координат вектора состояния тот же самый ряд, смещенный относительно себя на некоторое постоянное значение:

$$\vec{x}(i) = (a(i), a(i + \tau), \dots, a(i + \tau(n - 1))) = (x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где $a(i)$ – исходный временной ряд, n – размерность пространства вложения, τ – временная задержка, а полученный вектор – координата одной точки на восстановленном аттракторе, при этом n удовлетворяет условиям теоремы Такенса:

$$n \geq 2[d_A] + 1,$$

где d_A – размерность восстановленного аттрактора.

Теорема Такенса утверждает, что при числе отсчетов $N \rightarrow \infty$ построенное методом задержки отображение является гладким и обратимым почти при любой конечной задержке τ . Свойства построенного таким образом аттрактора метрически (и вероятностно) эквивалентны исходному аттрактору динамической системы.

Однако, для реальных временных рядов эта теорема неприменима в силу их конечности. К сожалению, к настоящему времени для конечных временных рядов подобные теоретические результаты не получены. Существуют лишь оценки длины временного ряда, необходимы для характеристики степени подобия аттрактора с конечным числом значений. В качестве примера оценки необходимой длины приведем критерий А. Цониса:

$$N > 10^{N+0.4D} \gg 100.$$

Другой параметр, требующий уточнения при численной реализации – это параметр задержки τ . Самый приемлемый способ, рекомендуемый в литературе [5,8], состоит в нахождении первого нуля автокорреляционной функции:

$$B(\tau) = \frac{1}{N-\tau} \sum_{k=1}^{N-\tau} (a_k - \bar{a})(a_{k+\tau} - \bar{a}),$$

где исходный временной ряд $a_k = a(k\Delta t)$.

$$\tau_{opt} = \min_{\tau_i} \{B(\tau_i) = 0\}.$$

Применение этого метода связано с гипотезой некоррелированности координат точек аттрактора в силу ортогональности векторов базиса пространства вложения. Однако, эти утверждения неэквивалентны, и выбор параметра задержки таким способом не всегда является оптимальным. Альтернативой ему является построение функ-

ции средней взаимной информации по методу А. М. Fraise et al [6-8]. Интервал $[\min_k a_k, \max_k a_k]$ делят на L равных частей. Обычно L выбирают по формуле Старка [7]:

$$L = [\log_2 N] + 1.$$

Событие « $a(t)$ принадлежит i -му интервалу» обозначают A_i , событие « $a(t+\tau)$ принадлежит j -му интервалу» - B_j . P – вероятность соответствующего события.

Функция средней взаимной информации определяется как:

$$I(\tau) = - \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L P(A_i B_j) \log_2 \left(\frac{P(A_i B_j)}{P(A_i)P(B_j)} \right)$$

и в качестве оптимального параметра задержки выбирается первый локальный минимум построенной функции:

$$\tau_{opt} = \min_{\tau_i} \{I'(\tau_i) = 0, I'(\tau_i^-) < 0, I'(\tau_i^+) > 0\}.$$

Функция средней взаимной информации является более точной мерой независимости [7]. Там же показано, что для некоторых тестовых данных (аттрактор системы уравнений Лоренца) значение оптимального параметра задержки, полученное этим способом, является предпочтительней чем первым.

ФРАКТАЛЬНЫЕ РАЗМЕРНОСТИ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ

Наиболее известными характеристиками аттрактора динамической системы являются вероятностные (фрактальные) размерности. Под вероятностью здесь понимается вероятность нахождения точки в определенной области самого аттрактора в фазовом пространстве. Их общим выражением является так называемая размерность Реньи [9]:

$$D_q = \frac{1}{1-q} \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln(\sum_{i=1}^{M(\epsilon)} p_i^q)}{\ln(1/\epsilon)}, \quad (1)$$

где $M(\epsilon)$ – минимальное количество кубиков со стороной ϵ , полностью покрывающие аттрактор, p_i – вероятность посещения i -го кубика фазовой траекторией динамической системы.

Частными случаями размерности Реньи являются размерность Колмогорова, информационная размерность и корреляционная размерность, получаемые при параметрах $q=0, 1, 2$ соответственно. Для пространственно однородных аттракторов все эти размерности одинаковы. В общем случае, исходя из определения, размерность Реньи является монотонно убывающей функцией q :

$$q_1 < q_2 \Rightarrow D_{q_1} \geq D_{q_2}$$

Следовательно, для рассматриваемых объектов параметр q должен быть положительным. В настоящее время этот параметр принят равным двум (корреляционная размерность является оценкой информационной размерности, для ее вычисления разработан универсальный численный алгоритм, из полученного алгоритма автоматическая следует оценка соответствующей корреляционной или аппроксимированной энтропии). Из (1) следует, что корреляционная размерность есть:

$$D_C = \frac{1}{1-2} \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln(\sum_{i=1}^{M(\epsilon)} p_i^2)}{\ln(1/\epsilon)} = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln(\sum_{i=1}^{M(\epsilon)} p_i^2)}{\ln(\epsilon)}.$$

Последнюю удобно представить в следующей форме:

$$\lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln(C(\epsilon))}{\ln(\epsilon)},$$

где $C(r) = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{1}{m^2} \sum_{i,j=1}^m \theta(r - \rho(x_i, x_j))$ – корреляционный интеграл, $\theta(\alpha) = \begin{cases} 1, & \alpha \geq 0 \\ 0, & \alpha < 0 \end{cases}$ – функция Хевисайда, $\rho(x_i, x_j)$ – функция расстояния в n -мерном пространстве. Для аттракторов, состоящих из конечного числа точек, корреляционный интеграл заменяется соответствующей оценкой:

$$C(r) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=i+1}^M \frac{\theta(r - \rho(x_i, x_j))}{M(M-1)/2},$$

где M – количество точек на восстановленном аттракторе. Фрактальность исследуемого объекта предполагает что:

$$C(r) \sim r^{D_C},$$

откуда следует:

$$\ln C(r) \sim D_C \ln r,$$

и корреляционную размерность можно оценить, получив наклон прямой логарифма корреляционного интеграла.

Самым простым способом получения линейной зависимости по последовательности экспериментальных данных, как известно, является метод наименьших квадратов:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^T \ln C(r_i) \ln r_i = D_C \sum_{i=1}^T \ln^2 r_i + b \sum_{i=1}^T \ln r_i \\ \sum_{i=1}^T \ln C(r_i) = D_C \sum_{i=1}^T \ln r_i + bT, \end{cases}$$

где T – количество измерений корреляционного интеграла для различных расстояний r_i (вычисленных на равномерной сетке).

Справедливость приведенного закона ограничена значениями r_i , достаточно малыми по сравнению с размером аттрактора. Очевидно, при увеличении r до размеров аттрактора $C(r) \rightarrow 1$, а при уменьшении из-за конечности точек на аттракторе $C(r) \rightarrow 0$, и указанный степенной закон справедлив только в ограниченном диапазоне r (скейлинговом диапазоне), который может быть использован для определения размерности аттрактора. Этот диапазон необходимо либо принять постоянным, либо установить на практике для рассматриваемых нами сложных сигналов и менять в зависимости от типа сигнала (типа соответствующего аттрактора сигнала).

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

Реализация корреляционной размерности в режиме реального времени усложняется, прежде всего, возможностями автоматизированного вычисления необходимых параметров (размерность пространства вложения, параметр задержки, скейлинговый диапазон и пр.). Поэтому в

созданном комплексе мы предусмотрели возможность их изменения и автоматизированного вычисления с помощью оригинальных алгоритмов, использующих функции вероятности нахождения точек на аттракторе.

Скользящее окно (то есть текущий рассматриваемый массив) перемещается по временному ряду (сигналу) тем самым изменяя вычисляемую характеристику по времени. При этом изменяется аттрактор системы, его размерность и параметры. Здесь необходимо подчеркнуть, что рассмотренные параметры могут меняться уже при незначительном перемещении скользящего окна, что при боль-

- автоматизированное изменение размерности пространства вложения.
- Визуализации соответствующего двухмерного аттрактора системы.
- Автоматическом расчете параметров (левого и правого) скейлингового диапазона.
- Вычислении корреляционной размерности при перемещении скользящего окна.
- Аппроксимации изменения корреляционной размерности, которая делается из-за сильных флуктуаций построенного результата.
- Вычислении и визуализации специальных параметров, служащих для характеристики деятельности системы мозгового кровотока (спектральная плотность в диапазоне М- и В- волн, фазовый сдвиг, кросс-амплитуда и др.).

Параметры комплекса включают в себя возможность

шом количестве значений временного ряда представляет значительную трудность, так как на каждом шаге нам необходимо выполнять пересчет всех точек аттрактора.

Программный комплекс реализован в среде программирования Qt Creator. Его основные возможности состоят в следующем:

- Представлении исходных временных рядов.
- Автоматическом изменении аттрактора сигнала в режиме реального времени и его перестроении при изменении параметра задержки. Также возможно

изменение длины скользящего окна, перемещения окна, скорости проигрывания (при считывании из файла), принудительном изменении указанных параметров аттрактора.

ДЕМОНСТРАЦИЯ РАБОТЫ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

Для демонстрации работы программного комплекса приведен пример расчета фрактальных размерностей пациента, выполненный в реальном времени с помощью доплерографа Multi-DopX. На рис. 1 представлены описанные графические возможности построенного программного комплекса. При сравнении исходных временных рядов и реализованных спектральных и фрактальных характеристик для их количественной характеристики на общем графике возможно представление нескольких шкал.

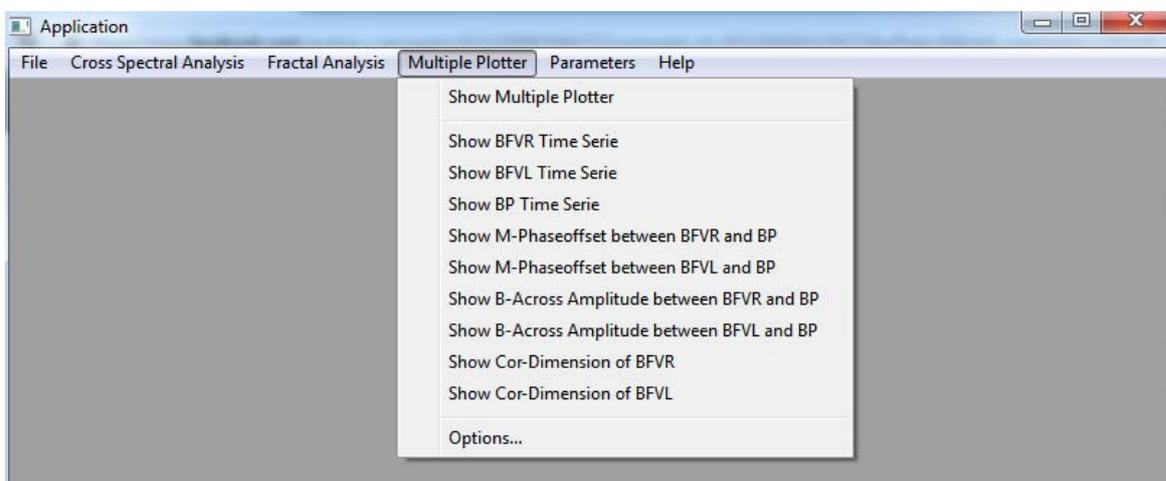


Рис. 1. Возможности мультиграфического интерфейса

Для аттракторов (рис.2) соответствующие окна переносят в различные части экрана. В меню «Parameters» возможно принудительно изменить параметры вычислений (в том числе параметры аттрактора).

На рис. 3 приведен пример мультиграфической визуализации построенных результатов. С помощью доплерографа Multi-DopX для пациента получены два временных ряда линейной скорости кровотока (слева и справа) и системного артериального давления. С помощью программного комплекса на одном графике могут быть построены сами временные ряды, сдвиг фаз между М волнами (справа и слева), амплитуда В-волн (справа и слева), корреляционные размерности сигналов.

Как отмечалось, слева могут быть установлены пять возможных шкал (скорость, давление, фазовый сдвиг, амплитуда и корреляционная размерность) для количественного сравнительного анализа сигнала. Так, для исследуемого сигнала линейная скорость кровотока слева изменялась от 1.38 до 1.64, справа от 1.38 до 1.68 и как видно из построенных графиков (CD2L и CD2R), эти показатели подобны. При этом фазовые сдвиги М-волн между линейными скоростями и давлением (PSR и PSL) изменялись (в соответствующем масштабе шкал) от -0.8 до 0 и от -0.95 до -0.65 [рад] и, наконец, амплитуды в диапазоне В-волн изменялись от 520 до 1320 и от 390 до 830 [мс] (ABL и ABR).

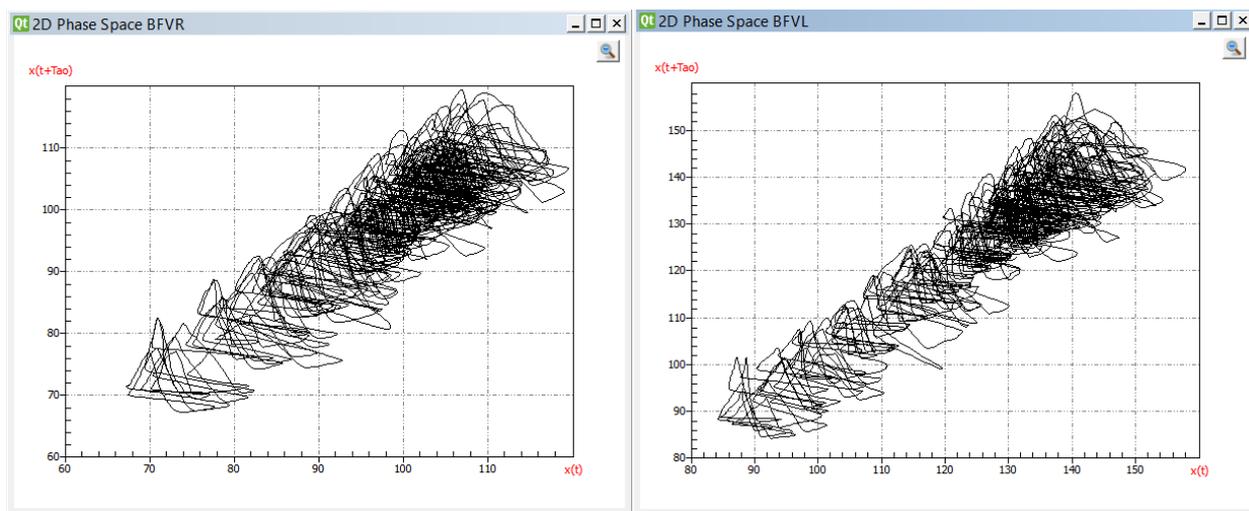


Рис.2. Аттракторы сигналов линейной скорости кровотока и системного артериального давления

Полученные изменения спектральных компонент очень большие в процентном соотношении и на рассмот-

ренном примере не удовлетворяют в прогностическом плане, не имеют признаков абсолютных факторов.

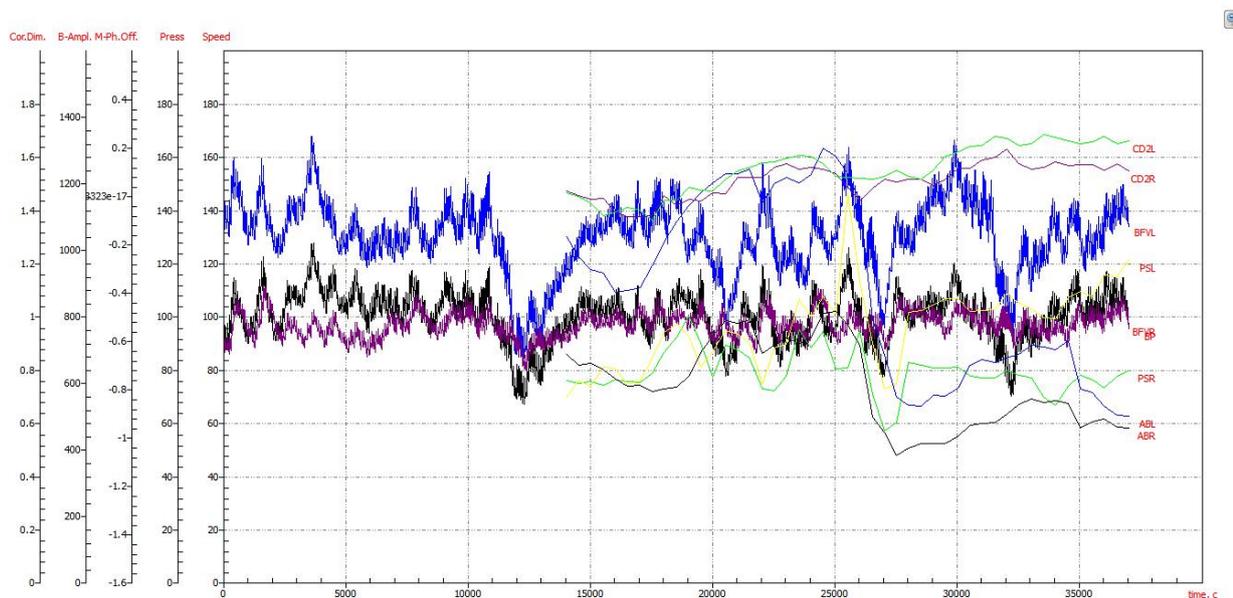


Рис. 3. Реализация изменения корреляционной размерности и ее сравнения другими показателями

Таким образом, из полученных результатов можно заключить, что построенная аппроксимация корреляционной размерности обладает прогностическими свойствами и точнее отображает внутренний характер структуры обрабатываемого временного ряда, нежели рассмотренные спектральные показатели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе реализован программный комплекс вычисления фрактальных размерностей сложной системы в режиме реального времени. Параметры программной реализации содержат в себе необходимые для вычисления характеристики (размерность пространства вложения, параметр задержки, скейлинговый диапазон и пр.) и могут быть изменены уже в процессе вычислений. Особенностью работы комплекса является реализация вычисления в режиме реального времени.

На примере средней скорости мозгового кровотока и системного артериального давления для пациента с помощью доплерографа Multi-DopX получены временные ряды указанных показателей, вычислены их фрактальные размерности и спектральные компоненты, выявлены их диапазоны и особенности изменения.

Следующей частью работы по реализации фрактальных показателей является сравнение корреляционной размерности с другими видами фрактальных размерностей (такими как, например, информационная размерность и показатель Херста, связанный линейным соотношением с фрактальной размерностью Колмогорова).

Построенное программное обеспечение может быть применено для обработки произвольных временных рядов в том числе и военного назначения (военная медицина, финансы, количество и тип войск и вооружений и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудков Г.В. Диагностические возможности определения детерминированного хаоса в структуре variability ритма сердца плода. // Вестник муниципального здравоохранения (электронное периодическое издание) №1(1), 2008, С.19.
2. Grassberger P., Procaccia I. Characterization of strange attractors // Phys. Rev. Lett. Vol. 50, 1983, pp. 346-349.
3. Yeragani V.K., Sobolewski E., Jampala V.C. Kay J., Yeragani S., Igel G. Fractal dimension and approximate entropy of heart period and heart rate: awake versus sleep differences and methodological issues // Clinical Science, Vol. 95, 1998, pp. 295-301.
4. Storella J. R., Kandell R. B., Horrow J. C., Ackerman T. C., Polansky M., Zietz S. Nonlinear measures of heart rate variability after fentanyl-based induction of anesthesia // Anesthesia&Analgesia, Vol. 81, 1995, pp. 1292-1294.
5. Махортых С.А. Алгоритмы вычисления характеристик стохастических сигналов и их применение к анализу электрофизиологических данных / С.А.Махортых, В.В.Сычев // Abstracts. NonlinearPhenomenainBiology.Pushchino:1998. pp.33-34.
6. Меклер А.А. Применение аппарата нелинейного анализа динамических систем для обработки сигналов ЭЭГ / А. А. Меклер// Актуальные проблемы современной математики: ученые записки, 2004, Т. 13(2), С. 112-140.
7. Головкин В.А. Нейросетевые методы обработки хаотических процессов / В. А. Головкин // Научная сессия МИФИ-2005. VII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2005»: Лекции по нейроинформатике. – М.:МИФИ, 2005. С. 43-91.
8. Янсон Н.Б. Моделирование динамических систем по экспериментальным данным / Н. Б.Янсон, В. С. Анищенко // Изв.вузов «ПНД», 1995, т.3, №3, С. 112-121.
9. Перерва Л.М. Фрактальное моделирование: учебное пособие / Л.М.Перерва, В.В.Юдин//под общ.ред. В.Н. Гряника. Владивосток: Изд-воВГУЭС, 2007. – С. 186.

Implementation of Software for Calculating the Fractal Parameters of Complex Systems

Zakharov A.I., Zagaynov A.I.

Military Space Academy named Mozhaiskiy
St. Petersburg, Russian Federation

ana63916157@yandex.ru, zagaynov239@gmail.com

Abstract. Describes the possibilities of software designed to calculate the fractal parameters of complex systems. Methods of numerical realization of the fractal dimension and the implementation of its calculations in real time are described. Shows the interface created by the complex formed in the environment of Qt Creator. Software implementation options contain necessary for calculating characteristics (dimension of the embedding space, delay parameter, the scaling range, and so on.) And can be changed in the course of calculations. An example of calculating the fractal dimensions of the patient made in real-time by Doppler study device Multi-DopX.

Keywords: fractal parameters, recovered attractor, phase space, correlation dimension.

REFERENCES

1. Gudkov G.V. The diagnostic capabilities of the definition of deterministic chaos in the structure of the fetal heart rate variability [*Diagnosticheskie vozmozhnosti opredeleniya determinirovannogo khaosa v strukture variabelnosti ritma serdtsa ploda*] // Vestnik munitsipalnogo zdravookhraneniya (elektronnoe periodicheskoe izdanie) [Bulletin of the municipal health services (electronic periodical)] №1 (1), 2008, P.19.
2. Grassberger P., Procaccia I. Characterization of strange attractors // *Phys. Rev. Lett.* Vol. 50, 1983, pp. 346-349.
3. Yeragani V. K., Sobolewski E., Jampala V. C. Kay J., Yeragani S., Igel G. Fractal dimension and approximate entropy of heart period and heart rate: awake versus sleep differences and methodological issues // *Clinical Science*, Vol. 95, 1998, pp. 295-301.
4. Storella J. R., Kandell R. B., Horrow J. C., Ackerman T. C., Polansky M., Zietz S. Nonlinear measures of heart rate variability after fentanyl-based induction of anesthesia // *Anesthesia&Analgesia*, Vol. 81, 1995, pp. 1292-1294.
5. Makhortykh S.A., Sychev V.V. Algorithms calculate the characteristics of stochastic signals and their application to the analysis of electrophysiological data [*Algoritmy vychisleniya kharakteristik stokhasticheskikh signalov i ikh primeneniye k analizu electrofiziologicheskikh dannykh*] Abstracts. *Nonlinear Phenomena in Biology*. Pushchino, 1998. pp.33-34.
6. Mekler A.A. Application of the apparatus of dynamic non-linear analysis systems for the EEG signal processing [*Primeneniye apparata nelineynogo analiza dinamicheskikh sistem dlya obrabotki signalov EEG*], *Aktualnye problemy sovremennoy matematiki: uchenye zapiski [Actual problems of modern mathematics: scientists notes]*, 2004, Vol. 13(2), pp. 112-140.
7. Golovko V.A. Neural network methods of processing chaotic processes [Neyrosetevye metody obrabotki khaoticheskikh processov]. *Trudy "Nauchnay sessiya MIFI-2005. VII Vserossiyskaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya «Neyroinformatika-2005»: Lektii po neyroinformatike* [Proc. "Scientific session of the MiFi 2005. VII All-Russia scientific-technical conference "Neuroinformatics 2005" Lectures on neuroinformatics"]. Moscow, 2005, pp. 43-91.
8. Janson N.B., Anischenko V.S. Modeling dynamics simulation-cal systems from experimental data [Modelirovanie dinamicheskikh sistem po eksperimentalnym dannym] *Izv.vuzov "PND" [Proceedings of the universities "AND"]*, Saratov, 1995, pp. 112-121.
9. Pererva L.M., Yudin V.V. *Fraktalnoe modelirovanie: uchebnoe posobie* [Fractal modeling: study guide], Vladivostok: Publishing house VGUES, 2007. 186 p.