

ISSN 2074-1707

АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНФОРМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ РАН
КАЛМЫЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ: управление и высокие технологии

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**2015
№ 3 (31)**

Журнал включен в перечень изданий, утвержденных ВАК для публикации основных результатов кандидатских и докторских диссертационных исследований по направлениям: «Управление в социальных и экономических системах», «Математические и инструментальные методы экономики», «Системный анализ, управление и обработка информации», «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», «Информационно-измерительные и управляющие системы».

Журнал входит в базу данных Ulrich's Periodicals Directory.

Астрахань
Издательский дом «Астраханский университет»
2015

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом
Астраханского государственного университета

**ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ:
управление и высокие технологии**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**2015
№ 3 (31)**

Редакционная коллегия:

- А.П. Лунёв*, д-р экон. наук, проф., ректор
Астраханского государственного университета (г. Астрахань), *главный редактор*;
Ю.М. Брумиштейн, канд. техн. наук, доц. Астраханского
государственного университета (г. Астрахань), ответственный секретарь;
Ж.И. Батырканов, д-р техн. наук, проф., проректор по научной работе и внешним связям
Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова
(Кыргызская Республика, г. Бишкек);
С.Н. Гончаренко, д-р техн. наук, проф. Национального
исследовательского технологического университета «МИСиС» (г. Москва);
А.И. Жученко, д-р техн. наук, проф. Национального технического университета Украины
«Киевский политехнический институт» (Украина, г. Киев);
В.А. Камаев, д-р техн. наук, проф. Волгоградского
государственного технического университета (г. Волгоград);
И.Ю. Квятковская, д-р техн. наук, проф.,
директор Института информационных технологий и коммуникаций
Астраханского государственного технического университета (г. Астрахань);
А.Г. Кравец, д-р техн. наук, проф. Волгоградского
государственного технического университета (г. Волгоград);
В.В. Морозов, д-р техн. наук, проф.
Владимирского государственного университета (г. Владимир);
Е.В. Никульчев, д-р техн. наук, проф., проректор по научной работе
Московского технологического института (г. Москва);
И.Ю. Петрова, д-р техн. наук, проф.
Астраханского инженерно-строительного института (г. Астрахань);
А.В. Рыбаков, канд. физ.-мат. наук, директор
Института исследований и решения технологических задач
Астраханского государственного университета (г. Астрахань);
Синсин Брайс Августин, проф., ректор Университета Абомей-Калави (Бенин);
А.В. Скрипаль, д-р физ.-мат. наук, проф.
Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского (г. Саратов);
И.Б. Старченко, д-р техн. наук, проф., директор ОКБ «Ритм»
Южного федерального университета (г. Таганрог);
Ю.Ю. Тарасевич, д-р физ.-мат. наук, проф.
Астраханского государственного университета (г. Астрахань);
Тхай Куанг Винь, канд. техн. наук, проф., директор Института информационных технологий
Вьетнамской академии наук и технологий (Вьетнам, г. Ханой);
М.В. Ульянов, д-р техн. наук, проф.
Московского государственного университета печати им. И. Федорова (г. Москва);
М.А. Ураксеев, д-р техн. наук, проф.
Уфимского государственного авиационного технического университета (г. Уфа);
Д.А. Усанов, д-р техн. наук, проф.
Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского (г. Саратов);
Н.К. Юрков, д-р техн. наук, проф.
Пензенского государственного университета (г. Пенза);
Р.М. Юсупов, д-р техн. наук, проф., директор
Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН,
чл.-корр. Российской академии наук (г. Санкт-Петербург)

Журнал выходит 4 раза в год
Все материалы, поступающие в редколлегия журнала,
проходят независимое рецензирование

© Астраханский государственный университет
Издательский дом «Астраханский университет», 2015
© Свиридов В.Б., дизайн обложки, 2008



ISSN 2074-1707

ASTRAKHAN STATE UNIVERSITY

VOLGOGRAD STATE TECHNICAL UNIVERSITY

DAGESTAN STATE UNIVERSITY

ST. PETERSBURG INSTITUTE FOR INFORMATICS AND AUTOMATION
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

KALMYK STATE UNIVERSITY

UFA STATE AVIATION TECHNICAL UNIVERSITY

PRIKASPIYSKIY ZHURNAL:
Upravlenie i Vysokie Tekhnologii

CASPIAN JOURNAL:
Management and High Technologies

A SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

2015
No. 3 (31)

The main thematical directions of the journal are: "Management in Social and Economis System", "Mathematical and Instrumental Methods od Economy", "System Analysis, Management and Information Processing", "Mathematical modeling, numerical methods and program systems", "Informational-measuring and measuring systems".

The journal is included into the database Ulrich's Periodicals Directory.

Astrakhan
Publishing House "Astrakhan University", 2015

Recommended by the Editorial and Publishing Board
of Astrakhan State University

**CASPIAN JOURNAL:
Management and High Technologies**

A SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

**2015
No. 3 (31)**

Editorial Board:

- A.P. Lunev*, D.Sc. (Economics), Professor, Rector,
Astrakhan State University (Astrakhan), *Editor-in-Chief*;
Yu.M. Brumshiteyn, Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Astrakhan State University (Astrakhan), Executive Secretary;
Zh.I. Batyrkanov, D.Sc. (Engineering), Professor, Vice Rector for Research and Foreign Relations,
Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakova
(Bishkek, Kyrgyz Republic);
S.N. Goncharenko, D.Sc. (Engineering), Professor,
National University of Science and Technology "MISiS" (Moscow);
A.I. Zhuchenko, D.Sc. (Engineering), Professor, National Technical University of Ukraine
"Kyiv Polytechnic Institute" (Kiev, Ukraine);
V.A. Kamaev, D.Sc. (Engineering), Professor,
Volgograd State Technical University (Volgograd);
I.Yu. Kvyatkovskaya, D.Sc. (Engineering), Professor,
Director of Institute of Information Technologies and Communications,
Astrakhan State Technical University (Astrakhan),
A.G. Kravets, D.Sc. (Engineering), Professor,
Volgograd State Technical University (Volgograd);
V.V. Morozov, D.Sc. (Engineering), Professor,
Vladimir State University (Vladimir);
E.V. Nikulchev, D.Sc. (Engineering), Professor, Vice Rector for Research,
Moscow Technological Institute (Moscow);
I.Yu. Petrova, D.Sc. (Engineering), Professor,
Astrakhan Engineering and Construction Institute (Astrakhan);
A.V. Rybakov, Ph.D. (Physics and Mathematics), Director
of Institute of Researches and Solutions to Technological Tasks,
Astrakhan State University (Astrakhan);
Sinsin Brays Avgustin, Professor, Rector, Abomey-Calavi University (Benin)
A.V. Skripal, D.Sc. (Physics and Mathematics), Professor,
Saratov State University named after N.G. Chernychevsky (Saratov);
I.B. Starchenko, D.Sc. (Engineering), Professor, Director
of Special Construction Bureau "Rhythm", Southern Federal University (Taganrog);
Yu.Yu. Tarasevich, D.Sc. (Physics and Mathematics), Professor,
Astrakhan State University (Astrakhan);
Tkhay Kuang Vin, Ph.D. (Engineering), Professor, Director of Institute of Information Technologies,
Vietnam Academy of Sciences and Technologies (Hanoi, Vietnam);
M.V. Ulyanov, D.Sc. (Engineering), Professor,
Moscow State University of Printing Arts (Moscow);
M.A. Urakseev, D.Sc. (Engineering), Professor,
Ufa State Aviation Technical University (Ufa);
D.A. Usanov, D.Sc. (Engineering), Professor,
Saratov State University named after N.G. Chernychevsky (Saratov);
N.K. Yurkov, D.Sc. (Engineering), Professor,
Penza State University (Penza);
R.M. Yusupov, D.Sc. (Engineering), Professor,
Director, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation
of the Russian Academy of Sciences,
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (St. Petersburg)

The journal is published four times a year
All materials that come to the Editorial Board of the journal
are subject to independent peer-review

© Astrakhan State University,
Publishing House "Astrakhan University", 2015
© V. B. Sviridov, cover design, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

О.В. Лавриченко

Разработка когнитивных моделей управления ограниченными инновационными ресурсами предприятий на базе неманипулируемых механизмов принятия решений 10

И.М. Ажмухамедов, О.М. Князева

Оценка состояния защищенности данных организации в условиях возможности реализации угроз информационной безопасности 24

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЭКОНОМИКИ

Ю.М. Бруштейн, Д.А. Захаров, В.М. Сокольский

Энергопотребление и энергоэффективность деятельности медицинских учреждений: направления анализа и возможности управления..... 40

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

В.А. Камеев, Е.А. Финогеев, А.Г. Финогеев, И.С. Нефедова, А.А. Финогеев

Конвергентная модель сбора и распределенной обработки данных в системах энергетического мониторинга 58

Д.А. Шевляков

Разработка алгоритма оптимизации параметров многопорогового декодера самоортogonalных кодов методом покоординатного спуска 75

А.Г. Курочкин, В.В. Жилин, С.Е. Суржикова, С.А. Филист

Использование гибридных нейросетевых моделей для многоагентных систем классификации в гетерогенном пространстве информативных признаков 85

Е.Ю. Васьковский, Ю.М. Бруштейн

Системный анализ функциональных возможностей счетчиков посещаемости сайтов..... 96

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

О.А. Хлопкова

Нейроэволюционный метод интеллектуализации принятия решений в условиях неопределенности 114

Д.А. Аминева, Н.Н. Кокин, С.У. Увайсов, А.Н. Тихменев

Анализ принципов построения аппаратно-программного комплекса для диагностического моделирования разнородных физических процессов в радиоэлектронной аппаратуре..... 129

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Нгуен Суан Мань, Г.А. Попов, И.Ю. Кучин

Подсистема управления процессом формирования входных данных
в системе интеллектуального управления зданием 142

А.А. Вишневский, В.Х. Ясоев

Интеллектуальный подход к улучшению метрологических характеристик
волоконно-оптических систем измерения давления и температуры,
предназначенных для нефтегазовой отрасли 158

А.Г. Зебзеев

Алгоритм определения апертур телеизмерений
в системах диспетчерского управления нефтедобычей..... 167

А.А. Колганов

Инженерная методика проектирования автомобильных радиоохранных систем 186

KODJO Koffi Mawugno, AJAVON Ayité Sénah Akoda,

SALAMI Adekunlé Akim, BEDJA Koffi-Sa

Using connectionist methods in the diagnosis of networked control systems:
application to the operation of a wind turbine..... 202

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 217

ПОРЯДОК РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ РУКОПИСЕЙ 226

CONTENTS

MANAGEMENT IN SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS

O.V. Lavrichenko

Cognitive management modeling of an innovative enterprise resources based on nonmanipulable mechanisms of the decision making 10

I.M. Azhmukhamedov, O.M. Knyazeva

Assessment of status for data security of organization in conditions of realization possibility for information security threats 24

MATHEMATICAL AND INSTRUMENTAL METHODS OF ECONOMY

Yu.M. Brumshteyn, D.A. Zakharov, V.M. Sokolskiy

Power safety analysis and management of medical institutions activity 40

SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING

V.A. Kamaev, Ye.A. Finogeev, A.G. Finogeev, I.S. Nefedova, A.A. Finogeev

Convergent model collection and distributed data processing in systems of energy monitoring..... 58

D.A. Shevlyakov

Development of algorithm optimization parameters multithreshold decoder self-orthogonal codes the component wise descent method..... 75

A.G. Kurochkin, V.V. Zhilin, S.Ye. Surzhikova, S.A. Filist

Use of hybrid neural network models for mnogoagentny systems of classification in heterogeneous space of informative signs 85

V.V. Vaskovskiy, Yu.M. Brumsteyn

System analysis of sites attendance counters functionality 96

MATHEMATICAL MODELLING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM SYSTEMS

O.A. Khlopkova

Neuroevolutional method of decision making intellectualization in conditions of indeterminacy 114

D.A. Aminev, N.N. Kokin, S.U. Uvaysov, A.N. Tikhmenev

Analysis of construction principles of hardware and software complex for diagnostic simulation heterogeneous physical processes in electronics 129

INFORMATION-MEASURING AND MEASURING SYSTEMS

Nguyen Xuan Manh, G.A. Popov, I.Yu. Kuchin

Management subsystem processes of formation input passed to the IP-system office building..... 142

A.A. Vishnevskiy, V.Kh. Yasoveev	
Intelligent approach to improve metrological characteristics of optical fiber systems of pressure and temperature measurement, intended for the oil and gas industry	158
A.G. Zebzeev	
Algorithm for aperture telemetry supervisory system oil production	167
A.A. Kolganov	
Engineering technique of designing radio security systems for vehicle	186
KODJO Koffi Mawugno, AJAVON Ayité Sénah Akoda, SALAMI Adekunlé Akim, BEDJA Koffi-Sa	
Using connectionist methods in the diagnosis of networked control systems: application to the operation of a wind turbine.....	202
RULES FOR THE AUTHORS	224
ORDER OF REVIEWING	227

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 004.94

РАЗРАБОТКА КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ОГРАНИЧЕННЫМИ ИННОВАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ НА БАЗЕ НЕМАНИПУЛИРУЕМЫХ МЕХАНИЗМОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Статья поступила в редакцию 17.06.2015, в окончательном варианте 22.07.2015.

Лавриченко Олег Вячеславович, кандидат экономических наук, инженер-программист, ОАО «Концерн Моринформсистема-Агат», 105275, Российская Федерация, г. Москва, Шоссе Энтузиастов, 29, e-mail: lavrslava1962@mail.ru

Рассмотрены некоторые аспекты проблемы сбалансированного распределения ограниченных инновационных ресурсов российских предприятий в условиях санкций со стороны стран Евросоюза и США. Предлагается авторское решение задачи распределения таких ресурсов на основе неманипулируемых механизмов принятия решений. Автор модифицировал классический итерационный алгоритм распределения ресурсов при нетрансферабельной полезности предпочтений лиц, принимающих решения, применительно к многокритериальным задачам параметризации баланса их распределения. Проведенное исследование опирается на результаты анализа показателей инновационной активности четырех предприятий, входящих в структуру московского концерна «Моринформсистема-Агат». Для статистически значимых параметров инновационных ресурсов определены их взаимосвязи и индексы взаимодействия. Результаты исследования отражены в таблицах и на схемах. Сформулированы определения, позволяющие решать поставленную задачу с применением неманипулируемых механизмов принятия решений. Определены и формализованы условия достаточности и целесообразности применения некоторых классов этих механизмов для разработки когнитивных моделей (КМ) управления ограниченными инновационными ресурсами. В статье обосновано, что в процессе разработки КМ целесообразно проводить их комплексное сравнение с моделями уже используемыми на предприятии – с точки зрения оценки ошибок прогнозирования. Результаты исследования показали, что авторский метод более эффективен при его совместном применении с информационными моделями и алгоритмами системы интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению инновационными ресурсами в условиях их дефицита. Использование авторского подхода к разработке КМ управления ограниченными инновационными ресурсами позволит лицам, принимающим решения, более эффективно обеспечивать конкурентноспособность и инновационную активность управляемых ими предприятий.

Ключевые слова: инновации, инновационные ресурсы, неманипулируемые механизмы, трансферабельная полезность, когнитивная модель управления, теория экономики активного коннекта, системный анализ, принятие решений, критерии оптимальности

COGNITIVE MANAGEMENT MODELING OF AN INNOVATIVE ENTERPRISE RESOURCES BASED ON NONMANIPULABLE MECHANISMS OF THE DECISION MAKING

Lavrichenko Oleg V., Ph.D. (Economics), software engineer, JSC "Concern Morinformsystema-Agat", 29 shosse Entuziastov, Moscow, 111024, Russian Federation, e-mail: lavrslava1962@mail.ru

The article discusses some aspects of the balanced allocation of the limited resources of the Russian innovative companies in terms of sanctions by the European Union and the United States. The author's solution to this problem on the basis of non-manipulable mechanisms of decision-making in relation to the

theory of the economy of the active connect. Author modified classical iterative algorithm of resource allocation when not transferable utility preferences of decision-makers, in relation to a multi-criteria problems parameterization balance for their distribution. The study is based on an analysis of the distribution of innovative resources balances of four companies, belonging to the structure of the Moscow concern «Morinfosystem-Agat». For the statistically significant criteria for innovative resources defined their relationship and interaction indexes. The study results are reflected in tables and charts. Author formulate the definitions that address the task with non-manipulable mechanisms for decision-making. In article defined and formalized terms of sufficiency and appropriateness for certain classes of these mechanisms usage for the development of the cognitive models of innovative management at limited resources. The article proved that during their development it is advisable to carry out a comprehensive comparison of cognitive models and already used models from viewpoint of forecast errors. The results showed, that the author's method is more effective when used in conjunction with the integrated information models and algorithms of intellectual support management decision-making for innovative resources in conditions of scarcity. The author's approach to the development of cognitive models of management at limited innovative resources will allow decision-makers to ensure the competitiveness and innovation activity of enterprises.

Keywords: innovation, innovative resources, nonmanipulable mechanisms, transferable utility, cognitive model of management, theory of active connect economy, system analysis, decisions making, optimality criteria

Введение. Когнитивные технологии являются приоритетными направлениями развития науки согласно «Прогнозу научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» [3]. Поэтому современная теория управления организационными системами, к которым относятся и инновационные системы предприятий, исследует когнитивные модели управления (КМУ) с учетом специфики активности человека и механизмов (возможности) манипулирования лицами, принимающими решения (ЛПР), со стороны тех лиц, которые предоставляют ЛПР информацию и могут оказывать влияние на их выбор.

Анализ работ отечественных и зарубежных ученых [1, 5, 10, 11] показал, что оптимальные КМУ ограниченными инновационными ресурсами (ИнР) целесообразно искать в классе неманипулируемых механизмов принятия решений (НМПР). Задача оптимизации распределения ИнР является особенно актуальной для российских предприятий в условиях применения к ним экономических санкций со стороны стран Европейского Союза и Соединенных Штатов Америки.

Концепция сбалансированного распределения ограниченных ИнР в рамках авторской теории экономики активного коннекта уже рассматривалась нами с позиций анализа многомерных структур неоднородных совокупностей, а также с использованием методов случайных выборок, отношения Парето и поиска экстремальных значений интеграла Шоке [7]. Тем не менее ряд вопросов выбора оптимальных решений по управлению ИнР отражен в существующей литературе недостаточно полно. Поэтому целью данной работы является исследование общих подходов к разработке КМУ ограниченными ИнР предприятия на базе НМПР для задач многокритериального индивидуального и коллективного принятия решений ЛПР.

Теоретический анализ проблемы. Ряд современных исследователей считает, что при разработке механизмов обеспечения эффективности принимаемых решений по управлению ИнР необходимо учитывать возможность манипулирования полезной информацией, сообщаемой ЛПР менеджерами предприятий. То есть возможность целенаправленного искажения информации с целью обеспечения принятия ЛПР наиболее благоприятных для них решений [4, 12]. Механизмы интеллектуальной поддержки принятия решений, которые устойчивы к недостоверной или неполной информации, мы будем называть неманипулируемыми. Под функцией полезности информации будем понимать формализацию заинтересованности менеджеров предприятий в решениях ЛПР концерна (корпорации) и типизацию информации об их предпочтениях в отношении результатов этих решений. К трансферальной функции полезности мы относим абсолютную или аддитивную модель информации, сообщаемой указанными менеджерами ЛПР.

В авторской теории экономики активного коннекта при разработке КМУ ИнР важна формализация и типизация процессов принятия решений ЛПР в общей постановке или MD (от английского Making Decisions, то есть принятие решений). В общем случае MD можно представить в таком виде:

$$MD = \langle O, P, T, Ip \rangle,$$

где O – множество объектов управления, P – политики управления по числу объектов, T – временные интервалы принятия решений, Ip – информационные процессы, реализуемые для обеспечения поддержки политики управления [9].

Отметим целесообразность использования «методологии управления проектами» при анализе совокупностей решений, принимаемых или предполагаемых к принятию ЛПР. В частности, это может касаться анализа взаимосвязей решений по отдельным этапам реализации проектов и ресурсных ограничений на принимаемые решения (как суммарных для проектов / совокупностей проектов, так и для их отдельных этапов); а также управления рисками [2] и сроками реализации решений в нечетких условиях. В свою очередь, риски во многом зависят от достоверности и качества информации, поступающей к ЛПР по различным «информационным каналам» – как по каналам, контролируемым менеджерами предприятий, так и по не зависящим от них. Поэтому анализ информационных потоков (потоков данных), обеспечивающих успешное функционирование системы управления предприятиями, является важным для всех этапов (стадий) принятия и реализации решений ЛПР.

Необходимо отметить ряд проблем, связанных с реализацией MD: на базовых операциях требуется владение набором всех ключевых компетенций, что значительно усиливает требования к ЛПР; все операции имеют линейную сложность, зависящую от числа управляемых объектов – это сказывается на времени обработки и качестве принятия решений.

В общем случае MD для каждого объекта включает такие стадии: pI – инициирования новой итерации цикла интеллектуальной поддержки принятия решений; pP – планирования; pD – фиксации принятых решений в объективной форме и их реализации; pC – проверки исполнения и оценки качества полученных результатов; pA – интеллектуальной поддержки. Процессы обработки и состояния информации, используемой для принятия решений, на различных этапах (стадиях) MD отражены на рисунке 1.

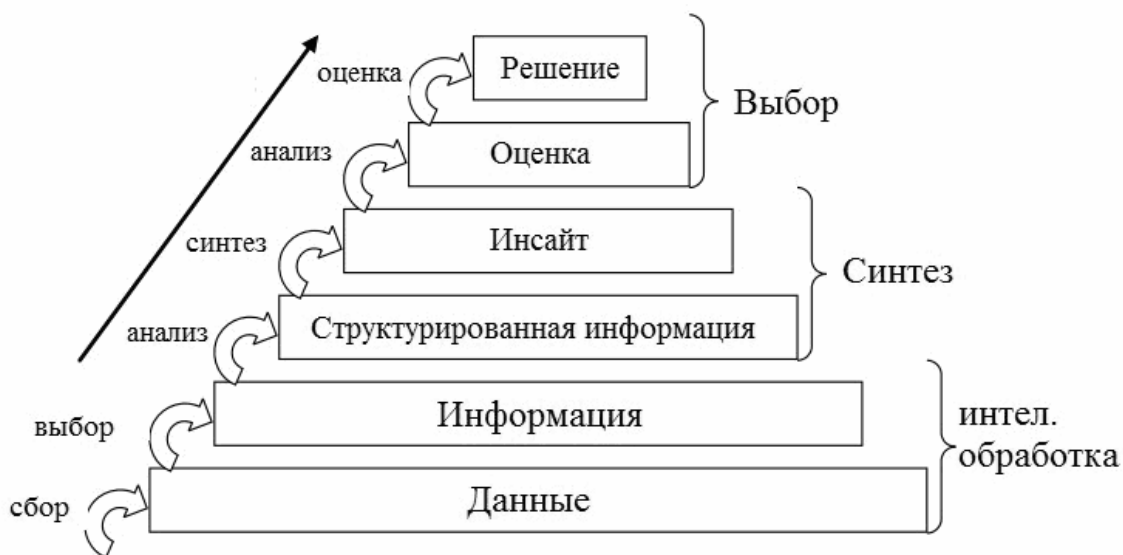


Рис. 1. Возможные состояния (этапы обработки) информации в процессе MD

Схема функциональной структуры для системы интеллектуальной поддержки принятия решений (СИППР) отражена на рисунке 2.



Рис. 2. Функциональная структура СИППР

Для представления MD с точки зрения последующего применения в СИППР мы использовали диаграммы потоков данных, в которых приняли следующие обозначения: основные операции (р), потоки данных (d) и хранилища данных (s).

Диаграмма потоков данных на стадии рI представлена на рисунке 3. Для операций данной стадии использованы следующие обозначения: dOD – данные об объекте управления; dOSD – формализованное представление объекта; dOM – метаданные объекта; dR – связи типа «параметр-сенсор»; dPM – политика управления; sPT – типы параметров; sDH – сенсоры; sOP – типы операций.

Стадии планирования при принятии решений посвящено много исследований [13, 14], поэтому мы не будем отдельно останавливаться на ней.

Диаграмма потоков данных на стадии внедрения и функционирования представлена на рисунке 4. Для операций этой стадии использованы следующие обозначения: sSD – информация о выбранном решении для реализации; sRD – информация о ресурсах, необходимых для реализации выбранного решения; dOM – данные об объекте управления; dAL – данные об уровне осведомленности менеджеров предприятий, реализующих принятое решение; dDIEX – данные о реализации процесса обмена информацией между ЛПП и менеджерами предприятий, реализующими принятое решение; dTS – программное обеспечение MD; dR – информация о ресурсах, необходимых для реализации выбранного решения; dSDN – информация о процессе и результатах реализации выбранного решения.

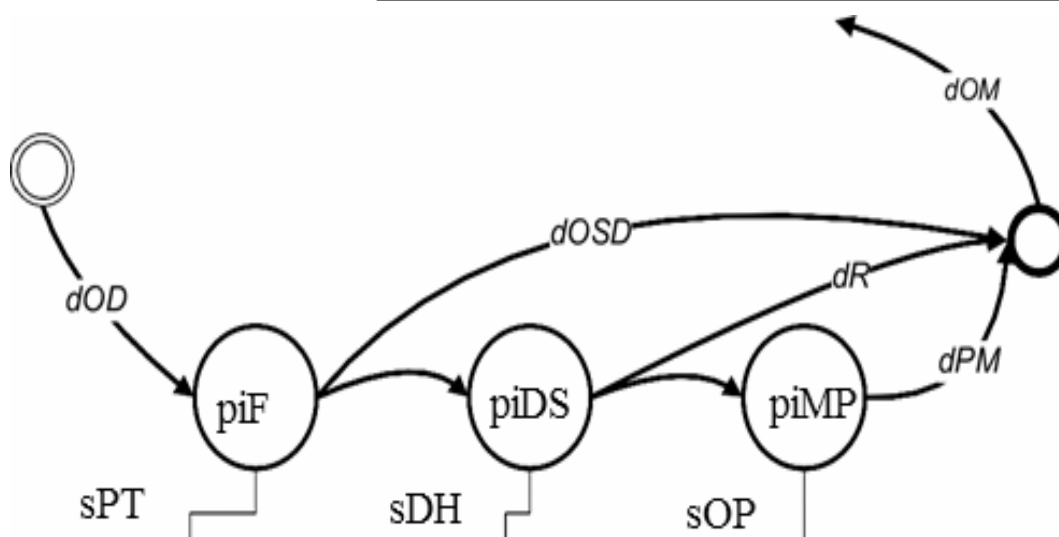


Рис. 3. Диаграмма потоков данных на стадии pi

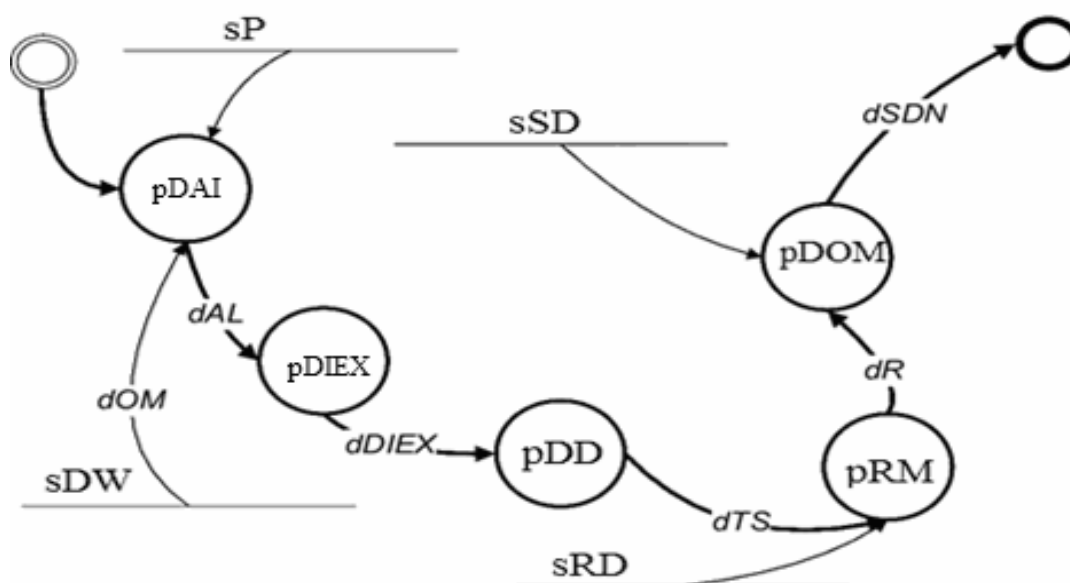


Рис. 4. Диаграмма потоков данных на стадии внедрения принятого решения

В диаграмме потоков данных на стадии проверки (рис. 5) использованы следующие обозначения: sL – законодательные акты; sCSI – информация о состоянии СИППР; sG – целевые значения выходных управляемых переменных; dCO – запросы на получение данных, формируемые ЛПП на стадии проверки; dCQR – данные, представляющие собой результаты запросов и их графическое отображение; dCRLC – результаты оценки соответствия решений законодательным и другим требованиям; dAR – результаты аудита с целью выявления несоответствий; dDV – перечень выявленных несоответствий; dCSD – выбранное или сформированное системой в автоматическом режиме предпочтительное решение.

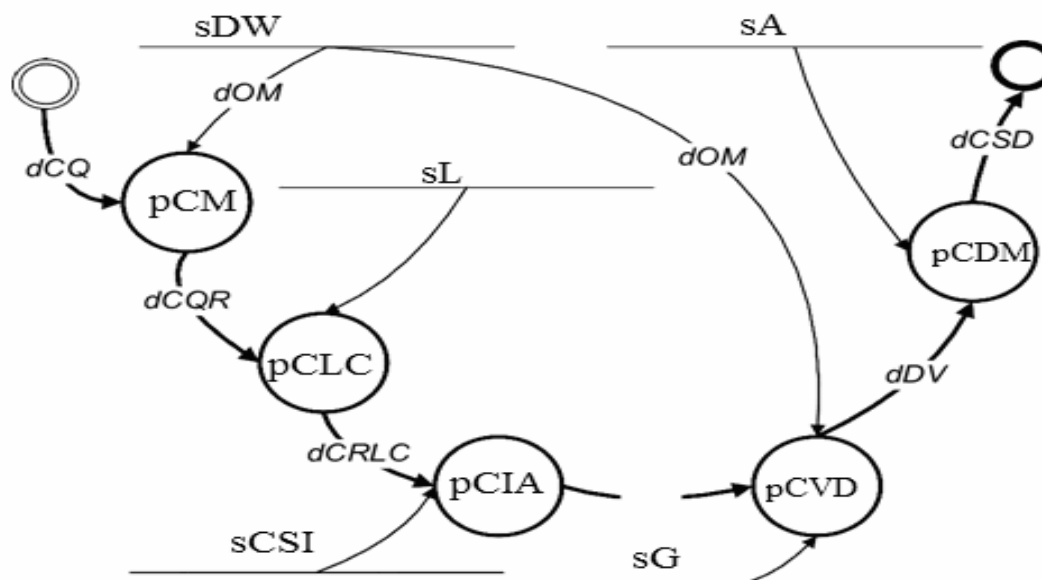


Рис. 5. Диаграмма потоков данных на стадии проверки

Диаграмма потоков данных на стадии интеллектуальной поддержки представлена на рисунке 6. Для обозначения операций этой стадии использованы такие обозначения: dRAP – отчет по результатам анализа; dASD – выбранное решение на стадии реализации и фиксации решений; pAP – анализ политики управления и показателей результативности для оценки степени достижения поставленных целей, состояния выполнения предупреждающих и корректирующих действий; pADM – принятие управленческих решений – либо при инициализации следующей итерации, либо при модификации MD.

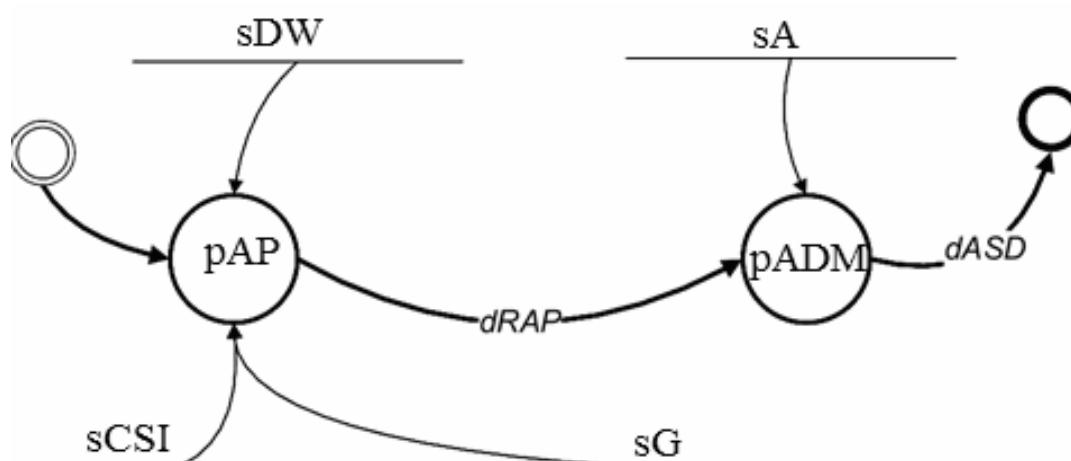


Рис. 6. Диаграмма потоков данных на стадии интеллектуальной поддержки MD

Наше исследование СИППР с точки зрения диаграмм потоков данных на всех стадиях выявило ряд актуальных проблем, которые еще ждут своего решения. Поэтому сложно

было полностью рассмотреть все их в данной статье. К таким проблемам можно, в частности, отнести следующие:

- типизацию менеджеров предприятий, входящих в структуру промышленного концерна (корпорации); учет их различий в отношении возможностей воздействий на различных ЛПР через «матричную призму» [менеджеры → ЛПР];
- особенности группового и согласованного поведения менеджеров предприятий с целью манипулирования решениями, принимаемыми ЛПР концерна, а также механизмы согласования менеджерами таких действий;
- учет рисков, связанных с возможностями манипулирования решениями ЛПР (такой учет позволит рассматривать задачу оптимального распределения ИнР с позиций даже линейного программирования);
- ряд других видов рисков.

Таким образом, несмотря на многочисленные исследования, до сих пор целый ряд вопросов остается нерешенным. В частности, отметим следующие: хотя существуют алгоритмы построения НМПР, но отсутствует аналитическая форма их записи; рассматриваемые НМПР отличаются друг от друга как по описанию, так и по своим свойствам – это не позволяет провести их декомпозицию до более простых механизмов, эквивалентных по эффективности манипулируемым; сложность, неочевидность и непрозрачность НМПР усложняют их реализацию.

Поэтому разработка КМУ ИнР предприятия на базе НМПР для задач с нетрансферабельной полезностью информации с непрерывным множеством допустимых вариантов их решения является центральной задачей нашего исследования. Однако необходимо отметить, что в нашей статье ЛПР принимают решения в условиях полной информации, то есть получаемой ими как от менеджеров предприятий, так и по другим каналам. Поэтому для случаев, когда им приходится принимать управленческие решения в условиях дефицита информации, необходимо дополнительное исследование, хотя и при таких условиях возможно манипулирование менеджерами информацией, сообщаемой ими ЛПР, в том числе и по созданию дефицита «нежелательной для них информации».

Формально процесс СИППР промышленного концерна записывается с использованием следующих обозначений: X – множество допустимых значений набора планируемых параметров для ЛПР, Ω – множество возможных значений исходной информации ω , передаваемой менеджерами предприятия, то есть набор данных, на основании которых ЛПР принимает решение (здесь и далее по тексту для обозначения множеств мы будем использовать жирный шрифт).

Пусть для некоторого критерия эффективности «К» (например, затраты на производство, объем выпуска продукции и т.д.) процедура планирования $f: \Omega \rightarrow X$ – является оптимальной (далее – целевая процедура). С точки зрения управляемости целевая процедура должна быть однозначной. То есть в случае, если для какого-либо ω существует множество планов $X^*(\omega) \in X$, оптимальных по критерию «К», то процедура планирования должна обеспечивать выбор единственного решения $x^* \in X^*(\omega)$.

Заинтересованность менеджеров предприятий в определенных решениях ЛПР по распределению ограниченных инновационных ресурсов концерна между предприятиями формализуется функциями полезности $u^i: \Omega \times X \rightarrow R^i$, где $i \in N$ – индекс предприятия, N – множество предприятий. Класс возможных функций полезности обозначим как U^i , а набор функций полезности (профиль предпочтений) – в виде U . С точки зрения теории эффективных механизмов [5] особую роль играют процедуры принятия решений, которые являются эффективными по Парето.

Задачу MD будем называть индивидуальной, если выполняется следующее условие: $X = \times_{i \in N} X^i$, то $\forall i \in N u^i: \Omega \times X^i \rightarrow R^i$. То есть набор планируемых параметров может быть

разделен на несколько параметров, от каждого из которых зависит целевая функция только соответствующего предприятия. Группы менеджеров формально определим как C .

Задачу MD будем называть смешанной, если $\exists N \in 2^N \setminus \emptyset : X = \times_{C \in N} X^C : \forall C \in N \forall i \in C u^i : \Omega \times X^C \rightarrow R^i$, и коллективной, если $\exists N \in 2^N \setminus \emptyset : X = \times_{C \in N} X^C, \forall C \in N \forall i \in C u^i : \Omega \times X^C \rightarrow R^i$ [4].

В рамках подобной формализации необходимо определить $\omega_f : \Omega \times U \rightarrow v$ – преобразование, описывающее искажение передаваемой информации (v) менеджерами предприятий с учетом их активности при заданной f . Если $\omega_f = \omega$, то процедура планирования f является неманипулируемой, т.е. робастной по отношению к активности менеджеров предприятий.

Для принятия решения ЛПП необходимо введение критерия, определяющего, насколько сильно искажаются результаты оптимального распределения ограниченных ИР концерна из-за целенаправленной активности менеджеров предприятий, имеющей целью манипулирование решениями ЛПП. На практике в качестве данного критерия рассматривается погрешность манипулирования, то есть максимальное рассогласование результатов MD без и с учетом активности менеджеров предприятий по некоторой метрике L . По умолчанию в данной работе используется метрика L_1 .

При выборе окончательного варианта решается задача уменьшения погрешности манипулирования. В формализованном виде эту задачу можно представить так: $p = \langle S, \pi \rangle$, где $S = \times_{i \in N} S^i$, S^i – множество допустимых действий (а не только сообщений) менеджеров предприятия, $i \in N, \pi : S \rightarrow X$ – процедура выбора ЛПП варианта MD, учитывающая целенаправленную активность менеджеров предприятий, где i – предпочтения каждого менеджера относительно решения ЛПП.

Множества S и Ω могут не иметь между собой ничего общего, но в рамках данной работы существенным является преобразование $S_\pi : \Omega \times U \rightarrow S$, определяющее действия менеджеров предприятий в процедуре π . Множество допустимых процедур MD обозначим как Π , а множество его допустимых механизмов – как P . Решение задачи уменьшения погрешности манипулирования процессом принятия решений ЛПП будем производить на основе модифицированного критерия:

$$\Delta_f(p) = \max_{\omega \in \Omega, u \in U} \|f(\omega) - \pi(S_\pi(\omega, u))\|_L. \quad (1)$$

Сформулируем два определения, которые позволяют решить эту же задачу и с применением неманипулируемых механизмов поддержки принятия решений ЛПП по сбалансированному распределению ограниченных ИР между предприятиями при нетрансферабельной полезности получаемой информации.

Определение 1. Механизм $\rho_f \in P$ является решением поставленной задачи, если он аппроксимирует целевую процедуру f :

$$\rho_f^* \in \text{Argmin}_{p \in P} \Delta_f(p). \quad (2)$$

Очевидно, что «идеальным» решением данной задачи является механизм, для которого $\Delta_f(\rho) \equiv 0$.

Определение 2. Механизм $\rho_f \in P$ полностью реализует целевую процедуру f , если $\Delta_f(\rho) \equiv 0$. При этом соответствующая целевая процедура называется полностью реализуемой.

Для определения достаточности и целесообразности применения некоторых классов НМПП для решения поставленной задачи введем также два определения. Все переменные нами уже формально определены выше.

Определение 3. Механизмы $\rho = \langle S, \pi \rangle$ и $\tilde{\rho} = \langle \tilde{S}, \tilde{\pi} \rangle$ эквивалентны для заданных Ω и U , если соблюдаются условия:

$$\forall \omega \in \Omega, \forall u \in U \pi(S_\pi(\omega, u)) \equiv \tilde{\pi}(\tilde{S}_{\tilde{\pi}}(\omega, u)).$$

Определение 4. Процедура f обладает нередуцируемой погрешностью манипулирования, если механизм $\langle \Omega, f \rangle$ является решением задачи.

Обозначим через f_p – целевую процедуру принятия решения ЛПР, которая реализуется некоторым механизмом. Если обозначить через F_p – множество всех целевых процедур принятия решения, реализуемых классом механизмов P , то определение 2 для решения задачи может быть сформулировано в терминах подобных процедур следующим образом:

$$\rho : f_p \in \text{Arg} \min_{f \in F_p} \max_{\omega \in \Omega} \|f(\omega) - \tilde{f}(\omega)\| \quad (3)$$

Из КМУ ИнР (3) следует, что при распределении ограниченных ИнР промышленного концерна между его предприятиями с числом более двух множество допустимых вариантов решения «**X**» определяется ресурсным ограничением «**R**» по следующей формуле:

$$X = \{x = \{x_1, \dots, x_m\} \in R_m^+ \mid \sum_{j=1}^m x_j \leq R\} \quad (4)$$

Обсуждение результатов. Проведем анализ результатов применения предложенной нами КМУ ИнР на примере нескольких предприятий, входящих в московский концерн «Моринформсистема-Агат». Для удобства обозначим их как № 1, № 2, № 3 и № 4. Будем использовать задекларированные показатели из бухгалтерских балансов и финансовых отчетов о результатах инновационной активности этих предприятий. По каждому предприятию набор данных (НД) содержит оценки по следующим параметрам: (1) основные средства; (2) оборотные активы; (3) нематериальные активы; (4) маркетинговые ресурсы; (5) управленческо-инфраструктурные ресурсы; (6) трудовые ресурсы, – далее параметры 1, 2, 3, 4, 5, 6. Суммарная оценка по всем параметрам представлена в таблице 1.

Структура адаптивной СИППР для концерна «Агат» представлена на рисунке 7.

Таблица 1

Показатели деятельности предприятий

Предприятия	НД 2013 г. (в млн руб.)	НД 2014 г. (в млн руб.)
№ 1	344	356
№ 2	349	368
№ 3	176	191
№ 4	86	114
Итого	955	1029

На рисунке 8 показано, что «невключение» в КМУ ИнР даже одного из параметров значительно увеличивает ошибку прогнозирования сбалансированности распределения ограниченных ИнР концерна между его предприятиями (непрерывная линия – реальные значения, прерывистая линия – прогнозные значения). Однако помимо полноты параметров, которые должны учитываться в КМУ ИнР предприятий, для эффективности прогнозирования очень важны и временные показатели модели, то есть своевременность поступления ЛПР данных от менеджеров предприятий, а также доступное время ожидания ЛПР получения информации, которое не должно превышать порог MD (рис. 9).

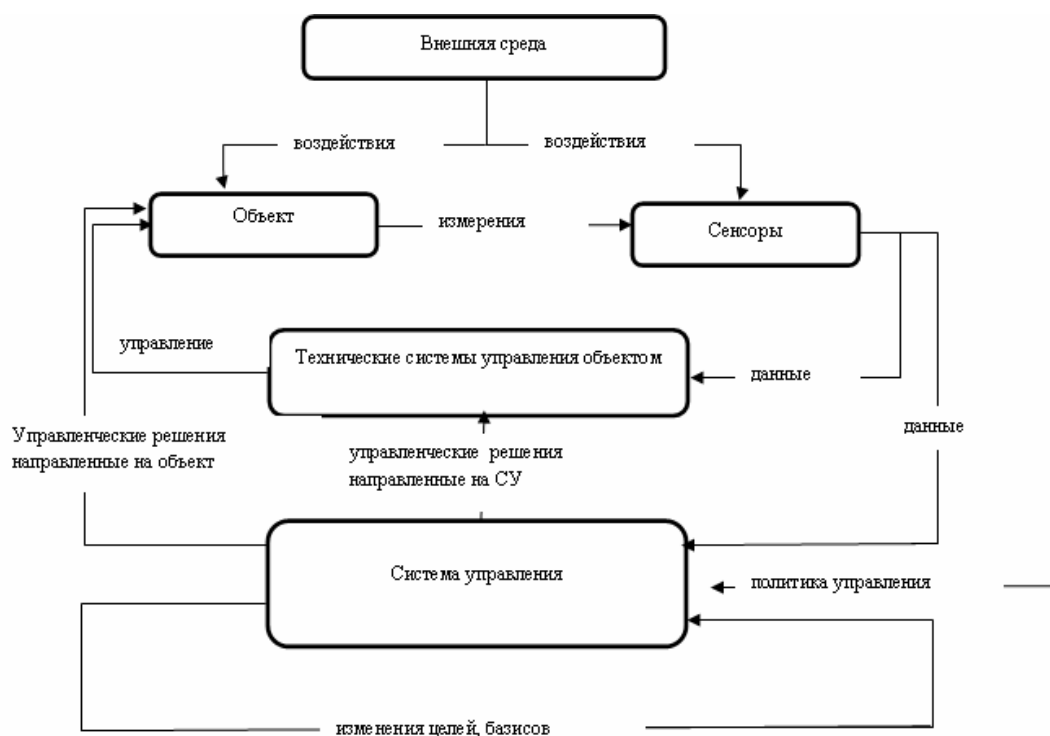


Рис. 7. Структура адаптивной СИППР для концерна «Агат»

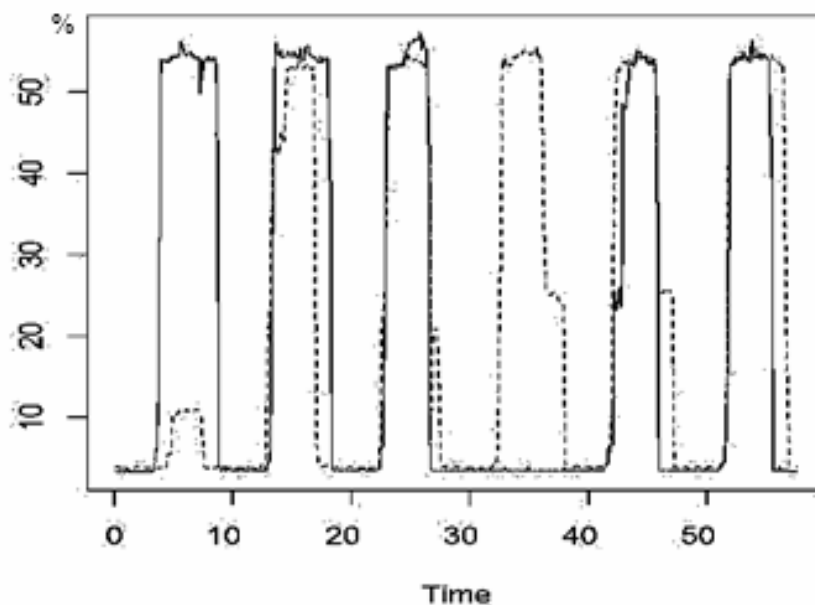


Рис. 8. Ошибка прогнозирования при исключении внешних параметров из КМУ

Графики на рисунке 9 построены на основе экспертных оценок эффективности прогнозирования принимаемых решений ЛПР по критерию, который мы назвали «погрешность манипулирования» и ниже дали ему определение.

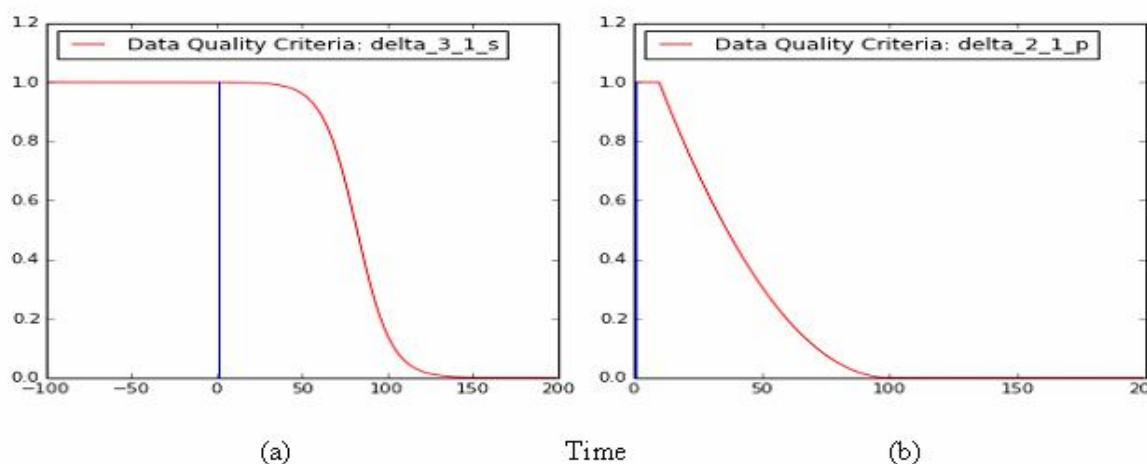


Рис. 9. Зависимости показателей:

- (а) эффективности прогнозирования от разницы между временем принятия решения ЛПР и временем получения данных; (б) эффективности прогнозирования от доступного для ЛПР времени ожидания

Задача распределения ИнР концерна между его предприятиями рассматривается в следующей постановке. Организационная система состоит из одного центра и четырех управляемых им предприятий. У центра имеются ИнР в объеме «R», которые могут быть распределены между предприятиями. Необходимо найти механизм их распределения, максимизирующий значения критерия эффективности «K». Для рассматриваемого случая имеет место дефицит ИнР, т.е. их меньше, чем хотелось бы суммарно получить менеджерам предприятий.

Для оценки эффективности принимаемых решений мы ранее ввели критерий, определяющий, насколько сильно искажаются результаты сбалансированности распределения ограниченных ИнР концерна из-за целенаправленной активности менеджеров предприятий. Этим критерием является погрешность манипулирования, то есть максимальное рассогласование результатов планирования без и с учетом целенаправленной активности менеджеров предприятий по некоторой метрике L.

Исходя из вышесказанного, на основе КМУ инновационные ресурсы «R» между предприятиями концерна распределяются по следующему итерационному алгоритму:

Шаг 1. $N_l = N_{l-1} \setminus K_{l-1}, K_l = \{i \in N_l : \tau^i \leq q^i(N_l, R_{l-1})\}$,

Шаг 2. $\forall i \in K_l, x^i = \tau^i$, если $K_l = \emptyset$ то алгоритм останавливается и $\forall i \in N_l, x^i = q^i(N_l, R_{l-1})$.

Шаг 3. $R_l = R_{l-1} - \sum_{i \in K_l} \tau^i$. $l = l + 1$. Переход на шаг 1.

Применив итерационный алгоритм для каждого из инновационных ресурсов и для каждого предприятия концерна, мы получили индексы взаимодействия параметров, которые далее показаны в таблице 2 жирным шрифтом. Для сравнительной оценки эффективности применения НМПР в этой же таблице не жирным шрифтом показаны индексы взаимодействия критериев ИнР (параметров). Данные индексы ранее были рассчитаны по разработанной нами методике сбалансированного распределения ИнР на основе применения максимальных значений интеграла Шоке и представлены в более ранней статье [6].

Проанализировав данные из таблицы 2, мы сделали вывод о том, что КМУ ограниченными ИнР на базе НМПР позволяет существенно дополнить механизмы распределения

ИнР и добиться оптимизации их сбалансированности в рамках определенного (фиксированного) бюджета промышленного концерна.

Сравнение среднего абсолютного отклонения величин значений КМУ на базе НМПР от величин значений модели расчета на основе максимальных значений интеграла Шоке (МИШ) показало, что для ЛПР остается актуальным нахождение компромиссной модели принятия управленческих решений по достижению сбалансированного распределения ограниченных ИнР концерна между его предприятиями (табл. 3).

С целью автоматизированного анализа компромиссных КМУ ИнР предприятий автор разработал Программу для ЭВМ «Программа автоматизации дистанционного управления разноуровневыми инновационными системами» [8]. Ее применение позволяет ЛПР более эффективно решать задачи по оптимизации распределения инновационных ресурсов концерна между предприятиями, входящими в его состав.

Таблица 2

Индексы взаимодействия параметров							
ПРЕДПРИЯТИЯ	ИНДЕКСЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ						
	<i>Критерии</i>	<i>1.</i>	<i>2.</i>	<i>3.</i>	<i>4.</i>	<i>5.</i>	<i>6.</i>
№ 1	1.	–	–0,053	–0,200	–0,096	–0,100	–0,300
	2.	–0,067	–	–0,700	0,200	0,150	–0,300
	3.	–0,192	–0,067	–	–0,600	0,100	0,119
	4.	–0,108	0,017	–0,058	–	0,020	0,020
	5.	–0,100	0,142	0,100	0,017	–	–0,346
	6.	–0,267	–0,025	0,100	0,017	–0,358	–
№2	1.	–	0,100	–0,040	0,100	0,135	–0,157
	2.	0,008	–	0,175	–0,180	–0,075	0,100
	3.	–0,033	0,175	–	0,175	–0,180	0,050
	4.	0,092	–0,200	–0,158	–	0,100	0,180
	5.	0,133	–0,075	–0,033	0,092	–	–0,000
	6.	–0,200	0,092	0,050	0,175	–0,117	–
№3	1.	–	0,235	0,065	–0,219	–0,120	–0,050
	2.	0,200	–	0,065	–0,219	–0,120	–0,050
	3.	0,050	–0,050	–	0,035	0,035	0,035
	4.	–0,217	–0,217	0,033	–	0,035	0,400
	5.	–0,117	0,117	0,033	0,033	–	0,300
	6.	–	–0,050	0,033	0,367	0,300	–
№4	1.	–	0,400	0,400	–0,450	–0,100	–0,170
	2.	0,333	–	–0,500	0,200	0,100	0,005
	3.	0,417	–0,583	–	0,100	0,000	0,100
	3.	–0,500	0,167	0,083	–	0,100	0,200
	5.	–0,083	0,083	0,000	0,083	–	–0,100
	6.	–0,167	0,000	0,083	0,167	0,167	–

Таблица 3

Величины среднего абсолютного отклонения для различных моделей		
<i>Модель</i>	<i>НД 2013 г.</i>	<i>НД 2014 г.</i>
КМУ	0,032	0,041
МИШ	0,051	0,054

Таким образом, после разработки новой КМУ ИнР для ЛПР целесообразно осуществить ее сравнение с уже имеющейся моделью и принять решение о применении лучшей из них – с точки зрения оценки анализа ошибок прогнозирования.

Выводы. 1. Когнитивные модели управления ИнР, разработанные на основе неманипулируемых механизмов, позволяют ЛПП принимать индивидуальные решения, которые с достаточно высокой степенью эффективности обеспечивают сбалансированное распределение инновационных ресурсов концерна между его предприятиями.

2. Для задачи многокритериального коллективного (совместно с менеджерами предприятий) принятия решений ЛПП необходимо расширить виды предпочтений, для которых могут быть описаны классы НМПП в условиях дефицита инновационных ресурсов.

Список литературы

1. Брумштейн Ю. М. Анализ моделей и методов выбора оптимальных совокупностей решений для задач планирования в условиях ресурсных ограничений и рисков / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Тарков, И. А. Дюдиков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3. – С. 169–180.
2. Брумштейн Ю. М. Модели оптимизации подбора ресурсов при управлении совокупностью проектов с учетом зависимости качества результатов, рисков, затрат / Ю. М. Брумштейн, И. А. Дюдиков // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2015. – № 1. – С. 78–88.
3. Долгосрочный прогноз важнейших направлений научно-технического развития на период до 2030 года. URL: <http://www.innovation.gov.ru/taxonomy/term/1352.pdf> (дата обращения: 10.11.2014), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
4. Коргин Н. А. Неманипулируемые механизмы принятия решений в управлении организационными системами : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Н. А. Коргин. – Москва : Институт проблем управления Российской академии наук имени В. А. Трапезникова, 2013. – 289 с.
5. Коргин Н. А. Представление механизма последовательного распределения ресурсов как неманипулируемого механизма многокритериальной активной экспертизы / Н. А. Коргин // Управление большими системами. – 2012. – № 36. – С. 186–208.
6. Лавриченко О. В. Интеграл Шоке в теории экономики активного коннекта / О. В. Лавриченко // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 4 (28). – С. 87–100.
7. Лавриченко О. В. Системный анализ и управление инновационной системой промышленного предприятия / О. В. Лавриченко. – Москва : Московский гуманитарный университет, 2015. – 234 с.
8. Программа автоматизации дистанционного управления разноуровневыми инновационными системами (АСУ ИС) : свидетельство Федеральной службы по интеллектуальной собственности о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2015613440 / О. В. Лавриченко // Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топология интегральных систем». – Дата гос. регистрации в реестре программ для ЭВМ 16.03.2015 г., дата публикации 20.04.2015 г. – 2015. – № 4.
9. Щербаков М. В. Интеллектуальная поддержка при принятии управленческих решений в цикле постоянного улучшения : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / М. В. Щербаков. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2014. – 333 с.
10. Cui T. Information technology and open innovation: a strategic alignment perspective / T. Cui, H. Ye, H. Teo, J. Li // Information and Management. – 2015. – Vol. 52. – P. 348–358.
11. Hung W. H. Measuring the alignment of websites and organizational critical activities / W. H. Hung, R. Y. McQueen, D. C. Yen, P. Y. K. Chau // Technology Analysis and Strategic Management. – 2015. – Vol. 27. – P. 550–568.
12. Mu E. The Assimilation of enterprise information system: an interpretation systems perspective / E. Mu, L. J. Kirsch, B. S. Brian // Information and Management. – 2015. – Vol. 52. – P. 359–370.
13. Nazareth D. L. A system dynamics model for information security management / D. L. Nazareth, J. Choi // Information and Management. – 2015. – Vol. 52. – P. 123–134.
14. Nelyubin A. Algorithmic decision rule using ordinal criteria importance coefficients with a first ordinal metric scale / A. Nelyubin, V. Podinovskiy // Computational Mathematics and Mathematical Physics. – 2012. – Vol. 1. – P. 43–59.

References

1. Brumshteyn Yu. M., Tarkov D. A., Dyudikov I. A. Analiz modeley i metodov vybora optimalnykh sovokupnostey resheniy dlya zadach planirovaniya v usloviyakh resursnykh ogranicheniy i riskov [Analysis of the models and methods of selection of optimum set of solutions for the problems of planning in terms of resource constraints and risks]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 3, pp. 169–180.

2. Brumshteyn Yu. M., Dyudikov I. A. Modeli optimizatsii podbora resursov pri upravlenii so- vokupnostyu proektov s uchetom zavisimosti kachestva rezultatov, riskov, zatrat [Optimization models matching resources to manage a set of projects taking into account depending on the quality of results, risks, costs]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics], 2015, no. 1, pp. 78–88.
3. *Dolgosrochnyy prognoz vazhneyshikh napravleniy nauchno-tekhnicheskogo razvitiya na period do 2030 goda* [Long-term forecasts of the major areas of scientific and technological development for the period up to 2030]. Available at: <http://www.innovation.gov.ru/taxonomy/term/1352.pdf> (accessed 10.11.2014). (In Rus.)
4. Korgin N. A. *Nemanipuliruemye mekhanizmy prinyatiya resheniy v upravlenii organizatsionnymi sistemami* [Non-manipulable mechanisms of decision-making in the management of organizational systems]. Moscow, V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences Publ. House, 2013. 289 p.
5. Korgin N. A. Predstavlenie mekhanizma posledovatel'nogo raspredeleniya resursov kak nemanipuliruemogo mekhanizma mnogokriterialnoy aktivnoy ekspertizy [Submission mechanism consistent allocation of resources as a non-manipulable mechanism multicriterion active expertise]. *Upravlenie bolshimi sistemami* [Managing of Large Systems], 2012, no. 36, pp. 186–208.
6. Lavrichenko O. V. Integral Shoke v teorii ekonomiki aktivnogo konnেকta [Choquet integral to the economic theory of a connection active]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 4 (28), pp. 87–100.
7. Lavrichenko O. V. *Sistemnyy analiz i upravlenie innovatsionnoy sistemoy promyshlennogo predpriyatiya* [System analysis and management of innovative systems of industrial enterprises], Moscow, Moscow University for the Humanities Publ. House, 2015. 234 p.
8. Lavrichenko O. V. Programma avtomatizatsii distantsionnogo upravleniya raznourovnevymi innovatsionnymi sistemami (ASU IS) [Program remote control different levels of automation innovation systems (ASM IS)]. *Ofitsialnyy byulleten «Programmy dlya EVM. Bazy dannykh. Topologii integralnykh sistem»* [Official Bulletin "Computer Programs. Database. Topographies of Integrated Systems"], AS RU 2015613440. appl. 16.03.2015. publ. 20.04.2015. 2015, no. 4. (In Rus.)
9. Shcherbakov M. V. *Intellektualnaya podderzhka pri prinyatii upravlencheskikh resheniy v tsikle postoyannogo uluchsheniya* [Intellectual support management decisions in a cycle of continuous improvement], Moscow, Volgograd State Technical University Publ. House, 2014. 333 p.
10. Cui T., Ye H., Teo H., Li J. Information technology and open innovation: a strategic alignment perspective. *Information & Management*, 2015, vol. 52, pp. 348–358.
11. Hung W. H., McQueen R. Y., Yen D. C., Chau P. Y. K. Measuring the alignment of websites and organizational critical activities. *Technology Analysis & Strategic Management*, 2015, vol. 27, pp. 550–568.
12. Mu E., Kirsch L. J., Brian B. S. The Assimilation of enterprise information system: an interpretation systems perspective. *Information & Management*, 2015, vol. 52, pp. 359–370.
13. Nazareth D. L., Choi J. A system dynamics model for information security management. *Information & Management*, 2015, vol. 52, pp. 123–134.
14. Nelyubin A., Podinovskiy V. Algorithmic decision rule using ordinal criteria importance coefficients with a first ordinal metric scale. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 2012, vol. 1, pp. 43–59.

УДК 004.056

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ДАННЫХ ОРГАНИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Статья поступила в редакцию 02.07.2015, в окончательном варианте 16.09.2015.

Ажмухамедов Искандар Маратович, доктор технических наук, доцент, Астраханский государственный технический университет, 414025, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, e-mail: aim_agtu@mail.ru

Князева Оксана Михайловна, аспирант Астраханского государственного технического университета, специалист по сопровождению 1С, ООО «АпГрейд», 414004, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Красная Набережная, 171, e-mail: chobitoksana@mail.ru

Для большинства организаций весьма актуальна задача оценки уровня информационной безопасности (ИБ) в случае реализации угроз их информационным ресурсам. Существующие методы оценки ИБ организаций во многих случаях не позволяют выработать обоснованного суждения о состоянии конфиденциальности, целостности и доступности имеющихся информационных ресурсов. Это затрудняет управление уровнем ИБ, в т.ч. принятие мер превентивного характера – особенно при наличии ресурсных и иных ограничений в отношении выполнения решений. Задача комплексной оценки уровня ИБ в силу ее особенностей является слабоформализуемой. В результате проведенных исследований авторами предложена методика оценки уровня ИБ организации на основе нечеткого когнитивного моделирования. Модель состоит из шести иерархических уровней. На самом нижнем (пятом) уровне когнитивного графа располагаются механизмы и средства защиты информации. На четвертом – угрозы и уязвимости ИБ. На третьем – атаки на информационные ресурсы. На втором – повреждения информационных ресурсов и средств защиты информации. На первом – свойства информации, характеризующие ее защищенность (конфиденциальность, целостность, доступность). На нулевом (высшем по иерархии) – интегральный показатель уровня ИБ организации. Входными данными модели являются лингвистические оценки текущего (либо планируемого в случае принятия решений по управлению уровнем ИБ) состояния средств защиты информации (множество значений: низкий; ниже среднего; средний; выше среднего; высокий). На основе этих оценок рассчитываются значения концептов на вышестоящих уровнях. Нечеткая когнитивная модель позволяет не только адекватно оценить уровень ИБ организации, но и выработать практические рекомендации по его повышению (с учетом взаимного влияния факторов). Предложенная методика реализована в виде программного комплекса «Нечеткое когнитивное моделирование системы комплексного обеспечения информационной безопасности». Методика и программное средство были апробированы в ООО «Центр обучения Пилот-информ». Полученная оценка ИБ организации послужила основанием для разработки практических рекомендаций по усилению мер, направленных на повышение уровня конфиденциальности информации в организации.

Ключевые слова: информационная безопасность, уязвимости, угрозы, повреждения информационных ресурсов, повреждения средств защиты информации, нечеткое когнитивное моделирование, лингвистическая переменная, нечеткие числа, нечеткий классификатор, поддержка принятия решений

ASSESSMENT OF STATUS FOR DATA SECURITY OF ORGANIZATION IN CONDITIONS OF REALIZATION POSSIBILITY FOR INFORMATION SECURITY THREATS

Azhmukhamedov Iskandar M., D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414025, Russian Federation, e-mail: aim_agtu@mail.ru

Knyazeva Oksana M., post-graduate student, Astrakhan State Technical University, specialist of supporting 1C, Ltd. «UpGrade», 171 Krasnaya Naberezhnaya St., Astrakhan, 414004, Russian Federation, e-mail: chobitoksana@mail.ru

For most organizations now exist urgent task of assessing the level of information security (IS) in case of IS threats implementations. Existing methods of assessing IS, in many cases do not allow generating enough informed judgments about the condition of information confidentiality, integrity and availability. Accordingly, it is difficult to take action to manage their levels, apply preventive measures – especially in the presence of resource and other limitations for decisions performing. The task of IS level assessing because of its features is weakly formalized. As a result of research made by authors, have been proposed a method of IS level assessing for organization, based on fuzzy cognitive modeling. The model has six hierarchical levels. The fifth level is the bottom of the hierarchy. At that level are located mechanisms and means of information protection. The fourth are the vulnerability and threats to IS. On the third are the attacks to the information resources of organization. On the second are the damage information assets and information protection means. At the first are the properties of information, describing its security (confidentiality, integrity, availability). On the zero level (the highest in the hierarchy) are an integral indicator of the organization IS. The inputs data to the model are the linguistic evaluations of current (or planned in case of decision-making, concerned with IS level management) status of information protection tools (a set of values: low, below average, average, above average, high). Based on these estimates are calculated value concepts at higher levels. Fuzzy cognitive model allows not only adequately assess the level of IS, but also develop recommendations for improving it (taking into account the mutual influence of factors). The proposed method has been implemented in software complex «Fuzzy cognitive modeling of integrated information security». Methods and software have been tested in the «Center of Training Pilot-Inform» by assessing the IS level of organization. This estimate served as the basis of developing recommendations for strengthening measures, aimed at confidentiality improving of information.

Keywords: security services, vulnerability, threat, damage of information resources, damage of information security tools, fuzzy cognitive modeling, linguistic variable, fuzzy numbers, fuzzy classifier

Введение. В современных условиях деятельность большинства организаций в значительной степени автоматизирована. Электронный документооборот часто преобладает над бумажным; электронная почта, программы видеоконференцсвязи на сегодняшний день стали неотъемлемой частью делового общения; проведение платежей через банки в дистанционном режиме, начисление зарплаты сотрудникам на банковские карты, автоматизация учета материальных ценностей значительно снизили трудоемкость бухгалтерской деятельности, повысили ее качество. Компьютеризованные системы кадрового учета позволили улучшить эффективность работы кадровых служб организаций; участие в электронных торгах дает возможность юридическим лицам производить операции в режиме реального времени; архивы многих организаций все в большей степени переводятся из бумажной формы в электронную [6].

Однако с ростом уровня автоматизации деятельности организаций возрастает вероятность реализации угроз информационной безопасности (ИБ): кражи носителей информации; DDOS атак на сервера; несанкционированного изменения записей в базах данных и т.д. При реализации этих угроз организации обычно несут материальные, финансовые и репутационные потери. Следовательно, необходимо принятие соответствующих мер защиты, в т.ч. и превентивного характера. В связи с этим актуальной является задача оценки уровня ИБ в случае реализаций потенциальных угроз. Однако эти вопросы в существующей литературе отражены недостаточно полно – в том числе в отношении учета нечеткости условий оценки различных факторов; наличия их взаимосвязей, влияющих на уровни ИБ. Поэтому цель данной работы – разработка методики оценки уровня ИБ на основе нечеткого когнитивного моделирования (НКМ). Это позволяет преодолеть указанные трудности и эффективно управлять уровнем ИБ (свойствами конфиденциальности, целостности и доступности информации).

Постановка задачи. Существует несколько подходов к оценке уровня ИБ в условиях реализации потенциальных угроз: оценка рисков (например, методики CRAMM [14, 15, 19], FRAP [16], OCTAVE [17] и т.д.); определение актуальных угроз (например, «Методика определения актуальных угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» ФСТЭК [13]). Эти направления обладают об-

щим недостатком – не позволяют выработать обоснованного суждения о состоянии конфиденциальности, целостности и доступности информации. Как следствие, это не дает возможности синтезировать управляющие решения по выводу данных показателей ИБ на требуемый (целевой) уровень.

В связи с этим возникает необходимость в разработке методики, которая позволила бы адекватно оценивать и управлять уровнем ИБ организации в нечетких условиях. Анализ предметной области позволил построить онтологическую модель процесса оценки уровня ИБ организации при таких условиях (рис. 1).

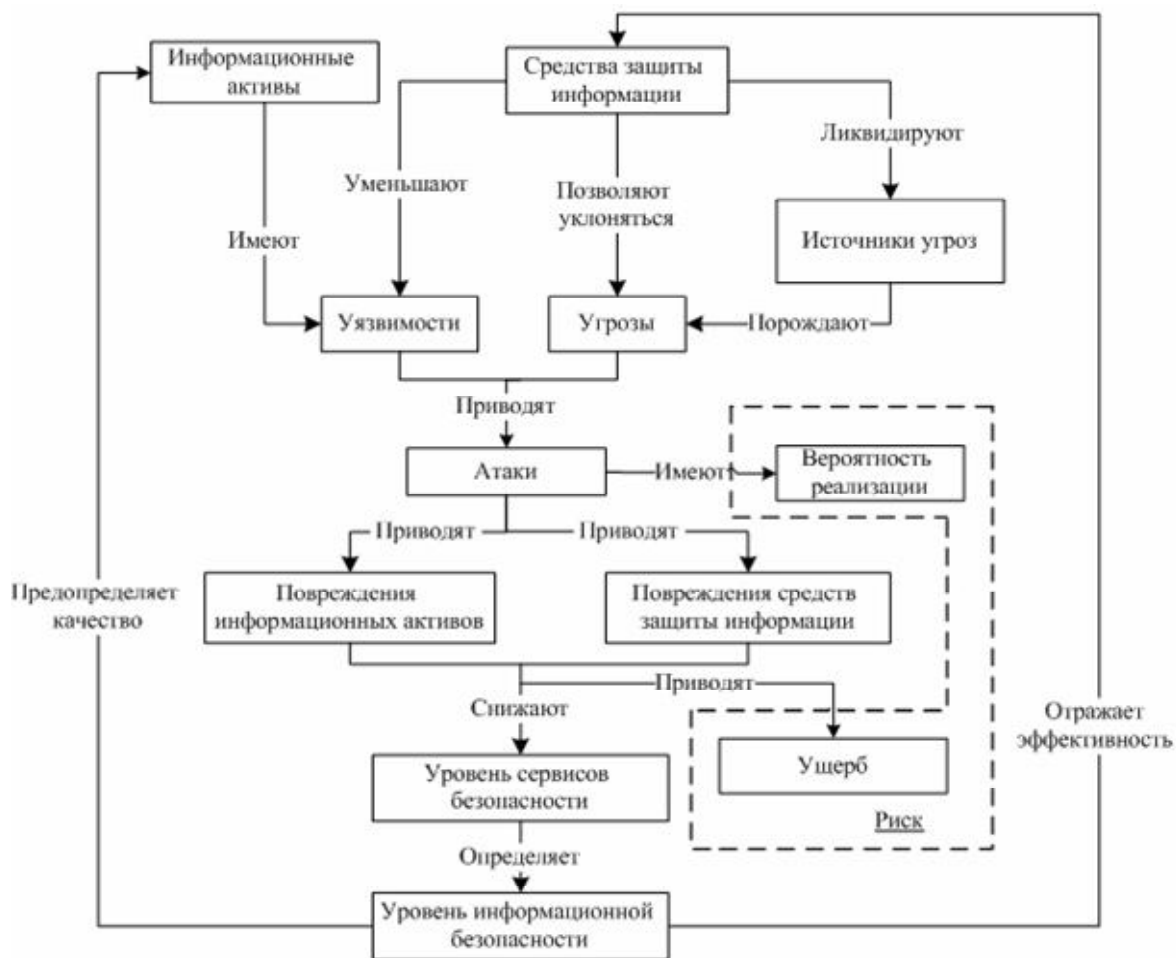


Рис. 1. Онтологическая модель процесса оценки уровня ИБ

Состояние ИБ зависит от прогнозного уровня повреждений информационных ресурсов (ИР) и средств защиты информации (СЗИ) при реализации угроз (атак). Под угрозой в соответствии с [7, 9] понимают совокупность условий и факторов, создающих потенциальную или реально существующую опасность нарушения безопасности информации. При этом согласно [8] угрозы, влияющие на ИБ, подразделяются по признаку отношения к природе их возникновения на объективные и субъективные; по отношению к объектам информационной системы – на внутренние и внешние. Внешние и внутренние угрозы ИБ могут носить как преднамеренный, так и непреднамеренный характер. Причиной их возникновения могут быть как сбои в техническом и программном обеспечении вследствие ошибок персонала, так и случайные нарушения в работе элементов информационной системы (например, из-за по-

ломки оборудования, сбой в работе программного обеспечения, имеющего недостаточно высокую эксплуатационную надежность и т.д.). Для предотвращения возможности реализации угроз ИБ применяют средства и методы защиты информации, которые ликвидируют угрозы (предотвращают их реализацию); позволяют уклоняться от угроз; уменьшают уязвимости. В качестве специфического способа «защиты» от неблагоприятных последствий реализации угроз ИБ можно назвать также страхование рисков для ИР организации.

Процесс оценки уровня ИБ обладает рядом особенностей: неполнота и неопределенность исходной информации о составе и характере угроз; невозможность количественного измерения или статистической оценки большинства параметров процесса; необходимость учета большого числа частных показателей, а в ряде случаев и их взаимосвязей; необходимость учета особенностей поведения людей, которые не только принимают важные решения при управлении процессом обеспечения ИБ, но и сами являются объектом управления; затрудненность применения классических методов оптимизации [3, 10].

Наиболее полно учесть перечисленные особенности позволяет НКМ, неоспоримыми достоинствами которого являются возможность формализации численно неизмеримых факторов; возможности использования неполной, нечеткой и даже противоречивой информации [5, 12].

В качестве НКМ процесса оценки уровня ИБ (*PISL* – predicting of information security level) предлагается принять кортеж:

$$PISL = \langle G, QL, S, R, \Omega \rangle, \quad (1)$$

где G – ориентированный граф, не содержащий горизонтальных ребер в пределах одного уровня иерархии (рис. 2); QL – набор качественных оценок уровней каждого фактора в графе; S – множество весов ребер графа G , отражающих степени влияния концептов на заданный элемент следующего (более высокого) уровня иерархии; R – набор правил для вычисления значений концептов на каждом из иерархических уровней G ; Ω – индекс схожести, характеризующий степень соответствия значения фактора той или иной качественной оценке из терм-множества лингвистической переменной QL .

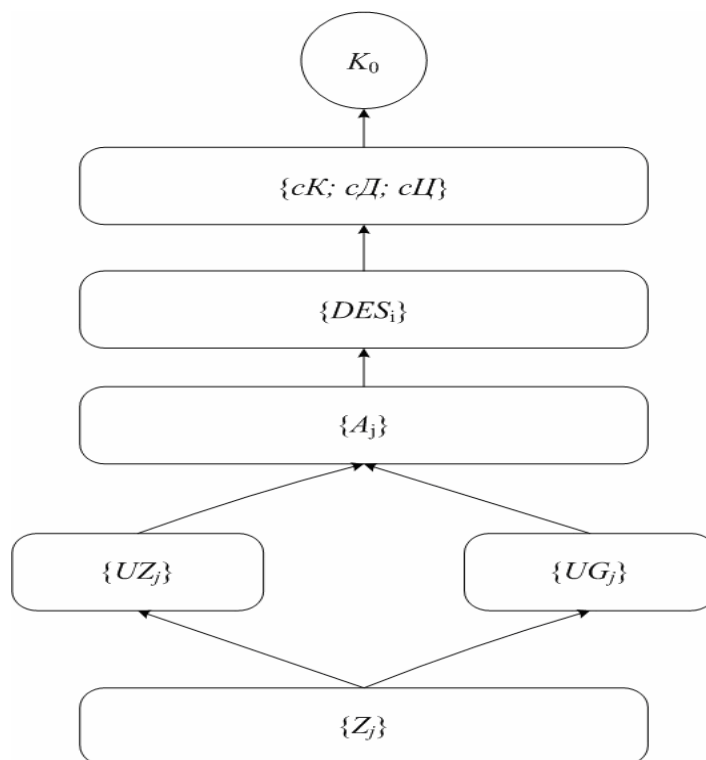


Рис. 2. Граф G , отражающий процесс оценки уровня ИБ

Индекс схожести Ω двух нечетких чисел $A(a_1, a_2, a_3, a_4)$ и $B(b_1, b_2, b_3, b_4)$ с соответствующими функциями принадлежности $\mu_A(x)$ и $\mu_B(x)$ находится по формулам (2) и (3) [3]:

$$\Omega = (1 + \tilde{\rho})/2, \quad (2)$$

$$\tilde{\rho} = (\rho_{in} - \rho_{out})/(\rho_{in} + \rho_{out}), \quad (3)$$

$$\text{где } \rho_{in} = \int_{a_1}^{a_4} \min[\mu_A(x); \mu_B(x)] dx; \quad \rho_{out} = \left| \int_{b_1}^{b_4} [\mu_B(x)] dx - \rho_{in} \right|$$

В последней формуле ρ_{out} представляет собой площадь нечеткого числа $B(b_1, b_2, b_3, b_4)$, лежащую вне эталонного нечеткого числа $A(a_1, a_2, a_3, a_4)$; ρ_{in} – площадь, лежащая внутри этого же нечеткого числа.

Вершины графа G на нижнем (пятом) уровне отражают механизмы и средства защиты информации $Z_{\{1,2,3,\dots\}}$, обеспечивающие реализацию 3-х стратегий: ликвидация источников угроз; уклонение от угроз $UG_{\{1,2,3,\dots\}}$ (4-ый уровень); уменьшение уязвимостей $UZ_{\{1,2,3,\dots\}}$ (4-ый уровень).

С целью унификации подходов к рассмотрению процесса обеспечения ИБ будем считать, что уровень уязвимостей на объекте информатизации (ОИ) всегда наивысший, и он может быть снижен только с помощью применения СЗИ.

Большинство угроз являются внешними по отношению к ОИ. В связи с этим обычно невозможно вынести обоснованного суждения об уровне их опасности (под этим уровнем будем понимать степень разрушительности угроз в отношении ИР).

Поэтому при нахождении нижней границы оценки состояния ИБ на ОИ целесообразно считать начальный уровень опасности угроз (до применения СЗИ) наивысшим.

На третьем иерархическом уровне расположены концепты, соответствующие атакам на информационные системы (ИС) – $A_{\{1,2,3,\dots\}}$ организации. Под ИС авторы понимают совокупность содержащейся в базах данных информации и информационных технологий, а также технических средств, обеспечивающих их обработку. Таким образом, ИС может быть как автоматизированной, так и неавтоматизированной.

Второй иерархический уровень представлен повреждениями элементов ИС и СЗИ $Des_{\{1,2,3,\dots\}}$, которые образуются (возникают) в результате атак на ИР.

Первый иерархический уровень образуют частные показатели ИБ (свойства информации): $сК$ – конфиденциальность; $сЦ$ – целостность; $сД$ – доступность.

Доступность, целостность и конфиденциальность как свойства информации возникают (существуют) при ее представлении, обработке, хранении, передаче и т.д. При этом целостность и доступность – свойства, порождаемые технологиями обработки информации. Они обеспечиваются соответствующими элементами ИС. Конфиденциальность же, в отличие от целостности и доступности, не является имманентным свойством технологии обработки данных. Она возникает в результате применения правил, методов, средств ограничения доступа к информации. Иными словами конфиденциальность порождается использованием элементов СЗИ.

Вершина нулевого уровня K_0 графа G соответствует интегральному критерию ИБ ОИ в целом.

Множество концептов НКМ. Комплексный подход к защите информации предусматривает согласованное применение правовых, организационных и программно-технических мер, представленных в виде следующего списка.

Z_1 – процедура защиты документов при их хранении, включающая в себя следующее: регламент защиты документов при их хранении; контроль защиты документов при их хранении; Z_2 – процедура контроля за работой пользователей ИС и обслуживающего персонала, содержащая организационные и технические средства контроля; Z_3 – использование сертифицированного в отношении ИБ лицензионного программного обеспечения (ПО); Z_4 – процедура разграничения доступа к ИР, состоящая из организационных, технических и программно-аппаратных мер, обеспечивающих разграничение возможностей доступа для различных пользователей; Z_5 – тех-

ническая поддержка аппаратных средств; Z_6 – поддержка программных средств; Z_7 – техническая поддержка средств жизнеобеспечения ОИ (электропитание, водоснабжение, канализация); Z_8 – обучение сотрудников основам ИБ; Z_9 – работа с персоналом, включающая в себя институциональное, мотивационное и информационное управление; Z_{10} – использование физических барьеров (оградительных конструкций) для защиты ОИ и его периметра; Z_{11} – организация пропускного режима и охраны; Z_{12} – организация противопожарной защиты, включающая в себя следующее: систему обнаружения очагов возгорания; средства автоматического и / или ручного пожаротушения; Z_{13} – контроль выполнения мер по защите информации (ЗИ); Z_{14} – процедура аудита, анализа и управления инцидентами ИБ, содержащая следующее: средства проведения аудита инцидентов ИБ; регламент аудита; Z_{15} – применение специальных технических средств защиты информации и контроля обстановки на ОИ; Z_{16} – применение алгоритмов криптографической ЗИ; Z_{17} – использование средств межсетевого экранирования; Z_{18} – применение средств антивирусной защиты (антивирусное ПО и регламент его использования); Z_{19} – использование средств контентного анализа сетевого трафика; Z_{20} – применение средств защиты от спама; Z_{21} – заземление основного и вспомогательного оборудования, используемого при обработке информации; Z_{22} – использование средств защиты от наводнений и ливневых осадков большой интенсивности, в том числе применение водостойких строительных материалов, водонепроницаемых барьеров, специальных водоотводящих каналов; Z_{23} – использование сейсмоустойчивых фундаментов; Z_{24} – применение громоотводов (молниетводов); Z_{25} – использование средств защиты помещений на ОИ от пыли; Z_{26} – применение средств климат-контроля в помещениях ОИ; Z_{27} – использование средств защиты локальной вычислительной сети организации от несанкционированного доступа (НСД) из общедоступных сетей: организация демилитаризованной зоны (DMZ); организация виртуальных частных сетей (VPN); Z_{28} – использование закрытого бумажного документооборота; Z_{29} – выявление и увольнение «рассеянных» сотрудников (лиц с недостаточной концентрацией внимания); Z_{30} – выявление и увольнение сотрудников, не выполняющих требования ИБ; Z_{31} – размещение ОИ на территории с низкой вероятностью возникновения пожаров на близлежащих объектах; Z_{32} – расположение ОИ на территории с низкой вероятностью наводнения или обильных ливневых осадков; Z_{33} – расположение ОИ на территории с низкой вероятностью землетрясения со значительной магнитудой; Z_{34} – расположение объекта на территории с низкой вероятностью возникновения урагана или смерча; Z_{35} – расположение объекта на территории с низкой грозовой активностью; Z_{36} – расположение объекта на труднодоступной для посторонних лиц территории; Z_{37} – расположение объекта на территории с низкой вероятностью возникновения пыльной бури; Z_{38} – расположение объекта на территории с умеренным климатом (отсутствием температурных аномалий). С точки зрения авторов статьи, приведенный перечень обладает свойствами «необходимости и достаточности». Приоритетность этих мер зависит от условий деятельности конкретной организации и может не соответствовать приведенному списку.

Угрозы ИБ различного типа на практике, как правило, тесно взаимосвязаны. Вследствие этого уязвимость элементов ИС или СЗИ по отношению к какому-либо одному типу (виду) угроз может приводить к возможности (или повышению вероятности) реализации угроз других типов – одной или их совокупности.

При этом деструктивное воздействие на ИР часто осуществляется через несанкционированный доступ, т. е. доступ к элементам ИС, выходящий за рамки полномочий, разрешённых для конкретных пользователей. Актуальными могут быть и угрозы, связанные с психологическим воздействием на персонал организации: шантаж, угрозы расправы, подкуп, моральное давление (в т.ч. и на родственников) и т.д. Эти угрозы достаточно часто реализуются на практике, поэтому необходимо уделять им серьёзное внимание как с теоретических, так и практических позиций [2].

Таким образом, множество угроз ИС может быть представлено в виде следующего перечня. UG_1 – неумышленные повреждения оборудования; UG_2 – неправомерные отключения оборудования; UG_3 – неумышленные удаления файлов с важной информацией; UG_4 – неумышленные искажения файлов с важной информацией; UG_5 – неумышленные удаления программ; UG_6 – неумышленные внесения изменений в программы; UG_7 – неправомерные изменения режимов работы устройств, связанных доступом к ИР, их обработкой и т.д; UG_8 – неправомерные изменения режимов работы программ; UG_9 – неумышленная порча носителей информации; UG_{10} – некомпетентный запуск (применение) технологических / сервисных программ; UG_{11} – заражения компьютера вирусами (вредоносными программами); UG_{12} – хищения носителей информации; UG_{13} – несанкционированное копирования информации; UG_{14} – хищения черновиков и временных копий документов; UG_{15} – чтение информации из оперативной памяти (ОП) компьютеров и микроконтроллеров; UG_{16} – чтение «остаточной» информации после выполнения стирания данных на снятых с эксплуатации жестких дисках, внешних запоминающих устройствах (ВЗУ); UG_{17} – вскрытие шифров криптозащиты информации; UG_{18} – навязывание ложных сообщений (фальсификация); UG_{19} – несанкционированные модификации потока данных; UG_{20} – отказ (сбой) технических средств обработки информации (ТСОИ); UG_{21} – поломки на ОИ бытовых электроприборов, используемых в рамках технологических процессов работы с ИР; UG_{22} – сбой системы электроснабжения на ОИ; UG_{23} – сбой системы климат-контроля на ОИ; UG_{24} – сбой внешних информационных каналов коммуникации; UG_{25} – отказ систем водоснабжения и канализации на ОИ; UG_{26} – пожары на ОИ или вблизи него; UG_{27} – наводнения; UG_{28} – землетрясения; UG_{29} – поражения молнией зданий с ОИ; UG_{30} – возникновение урагана; UG_{31} – пыльные бури; UG_{32} – воздействия экстремальных температур; UG_{33} – подкуп персонала; UG_{34} – шантаж персонала или иные средства оказания на него морального давления.

Угрозы как потенциальная возможность совершения какого-либо действия (или реализации какого-то события), в том числе специально направленного против объекта защиты, реализуются через уязвимости и могут приводить к повреждениям элементов ИС и СЗИ на ОИ. Уязвимости присущи ОИ, неотделимы от них и обуславливаются недостатками процесса обеспечения функционирования ИС, свойствами ее архитектуры, протоколами обмена и интерфейсами, применяемыми программным обеспечением и аппаратной платформой ИС, условиями ее эксплуатации (включая места размещения оборудования) и др. Типовые уязвимости ИС могут быть представлены элементами следующего списка: UZ_1 – ненадежность оборудования; UZ_2 – некомпетентность (или недостаточная компетентность) персонала в вопросах эксплуатации элементов ИС; UZ_3 – некомпетентность персонала и пользователей в вопросах защиты информации (ЗИ); UZ_4 – ненадежность носителей информации; UZ_5 – эксплуатация технических средств (ТС) в нештатных режимах; UZ_6 – возможность использования ПО в нештатных режимах; UZ_7 – наличие неиспользуемых потенциально опасных служб операционной системы, недокументированных возможностей программных средств; UZ_8 – мотивированность отдельных лиц из состава персонала на совершение деструктивных действий; UZ_9 – возможности хищения носителей информации; UZ_{10} – возможность несанкционированного копирования информации; UZ_{11} – наличие неучтенных копий и черновиков документов; UZ_{12} – возможность несанкционированного доступа к ОП ЭВМ во время обработки информации; UZ_{13} – некомпетентность вспомогательного обслуживающего персонала; UZ_{14} – недостаточная стойкость систем криптозащиты; UZ_{15} – ненадежность протоколов взаимной аутентификации компьютеров в локальной сети; UZ_{16} – ненадежность технических средств обработки информации (ТСОИ); UZ_{17} – ненадежность бытовых электроприборов, используемых на ОИ; UZ_{18} – ненадежность внутренней системы электроснабжения на ОИ; UZ_{19} – ненадежность внешних сетей электроснабжения; UZ_{20} – ненадежность внешних коммуникационных каналов; UZ_{21} – ненадежность внутренних коммуникационных каналов;

UZ_{22} – ненадежность систем водоснабжения и канализации на ОИ; UZ_{23} – несоблюдение мер пожарной безопасности; UZ_{24} – возможность сбоя (или выхода из строя) элементов ИС при превышении допустимого уровня влажности; UZ_{25} – возможность повреждения (уничтожения) ОИ в случае землетрясения; UZ_{26} – возможность сбоя элементов ИС при выходе значений силы тока и напряжения за рамки допустимого диапазона; UZ_{27} – возможность повреждения элементов ИС в случае механического удара; UZ_{28} – возможность сбоя элементов ИС при превышении предельной допустимой концентрации (ПДК) частиц пыли в воздухе помещений ОИ; UZ_{29} – возможность сбоя элементов ИС при нарушениях температурного режима эксплуатации; UZ_{30} – возможность несанкционированного физического доступа на ОИ; UZ_{31} – наличие побочных электромагнитных наводок и излучений; UZ_{32} – ошибки в программном обеспечении.

Поскольку атака – это попытка реализации угрозы через какую-либо уязвимость, то названия атак целесообразно определить исходя из наименований угроз: A_1 – неумышленное повреждение оборудования; A_2 – неправомерное отключение оборудования; A_3 – неумышленное удаление файлов с важной информацией; A_4 – неумышленное искажение файлов с важной информацией; A_5 – неумышленное удаление программ; A_6 – неумышленное внесение изменений в программы; A_7 – неправомерное изменение режимов работы устройств; A_8 – неправомерное изменение режимов работы программ; A_9 – неумышленная порча носителей информации; A_{10} – некомпетентный запуск технологических (сервисных) программ; A_{11} – заражение компьютера вирусами или иными вредоносными программами; A_{12} – хищение носителей информации; A_{13} – несанкционированное копирование информации; A_{14} – хищение черновиков, временных и промежуточных документов; A_{15} – несанкционированное чтение информации из ОП; A_{16} – чтение остаточной информации с внешних ЗУ, выведенных из эксплуатации жестких дисков; A_{17} – вскрытие шифров криптозащиты информации; A_{18} – навязывание ложных сообщений (фальсификация) в каналах связи компьютерной сети; A_{19} – несанкционированная модификация потока данных; A_{20} – отказ (сбой) ТСОИ; A_{21} – поломка (выход из строя) бытовых электроприборов на ОИ; A_{22} – сбой системы электроснабжения; A_{23} – сбой системы климат-контроля; A_{24} – сбой внешних информационных каналов коммуникаций; A_{25} – отказ систем водоснабжения и/или канализации на ОИ; A_{26} – пожар; A_{27} – наводнение; A_{28} – землетрясение; A_{29} – поражение здания с ОИ молнией; A_{30} – ураган; A_{31} – пыльная буря; A_{32} – экстремальные температуры; A_{33} – подкуп персонала; A_{34} – шантаж персонала.

При рассмотрении процесса обеспечения ИБ необходимо оценить уровень (степень) повреждений, возникающих в результате реализации атак. Совокупность типичных повреждений может относиться к следующим объектам: DES_1 – коммуникационное оборудование и кабели передачи данных; DES_2 – бумажные носители данных; DES_3 – аппаратные средства серверов; DES_4 – аппаратные средства рабочих станций; DES_5 – аппаратные части накопителей данных (запоминающих устройств); DES_6 – инженерно-технические средства (меры) защиты информации; DES_7 – операционные системы (ОС) серверов; DES_8 – ОС рабочих станций; DES_9 – серверные части пользовательского ПО; DES_{10} – клиентские части пользовательского ПО; DES_{11} – локальное ПО рабочих станций; DES_{12} – программы криптографической защиты; DES_{13} – программы резервного копирования данных; DES_{14} – программы мониторинга и аудита ИБ; DES_{15} – программы защиты от НСД; DES_{16} – файлы на серверах; DES_{17} – файлы на рабочих станциях; DES_{18} – системы защиты документов при их хранении; DES_{19} – (нарушения) систем организации пропускного режима и охраны; DES_{20} – системы противопожарной защиты; DES_{21} – системы аудита, анализа и управления инцидентами ИБ; DES_{22} – специальные технические средства ЗИ; DES_{23} – средства межсетевого экранирования; DES_{24} – средства антивирусной защиты; DES_{25} – средств контентного анализа сетевого трафика; DES_{26} – средства защиты от спама; DES_{27} – заземления основных технических средств и систем (ОТСС) и вспомогательных технических средств и систем (ВТСС); DES_{28} – средства за-

щиты от наводнения; DES_{29} – сейсмостойкие фундаменты; DES_{30} – громоотводы; DES_{31} – средства защиты от пыли (в первую очередь – помещений, где расположены сервера); DES_{32} – средства климат-контроля помещений ОИ.

Приведенный перечень важен с позиций обеспечения полноты учета факторов (и их совокупностей) при принятии решений, связанных с обеспечением ИБ.

Вычисление значений концептов на каждом уровне НКМ. Для описания состояния концептов графа G определим лингвистическую переменную «Уровень фактора» и терм-множество ее значений QL , состоящее из пяти элементов:

$$QL = \{\text{Низкий (Н), Ниже среднего (НС), Средний (С), Выше среднего (ВС), Высокий (В)}\}. \quad (4)$$

В качестве семейства функций принадлежности для QL используем пятиуровневый классификатор, в котором функциями принадлежности нечетких чисел (НЧ), заданных на отрезке $[0,1] \in \mathbb{R}$, являются трапеции:

$$\{XX(a_1, a_2, a_3, a_4)\}, \quad (5)$$

где a_1 и a_4 – абсциссы нижнего, a_2 и a_3 – абсциссы верхнего основания трапеции [11, 18].

Применение классификатора позволяет перейти от качественного описания уровня параметра к стандартному количественному виду соответствующей функции принадлежности из множества нечетких трапециевидных чисел. Вычисление текущих значений факторов графа G предлагается производить по приведенным ниже формулам (6) ... (12):

$$\overline{UZ}_j = UZ_j \cdot \prod_{i=1}^N (Inv(Z_i))^{\alpha_i}, \quad (6)$$

где $\overline{UZ}_j$ – остаточный (после применения мер защиты Z_i) уровень j -ой уязвимости; UZ_j – исходный (до применения средств защиты) уровень j -ой уязвимости; $UZ_j = 1$, в случае наличия уязвимости, $UZ_j = 0$, в случае отсутствия уязвимости; N – количество мер защиты Z_i , влияющих на j -ую уязвимость; Z_i – уровень i -ой защитной меры, влияющей на j -ую уязвимость; $\alpha_i \in [0;1]$ – коэффициент снижения уровня j -ой угрозы в результате применения i -ой защитной меры Z_i .

Для нахождения инверсии (противоположного значения) приращения фактора F в приводимых ниже формулах предлагается использовать выражение [3]:

$$Inv(F) = (1 - \mu(F)), \quad (7)$$

где $\mu(F)$ – функция принадлежности нечеткого числа, соответствующего лингвистическому значению QL_F приращения фактора F .

$$\overline{UG}_j = UG_j \cdot \prod_{i=1}^L (Inv(Z_i))^{\beta_i}, \quad (8)$$

где $\overline{UG}_j$ – остаточный (после применения мер защиты Z_i) уровень j -ой угрозы; UG_j – исходный (до применения средств защиты) уровень j -ой угрозы; $UG_j = 1$ в случае наличия угрозы, $UG_j = 0$ в случае отсутствия угрозы; L – количество применяемых (или планируемых) мер защиты Z_i , влияющих на уровень j -ой угрозы; Z_i – уровень i -ой защитной меры, влияющей на j -ую угрозу; $\beta_i \in [0;1]$ – коэффициент снижения уровня опасности j -ой угрозы в результате применения i -ой защитной меры Z_i .

$$A_j = \max_{\{\delta_j \neq 0\}} \{UG_j \cdot UZ_i\}, \quad (9)$$

где A_j – уровень опасности j -ой атаки; UZ_i – уровень i -ой уязвимости,

$$\delta_j^i = \begin{cases} 0 - \text{если для реализации угроз } UG_j \text{ не требуется наличие уязвимости } UZ_i \\ 1 - \text{если для реализации угроз } UG_j \text{ требуется наличие уязвимости } UZ_i \end{cases}.$$

$$Des_j = \max_i \{A_i \cdot pwr_i\}, \quad (10)$$

где Des_j – уровень j -го повреждения; $pwr_i \in QL$ – интенсивность (сила) влияния i -ой атаки на j -ое повреждение.

$$K_j = Inv(\max_i \{Des_i \cdot int_i\}), \quad (11)$$

где K_j – уровень j -го частного показателя безопасности; Des_j – уровень i -го повреждения, влияющего на j -ый показатель безопасности; $int_i \in QL$ интенсивность (сила) влияния i -го повреждения на j -ый показатель безопасности.

$$K_0 = \prod_{j=1}^3 (K_j)^{\alpha_j}, \quad (12)$$

где K_0 – уровень комплексной ИБ ИС; K_j – уровень j -го частного показателя безопасности;

$\alpha_j \in [0;1]$ – коэффициент влияния K_j на обобщенный показатель ИБ ОИ; $\sum_{j=1}^3 \alpha_j = 1$. Коэффициент α_j отражает приоритетность соответствующих свойств ИБ для конкретной организации.

Состояния (эффективности) мер защиты Z_i , входящих в систему комплексного обеспечения ИБ, определяет лицо, принимающее решение (ЛПР). В случае если Z_i не представляется возможным рассматривать как совокупность отдельных мер защиты информации (такие Z_i назовем «атомарными»), то ЛПР задает лингвистическую оценку непосредственно Z_i . «Атомарными» мерами защиты являются, например, Z_3 , Z_5 , Z_6 и т.д.

В случае если Z_i представляет собой комплекс отдельных мер защиты информации Z_j^i (такие меры защиты назовем «молекулярными»), то ЛПР задает лингвистическую оценку Z_j^i , входящих в Z_i . Состояние Z_i в этом случае определяется на основе правил:

$$\begin{cases} Z_i = \min_j \{Z_j^i\} \text{ если } \{Z_j^i\} \text{ действуют одновременно (параллельно)} \\ Z_i = \prod_{j=1}^M (Z_j^i)^{\alpha_j}, \text{ если } \{Z_j^i\} \text{ действуют последовательно, образуя ребежи защиты} \end{cases}$$

где Z_i – текущее значение, отражающее состояние i -ой «молекулярной» меры защиты; Z_j^i – j -ая мера защиты, входящая в i -ую «молекулярную» меру защиты; M – количество Z_j^i образующих Z_i ; $\alpha_j \in [0;1]$ – коэффициент влияния Z_j^i на Z_i .

Так, например, организационные средства контроля за работой пользователей ИС и обслуживающего персонала (Z_1^2), технические средства контроля за работой пользователей ИС и обслуживающего персонала (Z_2^2), входящие в процедуру контроля за работой пользователей ИС и обслуживающего персонала (Z_2), действуют параллельно. Таким образом, значение Z_2 будет вычисляться как $\min(Z_1^2; Z_2^2)$.

Напротив, система обнаружения очагов возгорания (Z_1^{12}), средства автоматического пожаротушения (Z_2^{12}), средства ручного пожаротушения (Z_3^{12}), входящие в средство защиты «Организация противопожарной защиты» (Z_{12}), действуют последовательно, образуя рубежи защиты. Таким образом, значение Z_{12} будет вычисляться как мультипликативная свертка ($Z_1^{12}; Z_2^{12}; Z_3^{12}$).

Определение весов влияния концептов в иерархии. Для применения НКМ оценки уровня ИБ на практике необходимо определить множество весов ребер S графа G , отражающих степень влияния концептов друг на друга.

Для апробации подхода, предназначенного для решения этой задачи, было проведено исследование, основанное на методе экспертных оценок (методе «Дельфи»). В качестве экспертов были привлечены сотрудники сервисной службы ООО «Центр обучения Пилотинформ», специалисты по защите информации ООО «АпГрейд», а также преподаватели профильных кафедр Астраханского государственного технического университета (АГТУ) – всего 3 группы экспертов (9 человек).

Опрос проводился в 4 итерации, пока группы экспертов не пришли к единому мнению.

Каждой группе предлагалось заполнить следующее: таблицы, отражающие влияние $\{Z_i\}$ на $\{UZ_j\}$ и на $\{UG_j\}$; таблицу, описывающую взаимодействие $\{UZ_i\}$ и $\{UG_j\}$; таблицы, отражающие влияние $\{A_i\}$ на $\{DES_j\}$, и зависимость основных показателей безопасности $\{cK, cЦ, cД\}$ от $\{DES_i\}$; влияние $\{cK, cЦ, cД\}$ на K_0 .

Влияние $\{Z_i\}$ на $\{UZ_j\}$ и на $\{UG_j\}$ представлено в таблицах 1 и 2. Для оценки силы нечетких связей между концептами экспертам было предложено использовать модифицированный метод нестрогого ранжирования [1, 2], в соответствии с которым производится нумерация критериев по возрастанию степени значимости их влияния. Причем допускается, что группе экспертов не удастся различить между собой некоторые критерии по важности. В этом случае при ранжировании эксперты помещают их рядом в произвольном порядке. Затем проранжированные критерии последовательно нумеруются. Оценка (ранг) критерия определяется его номером. Если на одном месте находится несколько неразличимых между собой по важности критериев, то за ранг каждого из них принимается номер всей группы – как целого объекта в упорядочении. При этом если Z_i не оказывает влияния на UZ_j (или на UG_j), то ранг влияния принимает значение «0» и не учитывается в дальнейших расчетах.

Таблица 1

Влияние $\{Z_i\}$ на $\{UZ_j\}$

Условное обозначение меры защиты	Наименование меры защиты	Условное обозначение уязвимости		
		UZ_1	...	UZ_m
		Наименование уязвимости	...	Наименование уязвимости
Z_1	Наименование	Ранг влияния	...	Ранг влияния
...	...	...	...	...
Z_n	Наименование	Ранг влияния	...	Ранг влияния

Таблица 2

Влияние $\{Z_i\}$ на $\{UG_j\}$

Условное обозначение меры защиты	Наименование меры защиты	Номер угрозы		
		UG_1	...	UG_m
		Наименование угрозы	...	Наименование угрозы
Z_1	Наименование	Ранг влияния	...	Ранг влияния
...	...	...	...	...
Z_n	Наименование	Ранг влияния	...	Ранг влияния

Взаимодействие $\{UZ_i\}$ и $\{UG_j\}$ представлено в таблице 3. Для оценки наличия связей между концептами экспертам предлагалось поставить в ячейке (i, j) «+», если для реализа-

ции угрозы UG_j требуется наличие уязвимости UZ_i , или «–», если для реализации угрозы UG_j не требуется наличие уязвимости UZ_i .

Таблица 3

Взаимодействие $\{UZ_i\}$ и $\{UG_j\}$

Условное обозначение уязвимости	Наименование уязвимости	Номер угрозы		
		UZ_1	...	UZ_m
		Наименование угрозы	...	Наименование угрозы
UZ_1	Наименование	«+» или «–»	...	«+» или «–»
...	...	...	...	...
UZ_n	Наименование	«+» или «–»	...	«+» или «–»

Влияние $\{A_i\}$ на $\{DES_j\}$ представлено в таблице 4. Для оценки силы нечетких связей между концептами $\{A_i\}$ и $\{DES_j\}$ экспертам необходимо было занести в ячейку (i, j) лингвистическое значение из терм-множества (2): $QL = \{Н, НС, С, ВС, В\}$, отражающее интенсивность (силу) влияния i -ой атаки на j -ое повреждение.

Таблица 4

Влияние $\{A_i\}$ на $\{DES_j\}$

Условное обозначение атаки	Наименование атаки	Номер повреждения		
		DES_1	...	DES_m
		Наименование повреждения	...	Наименование повреждения
A_1	Наименование	Интенсивность влияния	...	Интенсивность влияния
...	...	...	...	...
A_n	Наименование	Интенсивность влияния	...	Интенсивность влияния

Зависимость основных сервисов безопасности $\{cK, cЦ, cД\}$ от $\{DES_i\}$ представлена в таблице 5. Для оценки силы нечетких связей между концептами $\{cK, cЦ, cД\}$ и $\{DES_i\}$ каждой группе экспертов необходимо было занести в ячейку (i, j) лингвистическое значение из терм-множества (2): $QL = \{Н, НС, С, ВС, В\}$, отражающее интенсивность влияния i -го повреждения на j -ый сервис безопасности.

Таблица 5

Зависимость основных сервисов безопасности $\{cK, cЦ, cД\}$ от $\{DES_i\}$

Условное обозначение повреждения	Наименование повреждения	Наименование сервиса		
		Конфиденциальность	Целостность	Доступность
DES_1	Наименование	Интенсивность влияния	Интенсивность влияния	Интенсивность влияния
...	Наименование	Интенсивность влияния	Интенсивность влияния	Интенсивность влияния
DES_n	Наименование	Интенсивность влияния	Интенсивность влияния	Интенсивность влияния

Влияние $\{cK, cЦ, cД\}$ на K_0 представлено в таблице 6. Для оценки силы нечетких связей между данными концептами экспертам предлагалось использовать модифицированный метод нестрогого ранжирования, описанный выше.

Влияние $\{cK, cЦ, cД\}$ на K_0

Наименование сервиса	Ранг влияния на интегральный критерий безопасности ОИ
Конфиденциальность	Ранг влияния
Целостность	Ранг влияния
Доступность	Ранг влияния

Несмотря на трудоемкость и большие временные затраты на проведение опроса, метод «Дельфи» показал свою эффективность для решения поставленной задачи.

На основе описанной выше методики на языке высокого уровня С# был разработан программный комплекс «Нечеткое когнитивное моделирование системы комплексного обеспечения информационной безопасности». При помощи этого комплекса ЛПР может оценивать уровень ИБ организации в условиях возможности реализации угроз ИБ и на основе таких оценок принимать обоснованные решения по управлению этим уровнем. Входными данными программного продукта являются лингвистические оценки состояния средств защиты информации. Выходными данными – лингвистические оценки уровня конфиденциальности, целостности и доступности информации [4].

Применение разработанной методики на практике. Описанный подход был применен для оценки уровня ИБ в ООО «Центр обучения Пилот-Информ» (г. Астрахань).

Ответственный за ИБ сотрудник ООО «Центр обучения Пилот-Информ» оценил состояние СЗИ, используемых в организации, следующим образом:

- регламент защиты документов при их хранении – «Высокий»;
- контроль защиты документов при их хранении – «Средний»;
- организационные средства контроля за работой пользователей ИС и обслуживающего персонала – «Средний»;
- технические средства контроля за работой пользователей ИС и обслуживающего персонала – «Средний»;
- использование сертифицированного лицензионного ПО – «Высокий»;
- организационные меры разграничения доступа к ИА – «Выше среднего»;
- технические меры разграничения доступа к ИА – «Выше среднего»;
- программно-аппаратные меры разграничения доступа к ИА – «Выше среднего» и т.д.

Объективность этих оценок обуславливалась следующими факторами: компетентностью специалиста, осуществлявшего оценивание, в отношении вопросов ИБ; наличием у него опыта работы в организации; отсутствием у него личной заинтересованности в искажении оценок.

С использованием программного комплекса, реализующего описанную выше методику, на основании полученной от ЛПР информации была проведена оценка состояния основных показателей ИБ (свойств «Конфиденциальность», «Целостность», «Доступность») ООО «Центр обучения Пилот-Информ». Эта оценка дала следующие результаты:

- уровень конфиденциальности – «Средний» ($\Omega = 1,0$);
- уровень целостности – «Ниже среднего» ($\Omega = 0,75$);
- уровень доступности – «Ниже среднего» ($\Omega = 0,75$).

Полученная оценка послужила основанием для разработки рекомендаций по усилению мер обеспечения уровня конфиденциальности информации: усиление контроля над работой сотрудников; доработка регламента аудита за инцидентами ИБ; проведение для сотрудников тренингов, посвященных вопросам обеспечения ИБ и т.д. Реализация этих мер в организации позволила обеспечить следующее: повысить уровень конфиденциальности до состояния «Выше среднего» с индексом схожести (степенью принадлежности итогового уровня конфиденциальности к значению «Выше среднего») 0,8; для целостности и доступности информации повысить индекс схожести до значений 1,0 и 0,9 соответственно.

Заключение. Разработанная методика оценки уровня ИБ в условиях возможности реализации угроз ИБ позволяет учесть нечеткий характер суждений ЛПР о состоянии СЗИ, а также нечеткость связей между концептами в рамках предложенной НКМ.

Программная реализация изложенной методики была осуществлена на языке C#. Созданный программный продукт позволяет ЛПР не только оперативно оценивать уровень основных показателей ИБ (конфиденциальность, целостность, доступность), но и вырабатывать обоснованное суждение о необходимости синтеза управляющих решений для вывода указанных показателей на необходимый целевой уровень.

Список литературы

1. Ажмухамедов А. И. Мотивационное, институциональное и информационное управление персоналом коммерческого банка / А. И. Ажмухамедов, Т. А. Копытина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 2. – С. 10–20.
2. Ажмухамедов И. М. Информационная безопасность. Системный анализ и нечеткое когнитивное моделирование : монография / И. М. Ажмухамедов. – Москва : LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 385 с.
3. Ажмухамедов И. М. Методология моделирования плохо формализуемых слабо структурированных социотехнических систем / И. М. Ажмухамедов, О. М. Проталинский // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2013. – № 1. – С. 144–154.
4. Ажмухамедов И. М. Нечеткое когнитивное моделирование системы комплексного обеспечения информационной безопасности / И. М. Ажмухамедов, О. М. Князева, Ф. В. Романов // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015615682. – Заявка № 2015611005 зарегистрир. в реестре программ для ЭВМ 22 мая 2015 г.
5. Борисов В. В. Нечеткие модели и сети / В. В. Борисов, В. В. Круглов, А. С. Федулов. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2012. – 284 с.
6. Брумштейн Ю. М. ИКТ-компетентность стран, регионов, организаций и физических лиц: системный анализ целей, направлений и методов оценки / Ю. М. Брумштейн, А. Б. Кузьмина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2. – С. 47–63.
7. ГОСТ Р 50922-2006. Защита информации. Основные термины и определения. – Взамен ГОСТ 50922-96 ; введен 2008-02-01. – Москва : Национальный стандарт Российской Федерации, 2008. – 12 с.
8. ГОСТ Р 51275-2006. Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения. – Взамен ГОСТ 51275-99 ; введен 2008-02-01. – Москва : Национальный стандарт Российской Федерации, 2008. – 12 с.
9. ГОСТ Р 53114-2008. Защита информации. Обеспечение информационной безопасности в организации. Основные термины и определения. – Введен 2009-10-01. – Москва : Национальный стандарт Российской Федерации, 2009. – 20 с.
10. Домарев В. В. Безопасность информационных технологий. Системный подход / В. В. Домарев. – Киев : Диасофт, 2004. – 992 с.
11. Копылов А. В. Модель принятия решения задачи определения параметров стратегического потенциала предприятия в условиях неопределенности / А. В. Копылов, Б. Х. Санжапов // Интернет-Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. – Режим доступа: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/KopylovSanzhapov1-2013_10\(30\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/KopylovSanzhapov1-2013_10(30).pdf) (дата обращения: 01.09.2015), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
12. Максимов В. И. Аналитические основы применения когнитивного подхода при решении слабоструктурированных задач / В. И. Максимов, Е. К. Корноушенко // Труды Института проблем управления Российской академии наук. – 1999. – Т. 2. – С. 95–109.
13. Методика определения актуальных угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных // ФСТЭК России. – Режим доступа: <http://fstec.ru/component/attachments/download/290> (дата обращения: 01.09.2015), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

14. Обзор методик анализа рисков информационной безопасности информационной системы предприятия // CYBERLENINKA. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metodik-analiza-riskov-informatsionnoy-bezopasnosti-informatsionnoy-sistemy-predpriyatiya> (дата обращения: 01.09.2015), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
15. Charitoudi K. A Socio-Technical Approach to Cyber Risk Management and Impact Assessment / K. Charitoudi, A. Blyth // Journal of Information Security. – 2013. – № 3. – P. 33–41.
16. Facilitated risk analysis PROCESS (FRAP) // IT Today. – Available at: <http://www.itto-day.info/AIMS/DSM/85-01-21.pdf> (accessed: 01.09.2015).
17. OCTAVE // CERT. – Available at: <http://www.cert.org/resilience/products-services/octave/index.cfm> (accessed: 01.09.2015).
18. Rao P. Ranking generalized fuzzy numbers using area, mode, spreads and weight / P. Rao, N. Shankar // International Journal of Applied Science and Engineering. – 2012. – № 10, vol. 1. – P. 41–57.
19. Shahri A. A Tree Model for Identification of Threats as the First Stage of Risk Assessment in HIS / A. Shahri, Z. Ismail // Journal of Information Security. – 2012. – № 3. – P. 169–176.

References

1. Azhmukhamedov A. I., Kopytina T. A. Motivatsionnoe, institutsionalnoe i informatsionnoe upravlenie personalom kommercheskogo banka [Motivational, institutional and information management personnel of a commercial bank]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 2, pp. 10–20.
2. Azhmukhamedov I. M. *Informatsionnaya bezopasnost. Sistemnyy analiz i nechetkoe kognitivnoe modelirovanie* [Information Security. System analysis and fuzzy cognitive modeling], Moscow, LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG Publ. House, 2012. 385 p.
3. Azhmukhamedov I. M., Protalinskiy O. M. Metodologiya modelirovaniya plokh formalizuemyykh slabo strukturirovannykh sotsiotekhnicheskikh system [Modelling methodology bad formalizable poorly structured social engineering systems]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Facilities and Informatics], 2013, no. 1, pp. 144–154.
4. Azhmukhamedov I. M., Knyazeva O. M., Romanov F. V. Nechetkoe kognitivnoe modelirovanie sistemy kompleksnogo obespecheniya informatsionnoy bezopasnosti [Fuzzy cognitive modeling of integrated information security]. *The Certificate of Registration of Computer Programs no. 2015615682. The application №2015611005 registered in the registry of the computer programs May 22, 2015.*
5. Borisov V. V., Kruglov V. V., Fedulov A. S. *Nechetkie modeli i seti* [Fuzzy models and networks], Moscow, Goryachaya liniya-Telekom Publ., 2012. 284 p.
6. Brumshteyn Yu. M., Kuzmina A. B. IKT-kompetentnost stran, regionov, organizatsiy i fizicheskikh lits: sistemnyy analiz tseley, napravleniy i metodov otsenki [ICT competence of countries, regions, organizations and individuals: systematic analysis of the objectives, directions and methods of assessment]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 2, pp. 47–63.
7. GOST R 50922-2006. Data protection. Basic terms and definitions. Instead of GOST 50922–96, introduced 2008–02–01. Moscow, National Standard of the Russian Federation Publ. House, 2008. 12 p.
8. GOST R 51275-2006. Data protection. Object information. Factors influencing the information. General. Instead of GOST 51275–99, introduced 2008–02–01. Moscow, National Standard of the Russian Federation Publ. House, 2008. 12 p.
9. GOST R 53114-2008. Data protection. Ensuring information security in the organization. Basic terms and definitions. Introduced 2009–10–01. Moscow, National Standard of the Russian Federation Publ. House, 2009. 20 p.
10. Domarev V. V. *Bezopasnost informatsionnykh tekhnologiy. Sistemnyy podkhod* [Safety of information technology. Systems approach], Kiev, Diasoft Publ., 2004. 992 p.
11. Kopylov A. V., Sanzhapov B. Kh. Model prinyatiya resheniya zadachi opredeleniya parametrov strategicheskogo potentsiala predpriyatiya v usloviyakh neopredelennosti [Model the decision problem of determining the parameters of the strategic potential of the enterprise in the face of uncertainty]. *Internet-Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Internet Bulletin of the

Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering]. Available at: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/KuvalkinKuvalkinSanzhapovSereda1-2013_10\(30\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/KuvalkinKuvalkinSanzhapovSereda1-2013_10(30).pdf). (accessed: 01.09.2015).

12. Maksimov V. I., Kornoushenko Ye. K. Analiticheskie osnovy primeneniya kognitivnogo podkhoda pri reshenii slabostrukturovannykh zadach [Analytical basis for the use of the cognitive approach in solving semistructured problems]. *Trudy Instituta problem upravleniya Rossiyskoy akademii nauk* [Proceedings of the Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences], 1999, no. 2, pp. 95–109.

13. Metodika opredeleniya aktualnykh ugroz bezopasnosti personalnykh dannykh pri ikh obrabotke v informatsionnykh sistemakh personalnykh dannykh [Methods of determining the actual threat of personal data security at their processing within the information systems of personal data]. *FSTEC Rossii* [The Federal Service for Technical and Export Control of Russia]. Available at: <http://fstec.ru/component/attachments/download/290> (accessed: 01.09.2015).

14. Obzor metodik analiza riskov informatsionnoy bezopasnosti informatsionnoy sistemy predpriyatiya. Tekst nauchnoystati po spetsialnosti «Ekonomika i ekonomicheskie nauki» [Review of methods of information security risk analysis of enterprise information system. The text of scientific articles on «Economics and economic sciences»]. *CYBERLENINKA*. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metodik-analiza-riskov-informatsionnoy-bezopasnosti-informatsionnoy-sistemy-predpriyatiya> (accessed: 01.09.2015).

15. Charitoudi K., Blyth A. A Socio-Technical Approach to Cyber Risk Management and Impact Assessment. *Journal of Information Security*, 2013, no. 3, pp. 33–41.

16. Facilitated risk analysis PROCESS (FRAP). *IT Today*. Available at: <http://www.ittoday.info/AIMS/DSM/85-01-21.pdf> (accessed: 01.09.2015).

17. OCTAVE. CERT. Available at: <http://www.cert.org/resilience/products-services/octave/index.cfm> (accessed: 01.09.2015).

18. Rao P., Shankar N. Ranking generalized fuzzy numbers using area, mode, spreads and weight. *International Journal of Applied Science and Engineering*, 2012, no. 10, vol. 1, pp. 41–57.

19. Shahri A., Ismail Z. A Tree Model for Identification of Threats as the First Stage of Risk Assessment in HIS. *Journal of Information Security*, 2012, no. 3, pp. 169–176.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЭКОНОМИКИ

УДК 62-51:614.2

ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ: НАПРАВЛЕНИЯ АНАЛИЗА И ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ¹

Статья поступила в редакцию 12.07.2015, в окончательном варианте 12.09.2015.

Брумиштейн Юрий Моисеевич, кандидат технических наук, доцент, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: brum2003@mail.ru

Захаров Дмитрий Александрович, кандидат медицинских наук, заместитель главного врача по оргметодработе, Александро-Мариинская областная клиническая больница, доцент Астраханского государственного университета, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: dmitrizahar@mail.ru

Сокольский Виталий Михайлович, кандидат технических наук, начальник отдела эксплуатации медицинской техники, Управление по материально-техническому обеспечению медицинских организаций Астраханской области, 414057, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Кубанская, 1, e-mail: sokolskiy_Vm@mail.ru

Рассмотрено понятие энергоэффективности (ЭЭ) деятельности медицинского учреждения (МУ). Обоснована необходимость контроля показателей ЭЭ и управления ими. Показана роль ЭЭ МУ в обеспечении медико-экономической эффективности ее деятельности, в повышении доступности и качества медицинской помощи населению, в создании комфортных условий для работы персонала, в поддержке бесперебойности эксплуатации медицинского и иного оборудования. Исследована структура потребляемых МУ энергетических и иных ресурсов; потенциальные возможности взаимозаменяемости видов энергоресурсов, источников их получения – с учетом нормативных, технологические и экономических ограничений. Проанализированы основные факторы, определяющие ЭЭ деятельности МУ, включая качество проектов для отдельных зданий и МУ в целом; качество строительства и ремонта зданий, инженерных коммуникаций на территориях МУ; особенности и ЭЭ применяемых в МУ систем теплоснабжения и кондиционирования воздуха; возможности использования энергосберегающих технологий при освещении зданий МУ и их территорий; способы снижения энергопотребления медицинским, вспомогательным и компьютерным оборудованием МУ. По каждому из этих направлений рассмотрены причины типичных недостатков существующего положения и их последствия; экономически эффективные меры по устранению недостатков, снижению рисков. Для различных типов медоборудования выполнены оценки долей затрат на потребляемые энергоресурсы в общей стоимости владения этим оборудованием. Показано, что для высокотехнологичного оборудования эти доли меньше. Предложен ряд показателей для количественных оценок ЭЭ деятельности МУ. Приведены примеры оценки этих показателей для конкретного МУ. Представлена математическая модель для оптимизации объемов использования энергоресурсов различных видов при наличии ограничений.

Ключевые слова: медицинские учреждения, используемые ресурсы, критерии энергоэффективности, менеджмент энергоэффективности, информационные технологии, медицинское оборудование, оптимальные решения, модели выбора

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ. Грант № 14-06-00279 «Разработка методов исследования и моделирования объемов/структуры интеллектуальных ресурсов в регионах России».

**POWER SAFETY ANALYSIS AND MANAGEMENT
OF MEDICAL INSTITUTIONS ACTIVITY**

Brumshteyn Yuriy M., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, ph. 8 (8512) 61-08-43, e-mail: brum2003@mail.ru

Zakharov Dmitriy A., Ph.D. (Medicine), deputy chief of the organizational and methodical work, Aleksandro-Mariinsky Regional Clinical Hospital, Associate Professor, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: dmitrizahar@mail.ru

Sokolskiy Vitaliy M., Ph.D. (Engineering), head of department of medical equipment operation, Administration for Material Support of the Medical Organizations in Astrakhan region, 1 Kubanskaya St., Astrakhan, 414057, Russian Federation, e-mail: sokolskiy_Vm@mail.ru

Authors considered concept of energy efficiency (EE) for activity of medical institution (MI). Need of EE indicators control and their management is proved. In article is shown role of MI EE in ensuring medic and economic efficiency of its activity, in increasing of availability and quality of medical care to the population, in creation of comfortable conditions for personnel work, in support of uninterrupted work of medical and other equipment. Authors researched structure of energy and other resources, consumed by MI; potential opportunities of types interchangeability for energy resources and sources of their receiving – taking into account legislative, technological and economic restrictions. In article are analyzed major factors, defining EE of MI activity, including quality of projects for certain buildings and «MI in general»; quality of construction and repairing of buildings, engineering communications in territories of MI; features and EE of systems for heat supply and air conditioning, applied in MI; possibilities of energy saving technologies usage when lighting buildings of MI and their territories; ways of decreasing energy consumption by medical, service and computer equipment of MI. For each of these directions are considered reasons of typical shortcomings of existing situation and their consequence; economically effective measures for elimination of shortcomings, decreasing risks. For various types of medical equipment authors are executed estimates for costs shares of consumed energy resources in total costs of equipment possession. It is shown that for the hi-tech equipment these shares are less. In article is offered several indices for EE quantitative estimates of MI activity. As an example this indices are calculated for concrete MI. Authors presents also optimization mathematical model for used volumes of different types of energy resources in the presence of restrictions.

Keywords: medical institutions, used resources, energy efficiency criteria, energy efficiency management, information technologies, medical equipment, optimum decisions, choice models

Доступность и качество медицинской помощи населению во многом определяют условия воспроизводства, наращивания и использования интеллектуальных ресурсов регионов [5], страны в целом. При этом медико-экономическая эффективность деятельности отдельных медицинских учреждений (МУ), систем здравоохранения регионов и страны в целом во многом определяются уровнями их энергоэффективности (ЭЭ). Однако вопросы менеджмента энергопотребления и ЭЭ применительно к МУ в существующей литературе рассмотрены недостаточно полно. Поэтому целью данной статьи является комплексный анализ указанной проблематики с учетом существующих реалий деятельности Российских МУ. При рассмотрении материала в качестве «базовой» организации в данной статье используется Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Астраханской области Александрo-Мариинская областная клиническая больница (ГБУЗ АО АМОКБ), в которой работает один из авторов.

Общая характеристика проблематики статьи и видов энергоресурсов, потребляемых медучреждениями. Важность проблематики энергосбережения и ЭЭ подчеркивается специальным законом [19], причем эти два понятия в нем тесно связаны [8]. Методологические вопросы оценок ЭЭ отражены в ряде работ [2, 9, 26] – однако без учета специфики МУ. Существуют и программные средства для управления ЭЭ (например, Информационно-

аналитическая система контроля и управления энергосбережением ОАО «СИБУР Холдинг» – <http://www.prognoz.ru/sites/default/files/sibur.pdf>). Однако такие разработки ориентированы преимущественно на применение в промышленности.

Будем считать, что ЭЭ деятельности МУ определяется удельными (на одного пациента, врача и др.) энергозатратами на выполнение производственных функций МУ. При этом должны обеспечиваться необходимые уровни доступности и качества обслуживания пациентов, его медико-технологического уровня; соблюдаться уровни комфортности пребывания в МУ пациентов и условий деятельности медперсонала. Эти уровни могут определяться / задаваться нормативными документами общего характера, регламентирующими деятельность МУ, – включая условия их лицензирования; стандартами лечения, обязательными для бюджетных МУ; внутренними стандартами деятельности МУ; конкуренцией МУ за пациентов в рыночных условиях; требованиями медицинских страховых организаций и др. Отметим, что сейчас даже в бюджетных МУ возможен дифференцированный подход к уровням обслуживания пациентов – в т.ч. за счет создания платных палат повышенной комфортности.

Большие объемы энергоресурсов в МУ потребляются системами теплоснабжения и кондиционирования воздуха, освещения помещений и территорий. Кроме того, увеличивается и техническая оснащенность МУ России медицинским, вспомогательным, компьютерным и иными видами оборудования [1, 3], использующими энергоресурсы.

В процессе работы МУ непосредственно используют тепловую (отопление, горячее водоснабжение) и электрическую энергию. Номенклатура используемых в МУ энергоносителей (ЭН): природный газ (поступающий в МУ по газопроводам или сжиженный); бензин; дизельное топливо, мазут; в сельских МУ – также уголь, торфяные брикеты и дрова [4]. Далее мы к потребляемым энергоресурсам (ЭР) будем относить тепловую и электрическую энергию плюс перечисленные виды ЭН. Другие потребляемые МУ ресурсы: холодная вода; продукты питания (в стационарных МУ); расходные материалы для медицинского оборудования (МО), для других видов оборудования; расходные материалы для медпроцедур, выполняемых «вручную»; строительные материалы для ремонта зданий, помещений, инженерных сетей и пр. Отдельно отметим применение в МУ информационных (в т.ч. с доступом через Интернет), финансовых и трудовых ресурсов.

Анализ и управление использованием ЭР играют важную роль в обеспечении медико-экономической эффективности работы бюджетных и коммерческих МУ. Повышение их ЭЭ позволяет снизить финансовые затраты; уменьшить нагрузку на линии электропередач, на трансформаторные подстанции, сети горячего теплоснабжения и пр.; повысить комфортность пребывания пациентов в МУ, улучшить условия работы их персонала; обеспечить надежность (бесперебойность) эксплуатации медицинского, компьютерного и иного оборудования.

Основные направления решений по обеспечению ЭЭ работы МУ: адекватный учет факторов ЭЭ МУ при проектировании новых и реконструкции существующих зданий, систем доставки к ним ЭР; оптимизация выбора ЭР – в отношении их структуры, поставщиков и пр.; обеспечение мониторинга потребления ЭР в МУ; меры по экономии (ограничению потребления) ЭР – в т.ч. за счет внедрения энергосберегающих технологий, замены оборудования, изменения режимов его работы и пр.

Соотношение объемов потребления по видам ЭР отличается для разных типов МУ и времен года. При этом доли потребления энергии (в Джоулях) и доли оплат за них различны – в силу разницы в ценах на ЭР. В России в большинстве регионов в холодное время года для МУ велика доля затрат на горячее теплоснабжение и освещение, а летом – затрат на кондиционирование воздуха. Минимумы энергопотребления (и затрат на них) в большинстве МУ приходится на весну и начало осени.

Отопление зданий и кондиционирование воздуха в подразделениях стационарных МУ, обеспечивающих круглосуточное обслуживание пациентов, должно быть непрерывным. При этом диагностические и лечебные мероприятия (кроме неотложных) в большинст-

ве МУ проводятся в 1–1,5 смены и лишь в рабочие дни. В амбулаторных МУ кондиционирование воздуха может включаться лишь на период их работы в жаркое время года, а отопление в холодный период должно действовать непрерывно (однако его уровень может снижаться в нерабочие периоды времени).

Резко континентальный климат в большинстве регионов России (холодная зима и жаркое лето) способствует повышению энергозатрат на отопление и кондиционирование воздуха по сравнению, например, с большинством стран Европы. Как следствие, велики затраты на энергообеспечение деятельности Российских МУ – это влияет и на их ЭЭ. Поэтому с позиций повышения ЭЭ деятельности целесообразны такие меры: «интенсификация» использования помещений и оборудования МУ (прежде всего, высокотехнологичного) – в т.ч. за счет организации работы во вторую и третью смены, в выходные и праздничные дни; перенос акцентов со стационарной медпомощи на менее энергозатратную амбулаторную. Однако пока в России количество коек на душу населения в стационарных МУ выше, чем в большинстве развитых стран.

Классификация видов МУ с точки зрения особенностей и объемов их энергопотребления была нами уже рассмотрена ранее [4]. Это стационарные МУ, имеющие собственную территорию, на которой расположены одно или большее количество зданий; автономные МУ (включая амбулаторные), размещенные в отдельных зданиях или в нижних этажах зданий жилого или иного назначения; медицинские кабинеты в зданиях офисного или другого назначения; аптечные учреждения (аптеки и аптечные киоски). Размещение МУ в зданиях «немедицинского» назначения (например, поликлиник на первых этажах жилых зданий) может обеспечивать снижение энергозатрат МУ по сравнению с вариантом отдельно стоящих зданий. Основные причины: уменьшение удельных (в расчете на один квадратный метр производственных помещений) «площадей контактов» МУ с наружным воздухом; снижение воздействия солнечной инсоляции через крыши зданий и пр. В связи с последним направлением отметим такое интересное решение как создание «зеленых крыш» [18]. Однако, по крайней мере, ранее хирургические отделения во многих МУ проектировались на верхних этажах и для них специально предусматривались «остекленные участки крыш» – для обеспечения освещения на случай отключения электроэнергии. Наименьшая ЭЭ, очевидно, у аптечных киосках в отдельно стоящих павильонах. Они традиционно имеют большую площадь остекления.

В крупных МУ используется энергия, особенно тепловая энергия (ТЭ), произведенная как вне их территорий (получаемая по «договорам энергоснабжения» [12]), так и на этих территориях – прежде всего в собственных котельных. Оплата внешним производителям ТЭ осуществляется исходя из количества тепла, поданного на «периметр территории МУ», а не в отдельные здания. При этом температура жидкости, отходящей с территории МУ, при расчетах с поставщиками ТЭ обычно не учитывается.

«Собственное производство» ТЭ на территориях МУ улучшает их энергобезопасность за счет снижения зависимости от «внешних источников». Однако при этом может снижаться ЭЭ – из-за более высокой (по сравнению с внешними источниками) стоимости выработки ТЭ. В городах использование в МУ собственных котельных требует выполнения ряда жестких экологических требований. Как следствие, новые котельные для МУ часто проектируются на газовом топливе. Это приводит к высокой себестоимости производства ТЭ (выше, чем при использовании мазута; приобретения ТЭ у поставщиков извне МУ).

В мелких МУ, расположенных вне городов, доля используемых ЭР «собственного производства» может составлять вплоть до 100 %.

Для доставки к зданиям с целью отопления ТЭ (а также горячей воды), получаемой из внешних источников теплоснабжения или от собственных котельных, применяются специальные трубопроводы. При их проектировании надземное расположение допускается только в порядке исключения – при наличии соответствующих обоснований. Подземные

трубопроводы теплоснабжения зданий располагаются в специальных лотках, причем обычно в «коридоре» глубин порядка 1–1,2 м от поверхности земли. Во многих регионах России это меньше, чем глубина промерзания грунта. Поэтому в зимний период длительные перемены в подаче горячей воды по таким трубопроводам могут приводить к замерзанию жидкости в трубопроводах и их разрывам.

Значительные потери энергии из трубопроводов теплоснабжения (особенно надземных) возможны из-за недостаточной теплоизоляции – в т.ч. из-за ее механических повреждений; утечки горячей жидкости через неплотности соединений труб, свищи в них и пр. Другие возможные причины высоких уровней теплопотерь из трубопроводов теплоснабжения: малая плотность расположения зданий на территориях МУ, низкая этажность зданий; «неудобные» места расположения зданий с точки зрения прокладки трубопроводов. В силу этих причин величина относительной (в расчете на 1 м² производственных площадей) протяженности трубопроводов отопления на территориях МУ вне зданий может быть велика. Рост этого показателя увеличивает теплопотери в системах доставки тепла к зданиям и, как следствие, снижает ЭЭ деятельности МУ.

Для повышения ЭЭ работы МУ «отработанная» (со сниженной температурой) горячая вода систем отопления зданий может использоваться для обогрева тех помещений, где допускается более низкая температура, чем комфортная для человека (склады, теплицы и пр.). Однако это требует усложнения систем распределения ТЭ.

Иногда в МУ применяются локальные системы отопления отдельных зданий на основе подогреваемых газовыми горелками или электроэнергией котлов – от них горячая вода по трубопроводам «разводится» на все этажи / помещения зданий. Аналогичные решения используются и при проектировании коттеджей [17], а в некоторых случаях и многоквартирных жилых зданий (котлы устанавливаются в каждой из квартир [22]).

Электроэнергию МУ обычно получают из внешних источников – электростанций или теплоэлектростанций. При этом если ТЭ применяется только для отопления зданий, то электроэнергия может использоваться для различных целей: обеспечение работы оборудования, средств сигнализации и связи; освещение помещений и территорий МУ; поддержание необходимых уровней грунтовых вод на территориях МУ; «производство холода» – в т.ч. в холодильниках, системах кондиционирования воздуха и пр.; нагрев воздуха в помещениях МУ. В последнем случае стоимость одной произведенной «калории тепла» обычно значительно выше по сравнению с системами отопления зданий горячей водой – даже если МУ получают электроэнергию от поставщиков по льготным тарифам [4].

Собственное производство электроэнергии не характерно для городских МУ. Дизель-генераторы применяются лишь как резервные источники. Теоретически на территориях МУ вместо котельных могут использоваться «мини-ТЭЦ», которые бы вырабатывали не только горячую воду, но и электроэнергию. Однако это обходится достаточно дорого и потому на практике не используется. Выработка в МУ электроэнергии с использованием солнечных панелей (СП) и ветроэлектрогенераторов возможна только для организаций, имеющих собственную территорию или хотя бы собственные здания. Пока такое производство электроэнергии обходится значительно дороже, чем получение ее традиционными методами [4, 15]. Поэтому у потребителей пока нет экономической заинтересованности во внедрении указанных новых технологий. Солнечная энергия может также непосредственно использоваться для теплоснабжения зданий [7] и для производства «холода» в системах кондиционирования воздуха МУ [24].

Газоснабжение городских МУ осуществляется обычно от сетей общего пользования населенных пунктов, работающих на среднем давлении. При этом какие-то резервные емкости для газа на территориях МУ не проектируются и не эксплуатируются. В небольших МУ, расположенных вне городов, источником газа могут быть газобаллонные станции.

Для обеспечения горюче-смазочными материалами (ГСМ), включая бензин, дизтопливо, мазут, могут применяться как коммерческие заправки, так и собственные емкости, размещенные на территориях МУ. Последний вариант улучшает энергобезопасность деятельности МУ, но часто не может быть реализован из-за нормативных требований. Для полноты рассмотрения материала отметим также затраты МУ на закупку солевых батареек (однократного применения), а для МО и компьютерного оборудования – аккумуляторов. При одинаковых форм-факторах переход от одноразовых батареек к аккумуляторам может снизить затраты МУ.

Общая площадь отапливаемых помещений на территории ГБУЗ АМОКБ в 2014 г. составляла 62 593 м², а территории занимаемой организацией – 100 529 м². Высокое отношение первой величины ко второй (0,623) достигнуто за счет введения в действие многоэтажных зданий и потенциально способствует лучшей ЭЭ организации.

Анализ факторов, влияющих на энергоэффективность работы медучреждений и возможных решений по ее улучшению. В настоящее время в России новые «медицинские комплексы» (состоящие из нескольких зданий) проектируются и строятся достаточно редко. Значительно чаще выполняется проектирование и строительство дополнительных зданий МУ, пристроек к зданиям; реконструкция существующих зданий – в том числе с изменением их целевого назначения.

При проектировании новых зданий МУ или реконструкции существующих требования ЭЭ обязательно учитываются в проектах, причем с течением времени соответствующие нормы постепенно ужесточаются [21]. Возможные проектные решения регламентируются в отношении теплоизоляции стен и крыш зданий по «тепловому сопротивлению» [25]; максимальной доли площади поверхности зданий, которая может быть использована для остекления и пр. Качество соблюдения строительными организациями предусмотренных решений по теплоизоляции зданий контролируется проектировщиками в порядке авторского надзора.

Строительство новых зданий вплотную к существующим (пристройкам) потенциально обеспечивает повышение ЭЭ [20] за счет уменьшения показателя «площадь поверхности здания контактирующей с наружным воздухом, приходящейся на 1 м² производственных помещений» (обозначим как Ξ). Увеличение этажности зданий МУ потенциально способствует также энергосбережению за счет снижения Ξ (площадь крыши при росте этажности сохраняется постоянной). Однако по существующим нормам многоэтажные здания МУ должны быть оборудованы лифтами, а их эксплуатация значительно увеличивает энергопотребление зданий [20].

В существующих зданиях МУ традиционные двойные окна часто заменяются на стеклопакеты. Это повышает «тепловое сопротивление» окон, уменьшает величину щелей. Как следствие, снижаются потери тепла из зданий зимой и холода (при кондиционировании воздуха) летом.

В зданиях МУ старой постройки для отопления используются чугунные батареи, покрытые специальной термостойкой краской. Они достаточно массивные, имеют малую поверхность теплоотдачи. Современные отопительные приборы в виде «пластинчатых радиаторов» имеют меньшую массу, большую теплоотдачу и возможности ее регулирования, потенциально позволяют работать с теплоносителями меньшей температуры [13].

В рамках аудита энергопотребления для обнаружения мест утечек тепла зимой часто используют тепловизионную съемку зданий (с фронта, с тыла, боковых стен) [23]. Это позволяет в первоочередном порядке принимать необходимые меры для участков зданий (помещений), дающих большие утечки тепла. Тепловизоры дают также возможность определить локальные участки «перегрева» МО и вспомогательного оборудования.

Типичное решение по снижению потерь тепла на входах в здания МУ в зимний период – использование «тепловых завес» (пушек). Дополнительные расходы, связанные с по-

догревом воздуха для них, окупаются не только за счет снижения теплотерь, но и исключения сквозняков, которые могут отрицательно влиять на пациентов и персонал МУ. С позиций ЭЭ более эффективными могли бы быть тамбурные входы в здания. Однако в силу особенностей деятельности МУ они почти не применяются.

В ряде МУ создаются закрытые переходы между зданиями – в том числе теми, которые были построены ранее. Цели создания таких переходов: уменьшение потерь тепла / холода при входах и выходах людей из зданий; обеспечение комфортности транспортировки пациентов и перемещения персонала; улучшение санитарно-гигиенического состояния помещений МУ за счет уменьшения «заноса» грязи на обуви персонала и пациентов с территории МУ. Такие переходы могут быть трех типов. (1) Наземные – наиболее дешевые в отношении строительства. Однако они могут блокировать проезд транспорта и передвижение пешеходов на территориях МУ. Поэтому такой тип переходов применяется ограниченно – только между близко расположенными зданиями. (2) Подземные – не мешают передвижению транспорта. Однако их создание имеет ряд минусов: дороговизна; нередко – необходимость «перекладки» заглубленных инженерных коммуникаций; необходимость обеспечения постоянного искусственного освещения, возможно – вентиляции воздуха; при высоких уровнях грунтовых вод для такого типа переходов необходимы непрерывно действующие дренажные системы и пр. (3) Надземные переходы обычно выполняются на уровне 2–3 этажей зданий на трубчатых опорах, не мешающих проезду транспорта. Недостатки: высокие требования к теплоизоляции, т.к. они контактируют с воздухом по всем четырем сторонам поперечного сечения (при этом здания, деревья и пр. не защищают такие переходы от ветра); более высокая стоимость строительства по сравнению с наземными переходами; обычно – негативное влияние на архитектурный облик зданий и территорий МУ. В ГБУЗ АО АМОКБ был выбран третий вариант строительства переходов (надземные), что позволило за достаточно короткий промежуток времени связать ими большинство зданий организации.

При проектировании новых зданий МУ обычно предусматриваются централизованные системы кондиционирования воздуха, чаще всего расположенные на крышах. Это более экономично по сравнению с установкой сплит-систем для отдельных помещений или групп помещений (для существующих зданий последние решения используются вынужденно). Применение в МУ «брызговых бассейнов» (фактически градилен) для отвода тепла из систем кондиционирования воздуха для МУ не характерно.

Зашторивание окон в помещениях на солнечных сторонах зданий в МУ применяется часто, но специальные светоотражающие материалы в жалюзи не используются. Для южных регионов России решением по снижению нагрева зданий летом через крыши (особенно близкие к плоским) могло бы быть временное размещение на них светоотражающих панелей – при достаточном закреплении их с учетом ветровых воздействий.

С целью экономии электроэнергии в офисных зданиях МУ и некоторых типах помещений для иных зданий может применяться автоматическое отключение освещения при отсутствии перемещений людей в течение какого-то времени (в коридорах, в отдельных помещениях и пр.). Однако относительно низкая надежность срабатывания таких устройств пока препятствует их использованию в МУ. Более гибкий вариант (по сравнению с включением/выключением) – автоматическая ступенчатая или плавная регулировка искусственного освещения помещений – с учетом времени дня, яркости естественного (наружного) освещения и пр. Для освещения территорий МУ и подсветки их зданий в вечернее и ночное время могут применяться автоматизированные решения [10]. Такое освещение обеспечивает возможности передвижения людей и транспорта; снижает уровни криминальных угроз, иногда выполняет эстетические функции. По крайней мере, в высокотехнологичных МУ управление освещением помещений и территорий централизовано и автоматизировано [6, 14].

Для компьютерного оборудования (включая ПЭВМ, принтеры и пр.) существуют технологии, автоматически переводящие эти устройства в «спящий режим» или «гасящие» мониторы – при отсутствии работы. В то же время в МО «спящие режимы» обычно не пре-

дусмотрены. Более того, некоторые виды МО (например, системы охлаждения для магнито-резонансных томографов) нежелательно выключать, если в конкретный момент времени исследования не проводятся. Таким образом, основные резервы повышения ЭЭ МО обычно состоят в его замене на модели с меньшим уровнем энергопотребления или в увеличении загрузки МО – особенно того, которое нельзя выключать. Специально отметим энергосберегающий эффект от использования в МО встроенных жидкокристаллических дисплеев для отображения информации, а в ряде случаев – и для сенсорного управления. Применение полифункционального МО обычно позволяет обеспечить более высокий коэффициент использования оборудования – по сравнению с несколькими единицами МО меньшей функциональности. Однако более функциональное МО обычно и более дорогое.

Определить долю энергопотребление МО в общих затратах МУ на ЭР достаточно сложно. Ориентировочные оценки для стационарных МУ, выполненные авторами статьи, дают величины в несколько процентов – с учетом «обеспечивающих» энергозатрат на отопление, освещение, кондиционирование воздуха и пр. тех помещений, где расположено это МО. Для амбулаторных МУ эти доли могут быть еще ниже. Поэтому замена МО обычно не является главным резервом увеличения ЭЭ МУ.

Целевые затраты на повышение ЭЭ МУ обычно окупаются за период в несколько лет и более. При этом «положительные эффекты» могут соответствовать не только уменьшению потребления ЭР, но и улучшению комфортности условий для пациентов и персонала МУ, увеличению количества пациентов в коммерческих МУ и пр.

Представляет интерес сравнение долей $\{D_i\}_{i=1...I}$ затрат на энергообеспечение единиц МО (ЕМО) $\{Z_i^{(ЭР)}\}_{i=1...I}$ в общих стоимостях владения $\{C_i^{(Бл)}\}_{i=1...I}$ этими оборудованием (здесь I – общее количество рассматриваемых видов МО). Для D_i было принято:

$$D_i = (Z_i^{(ЭР)} / C_i^{(Бл)}) \times 100\% \quad (1)$$

$$Z_i^{(ЭР)} = P_i \mu_i C_i^{(ЭР)} (24 \times 365.25) \quad (2)$$

$$C_i^{(ЭР)} = M_i C^{(1)}, \quad (3)$$

где P_i – расчетная продолжительность эксплуатации (лет); μ_i – среднегодовая доля времени, когда ЕМО i -ого вида находится во включенном состоянии (доли единицы) – с учетом того, большинство ЕМО в выходные и праздничные дни не используются; $C_i^{(ЭР)}$ – стоимость для ЕМО энергозатрат за час фактической эксплуатации; $\dot{I}_i$ – потребляемая мощность для ЕМО i -ого вида; $C^{(1)}$ – стоимость одного киловатт-часа электроэнергии (мы приняли ее равной 3.62 руб., хотя, по крайней мере, для крупных МУ действуют более льготные тарифы). Для $C_i^{(Бл)}$ было принято:

$$C_i^{(Бл)} = Z_i^{(Buy)} + Z_i^{(ЭР)} + P_i (C_i^{(Per)} + C_i^{(SO)} + C_i^{(Dr)}), \quad (4)$$

где $Z_i^{(Buy)}$ – стоимость закупки ЕМО (тыс. руб.) – на 01.07.2015; $C_i^{(Per)}$ – затраты на оплату труда медперсонала, работающего с ЕМО (за год эксплуатации ЕМО) плюс отчисления с этой зарплаты в социальные фонды; $C_i^{(SO)}$ – затраты на сервисное обслуживание ЕМО, а также расходные материалы, необходимые для ее использования (на год эксплуатации); $C_i^{(Dr)}$ – «другие обеспечивающие затраты», включая «амортизацию помещений», использование систем отопления, кондиционирования воздуха и пр. (за год эксплуатации). Приводимые ниже оценки сделаны нами исходя из паспортных данных рассматриваемого и аналогичного МО; реалий использования ЕМО в Российских МУ. При этом мы учитывали такие

факторы: различия в количестве персонала, обслуживающего разные ЕМО; разницу в оплате персонала врачей и медсестер; возможность одновременной работы медперсонала с несколькими ЕМО; различия в фактических площадях помещений, занимаемых ЕМО (включая места размещения пациентов) и т.д.

При расчетах стоимостей сервисного обслуживания МО, эксплуатируемого в пределах паспортных (расчетных) продолжительностей эксплуатации, авторы руководствовались типичными расценками, приведенными в таблице 1. Если МО эксплуатируется за пределами расчетных сроков, то эти нормативы значительно увеличиваются.

Таблица 1

**Типичные стоимости ежегодного сервисного обслуживания МО
с учетом расходных материалов и комплектующих
(в процентах от покупных стоимостей ЕМО) – для исправной техники,
которая еще не выработала эксплуатационный ресурс**

Стоимость ЕМО (млн руб.)	До 0,5	От 0,5 до 1	От 1 до 2	От 2 до 3	Более 3
% от стоимости ЕМО	10	5	2	1	0.5

Авторы считали, что стоимость сервисного обслуживания за первый год включена в гарантийные обязательства (которые уже заложены в продажную цену ЕМО). Поэтому эта стоимость не учитывалась.

При расчетах «других обеспечивающих затрат» авторы ориентировались на типичные стоимости аренды 1м² помещений (включая отопление, освещение, вывоз мусора, расходы на охрану зданий и пр.), по которым коммерческие МУ могут получать в пользование помещения на первых этажах зданий в г. Астрахани (700 руб. за м² в месяц). В отношении себестоимости владения МУ производственными площадями эта величина завышенная, т.к. в стоимость аренды закладываются налоги, уплачиваемые арендодателями и их доходы. Поэтому прием для МУ усредненную себестоимость владения 1м² равной 500 руб. / за месяц/

Для таблицы 2 были выбраны типичные ЕМО разного назначения: **1** – рентгеновская система Siemens AXIOM Iconos 200; **2** – рентгеновский компьютерный томограф Siemens Sensation 16; **3** – ультразвуковой сканер Philips iU 22; **4** – аквадистиллятор электрический ДЭ-4М; **5** – камера дезинфекционная ВФЭ-2/09; **6** – электрокардиограф 3-канальный ЭКЗТ-01; **7** – аппарат УВЧ-60. Для позиций 1–3 данные по стоимостям взяты с сайта <http://radio-med.ru/>; для позиций 4–7 (по стоимости и мощности) – с сайта www.slavmed.ru. Даты обращения в обоих случаях 01.07.2015.

Таблица 2

**Сравнение долей затрат на непосредственное энергообеспечение работы
различных типов ЕМО в общей стоимости владения ими**

№	$Z_i^{(Buy)}$ (тыс. руб.)	P_i (лет)	μ_i	M (Вт)	$Z_i^{(ЭР)}$ тыс. руб.	$C_i^{(Per)}$ тыс. руб.	$C_i^{(SO)}$ тыс. руб.	$C_i^{(Dr)}$ тыс. руб.	$C_i^{(Bл.)}$ тыс. руб.	D_i (%)
						За год эксплуатации				
1	2150,5	10	0,45	2000	70,1	130	21,5	50	9721	1,75
2	14950	10	0,5	4000	280,5	380	149,5	100	11431	1,34
3	5600	10	0,25	800	84,2	234	56	50	11984	0,98
4	23,7	5	0,4	3000	315,6	20	2,37	5	494,3	69,9
5	119	5	0,2	10000	2103,8	30	11,9	10	2612,8	86,7
6	25,9	5	0,1	10	0,35	35	2,59	1	286,3	0,16
7	45,0	5	0,15	250	17,5	27	4,5	2	352,5	7,86

Высокие доли затрат на энергообеспечение характерны для большинства видов дезинфекционного (стерилизационного) оборудования – это говорит о приоритетности решения для них задач обеспечения ЭЭ. Для высокотехнологичного МО, несмотря на достаточно высокое энергопотребление, эти доли невысоки – из-за более высокой покупной стоимости; значительных затрат на оплату персонала, сервисное обслуживание и пр. Для физиотерапевтического оборудования доли затраты на энергообеспечение могут составлять от нескольких процентов до нескольких десятков процентов – для ИК-облучателей, электросаун и пр.

Показатели для количественной оценки энергозатрат и энергоэффективности деятельности медучреждений. В общем случае оценки ЭЭ возможны для следующих целей: сравнение показателей работы МУ, сопоставимых по направлениям и / или объемам деятельности; контроль изменения ЭЭ работы одних и тех же МУ во времени – как в различные периоды года, так и за ряд лет; оценка ЭЭ деятельности системы здравоохранения регионов и ее изменения во времени.

Оценки ЭЭ деятельности МУ могут делаться на основе энергетических и стоимостных (рублей) единиц. В первом случае целесообразно «приведение» всех видов потребляемых ЭР к Джоулям. Калории потребленной тепловой энергии переводятся в джоули с коэффициентом 4,1868; киловатт-часы использованной электроэнергии – с коэффициентом 3.6×10^6 . Для ЭН перевод их массы в энергетические единицы принято осуществлять с учетом «теплотворной способности». По данным, взятым 01.06.2015 с сайта <http://www.ecoles-nn.ru/tablitisa-teplotvornosti/>, 1 кг автомобильного бензина «соответствует» 44×10^6 Дж; мазута – 40.6×10^6 Дж; дизтоплива (солярки) – 43.12×10^6 Дж; природного газа (сжиженного) – 45.2×10^6 Дж; угля каменного (влажность 100 %) – 27.0×10^6 Дж; торфобрикетов (влажность 15 %) – 17.58×10^6 Дж; высушенной древесины (влажность 20 %) – 14.24×10^6 Дж; щепы – 10.93×10^6 Дж.

Подчеркнем, что «извлечение» из энергии из ЭН требует затрат на строительство / эксплуатацию сооружений, использование оборудования, зарплату персонала, на «экологические платежи» и пр. В общем случае стоимостные оценки ЭР должны учитывать различия в ценах для видов энергии и / или ЭН; изменения цен во времени (под влиянием факторов рыночной конъюнктуры); инфляционные поправки (например, на основе использования коэффициентов дисконтирования). В таблице 3 дана сводка округленных данных по потреблению ЭР ГБУЗ АМОКБ в 2014 г.

Таблица 3

Характеристика объемов потребления ЭР и расходов на них ГБУЗ АМОКБ в 2014 г.

Вид ЭР	ВСЕГО	Электро- энергия	Тепловая энергия	ГСМ (бензин и дизтопливо)
Тыс. кВт-часов		7231		
Гигакалорий			10824	
Тыс. литров				75
Энергия в Джоулях	$7,38 \times 10^{13}$	$2,60 \times 10^{13}$	$4,53 \times 10^{13}$	$0,25 \times 10^{13}$
% от «энергии в Джоулях»	100	35,25	61,37	3,38
Затраты на ЭР (млн руб.)	47,56	29,26	15,53	2,78
% от затрат на ЭР	100	61,52	32,65	5,83

Примечания. 1. Тепловая энергия включает в себя горячее водоснабжение. 2. В общем объеме потребления ГСМ, выраженного в «литрах», доля бензина (марок 92 и 95) составила 80 %. 3. Природный газ в АМОКБ в 2014 г. не применялся.

Отметим, что для электрической и тепловой энергии доли «в джоулях» принципиально отличаются от долей оплаты (руб.) за эти ЭР.

В дальнейших расчетах мы будем использовать суммарный показатель затрат (47,56 млн руб.), что соответствует примерно 5 % общей суммы расходов АМОКБ за 2014 г. Однако эта доля будет значительно выше, если добавить обеспечивающие затраты на поддержание работоспособности инженерных коммуникаций (по электрической и тепловой энергии) на территории АМОКБ и в зданиях; стоимость осветительного оборудования, приборов учета и пр.; зарплату сервисного персонала и пр.

Потребление электроэнергии имело максимум в 920 тыс. кВт-часов в январе 2014 г – из-за повышенных энергозатрат на освещение и отопление. Два локальных минимума (апрель – 470 тыс. кВт-часов и октябрь – 442 тыс. кВт-часов) связаны с периодами, когда энергозатраты на кондиционирование воздуха, освещение и нагрев помещений были малы.

Типичный ежемесячный расход ТЭ (включая горячее водоснабжение) составлял зимой порядка 2200 Гкал, а летом – 170 Гкал.

При оценках ЭЭ МУ целесообразна нормировка абсолютных значений «количества израсходованных ЭР» и «затрат, обеспечивающих получение этих ЭР» на различные величины.

При нормировке на общее количество сотрудников МУ имеем: $R_{\text{cot}}^{(\text{Э})}$ – суммарный расход ЭР на одного сотрудника МУ (джоулей / год) и $R_{\text{cot}}^{(\text{ден})}$ – затраты на все виды ЭР в расчете на одного сотрудника МУ (тыс. руб. / год):

$$R_{\text{cot}}^{(\text{ЭР})} = V^{(\text{Э})} / N_{\text{cot}} \text{ и } R_{\text{cot}}^{(\text{ден})} = V^{(\text{ден})} / N_{\text{cot}}, \quad (5)$$

где $V^{(\text{Э})}$ – суммарный объем ЭР (в джоулях), израсходованный МУ за год; N_{cot} – средняя численность сотрудников МУ за год; $V^{(\text{ден})}$ – суммарный объем денежных средств, израсходованных за год на получение ЭР. Для АМОКБ при среднегодовой численности сотрудников в 2735 чел. (здесь и далее за 2014 г.) эти показатели составили: $R_{\text{cot}}^{(\text{ЭР})} = 27 \times 10^9$ Дж / сотрудника; $R_{\text{cot}}^{(\text{ден})} = 17390$ руб. / сотрудника.

При нормировке на количество только медперсонала в АМОКБ получаем показатели: $R_{\text{медп}}^{(\text{ЭР})}$ – суммарный расход ЭР на одного медработника МУ [джоулей / год]; $R_{\text{медп}}^{(\text{ден})}$ – затраты на все виды ЭР в расчете на одного медработника [тыс. руб. / год]. Для АМОКБ при количестве медперсонала в 1495 чел. эти показатели составили $R_{\text{медп}}^{(\text{ЭР})} = 49,4 \times 10^9$ Дж / медработника; $R_{\text{медп}}^{(\text{ден})} = 31810$ руб. / медработника.

При нормировке энергопотребления только на количество врачей в МУ (для АМОКБ – 557) будем иметь соответственно пару показателей $R_{\text{врач}}^{(\text{ЭР})} = 132,59 \times 10^9$ Дж / медработника и $R_{\text{врач}}^{(\text{ден})} = 85390$ руб. / медработника.

Однако часть персонала МУ (в т.ч. и врачи) могут в порядке внутреннего совместительства работать более чем на одну ставку. Тогда целесообразна нормировка на «количество ставок», а не на фактическое количество персонала. При этом аналогами последних шести показателей будут соответственно $R_{\text{cot_c}}^{(\text{Э})}$, $R_{\text{cot_c}}^{(\text{ден})}$, $R_{\text{медп_c}}^{(\text{Э})}$, $R_{\text{медп_c}}^{(\text{ден})}$, $R_{\text{врач_c}}^{(\text{Э})}$, $R_{\text{врач_c}}^{(\text{ден})}$, где последний символ нижнего индекса («с») указывает на количество ставок. Для АМОКБ при среднегодовых количествах ставок «всего», «медперсонала» и «врачей» в 2471, 1432 и 540 единиц имеем соответственно: $R_{\text{cot_c}}^{(\text{Э})} = R_{\text{cot}}^{(\text{ЭР})} = 29,89 \times 10^9$ Дж / ставку, $R_{\text{cot_c}}^{(\text{ден})} = 19250$ руб. / ставку, $R_{\text{медп_c}}^{(\text{Э})} = 51,57 \times 10^9$ Дж / ставку, $R_{\text{медп_c}}^{(\text{ден})} = 33210$ руб. / ставку, $R_{\text{врач_c}}^{(\text{Э})} = 136,76 \times 10^9$ Дж / ставку, $R_{\text{врач_c}}^{(\text{ден})} = 88070$ руб. / ставку.

Еще одним вариантом может быть нормировка энергопотребления на величины отапливаемых производственных площадей зданий МУ (для них обычно осуществляется также кондиционирование воздуха и освещение). В этом случае имеем показатели: $R_{от_плоч}^{(\varepsilon)}$ (с размерностью «Джоуль / (кв. метр × год)») и $R_{от_плоч}^{(ден)}$ (размерность – «рублей / (кв. метр × год)»). Для АМОКБ $R_{от_плоч}^{(\varepsilon)} = 1.18 \times 10^9$ Дж / м² и $R_{от_плоч}^{(ден)} = 760$ руб. / м². Аналогичные показатели для территории АМОКБ составляют 0.73×10^9 Дж / м² и 470 руб. / м².

Для чисто стационарных МУ при нормировке потребления ЭР на «количество коек» получаем пару показателей $R_{койка}^{(\varepsilon)}$ (с размерностью [джоуль / (койка × год)]) и $R_{койка}^{(ден)}$ (с размерностью [тыс. рублей / (койка × год)]). Для АМОКБ при общем количестве 1241 койка имеем $R_{койка}^{(\varepsilon)} = 59.51 \times 10^9$ Дж / (койку × год); $R_{койка}^{(ден)} = 38320$ руб. / (койку × год).

На практике использование коек может отличаться от 100 % по отношению к нормативному (для АМОКБ при технологическом нормативе использования коек в 332 дня в год их фактическое использование в 2014 г. составило 102,5 %). Тогда вместо «фактического количества коек» (K) лучше использовать приведенный показатель:

$$K^{(прив)} = \lambda K, \quad (6)$$

где λ – коэффициент использования коечного фонда (доля от «1» – в данном случае 1,025). При нормировке на «приведенное количество коек» вместо двух последних показателей будем иметь соответственно $R_{койка_пр}^{(\varepsilon)} = 58,06 \times 10^9$ Дж/(прив.койку × год) и $R_{койка_пр}^{(ден)} = 37390$ руб. / (прив. койку × год).

Еще одним вариантом может быть нормирование на суммарное количество «койко-дней» ($S_{к-д}$), которые были использованы в стационарном МУ за год для «пролечивания» пациентов. В этом случае имеем показатели $R_{к-д}^{(\varepsilon)}$ с размерностью [джоуль / (койко-день)] и $R_{к-д}^{(ден)}$ с размерностью [тыс. рублей / (койко-день)] в виде:

$$R_{к-д}^{(\varepsilon)} = V^{(\varepsilon)} / S_{к-д} \quad \text{и} \quad R_{к-д}^{(ден)} = V^{(ден)} / S_{к-д}, \quad (7)$$

где величины « R » соответствуют объемам использованных ресурсов. Для АМОКБ за 2014 г. при общем объеме обслуживания стационарных пациентов в 413257 койко-дней эти показатели составили $R_{к-д}^{(\varepsilon)} = 0.179 \times 10^9$ Дж / (койко-день); $R_{к-д}^{(ден)} = 115$ руб. / (койко-день).

Нормированию расходов на энергоресурсы (только!) на количество «пролеченных» за год стационарных пациентов (СП) или, точнее, «случаев», т.к. один и тот же пациент может «пролечиваться» за год неоднократно, (ε) соответствуют показатели:

$$R_{случ.}^{(\varepsilon)} = V^{(\varepsilon)} / \varepsilon \quad \text{и} \quad R_{случ.}^{(ден)} = V^{(ден)} / \varepsilon. \quad (8)$$

Для АМОКБ при $\varepsilon = 43160$ имеем $R_{нац}^{(\varepsilon)} = 1,71 \times 10^9$ Дж / случай; $R_{нац}^{(ден)} = 1100$ руб. / случай. Эти показатели косвенно учитывают и качество / эффективность лечения, т.к. недостатки в реализации медицинских технологий могут приводить удлинению сроков нахождения пациентов в стационарах. Подчеркнем, что для АМОКБ приведенные показатели – завышенные, т.к. оценки сделаны без учета обслуживания амбулаторных пациентов.

Для чисто амбулаторных МУ с целью оценки ЭЭ при нормировке на «количество посещений» пациентов будем иметь показатели $R_{чп}^{(\varepsilon)}$ с размерностью [джоуль / (человеко-посещение)] и $R_{чп}^{(ден)}$ [рублей / (человеко-посещение)]. В стационарных МУ, имеющих амбулаторные отделения (например, клиничко-диагностические центры, обслуживающие и амбулаторных больных) для оценок ЭЭ целесообразно осуществлять «приведение» количеств

обслуженных «амбулаторных пациентов» к количествам «стационарных пациентов». Пусть средняя продолжительность обслуживания амбулаторного пациента за «человеко-посещение» (ЧП) составляет β часов, а количество таких ЧП за год – Ω . Тогда «амбулаторных пациентов» при расчетах можно приближенно учесть как «добавку» (A) к количеству «койко-дней», использованных для «стационарных пациентов»:

$$A = (\beta / 24) \Omega. \quad (9)$$

В этом случае вместо (7) будем иметь:

$$R_{\kappa-\partial}^{(\partial P)} = V^{(\partial P)} / (S_{\kappa-\partial} + A) \quad \text{и} \quad R_{\kappa-\partial}^{(\partial \text{ден})} = V^{(\partial \text{ден})} / (S_{\kappa-\partial} + A). \quad (10)$$

Показатели в знаменателях этих формул будем трактовать как «приведенные количества койко-дней» (ПККД).

Для АМОКБ количество ЧП амбулаторных пациентов в 2014 г. составило 173611. Приняв для простоты среднюю продолжительность их пребывания в МУ равной 1 часу (это можно считать завышенной оценкой, т.к. прием осуществлялся по заранее составленному графику), имеем $A = 7234$. При средней продолжительности «пролечения» СП в 9,6 суток и $\beta = 1$ одно ЧП амбулаторным пациентом по энергозатратам примерно соответствует 0,0043 пролечения одного СП.

Для АМОКБ имеем $R_{\kappa-\partial}^{(\partial P)} = 0,175 \times 10^9$ Дж / ПККД; $R_{\kappa-\partial}^{(\partial \text{ден})} = 113,1$ руб. / ПККД.

Аналогичные подходы возможны и для модификации ряда других рассмотренных выше показателей. В частности, вместо $R_{\text{нац}}^{(\partial)}$ и $R_{\text{нац}}^{(\partial \text{ден})}$ по формуле (7) можно использовать показатели, соответствующие «приведенным» количествам пролеченных пациентов ($\varepsilon_{\text{прив}}$):

$$\varepsilon_{\text{прив}} = \varepsilon + (\beta / (24d)) \Omega, \quad (11)$$

где d – средняя продолжительность лечения (пребывания) «стационарных» пациентов (будем продолжать использовать термин «случай» – в МУ (дней). Для АМОКБ при $d = 9,6$ имеем $\varepsilon_{\text{прив}} = 43906,6$. Тогда для показателей:

$$R_{\text{случ-пр}}^{(\partial P)} = V^{(\partial P)} / \varepsilon_{\text{прив}} \quad \text{и} \quad R_{\text{случ-пр}}^{(\partial \text{ден})} = V^{(\partial \text{ден})} / \varepsilon_{\text{прив}} \quad (12)$$

имеем $R_{\text{случ-пр}}^{(\partial P)} = 1,68 \times 10^9$ Дж / (прив. случай); $R_{\text{нац-пр}}^{(\partial \text{ден})} = 1080$ руб. / (прив. случай).

Для станций скорой медицинской помощи (СМП) целесообразно нормирование энергозатрат на один факт обслуживания (выезд): $R_{\text{обсл}}^{(\partial)}$ [джоуль / обслуживание] и $R_{\text{обсл}}^{(\partial \text{ден})}$ [тыс. рублей / обслуживание]. По сравнению со стационарными и амбулаторными МУ выезд бригад СМП приводит к дополнительным расходам на моторное топливо, амортизацию автотранспорта и пр. За один «выезд» может (для уменьшения пробега автотранспорта) обслуживаться более одного пациента. С другой стороны, для СМП энергозатраты на использование МО и медицинские манипуляции малы.

Приведенные оценки для ГБУЗ АО АМОКБ за 2014 г. не учитывают, что на площадке МУ действует 18 базовых кафедр Астраханской государственной медицинской академии, потребляющих также ЭР.

Математическая модель для выбора оптимальных объемов потребления отдельных видов энергоресурсов. Пусть имеется J видов энергоресурсов, со стоимостями за «единицу ресурса» равными $\{\Theta_j\}_{j=1 \dots J}$. Для простоты мы далее не будем учитывать следующие факторы: зависимости стоимостей энергоресурсов от объемов их потребления; изменения стоимостей видов ЭР во времени; инфляционные поправки – в виде коэффициентов дисконтирования для затрат и положительных эффектов. Примем, что коэффициенты, определяющие

«используемую (извлекаемую) энергию» из единицы энергоресурса, равны $\{\omega_j\}_{j=1\dots J}$. Для электрической и тепловой энергии эти коэффициенты целесообразно принять безразмерными и равными «1». Для ЭН они имеют размерности [джоуль / кг] и будут ниже значений, соответствующих теплотворным способностям топлива, которые приведены в предыдущем разделе – из-за несовершенства технологических процессов извлечения энергии.

Будем считать, что помимо текущего (нулевого) варианта, в котором никакие меры не принимаются, возможны еще «Q» вариантов мер. Они будут приводить к изменению для МУ энергопотребления – суммарного или отдельных видов. Расчетный период для периода планирования примем в «T» лет, причем в разных вариантах принятие мер может соответствовать разным годам.

Для каждого из вариантов мер возможны положительные и отрицательные эффекты в отношении качества обслуживания пациентов, надежности технологического процесса медобслуживания и пр. Обозначим набор изменений величин этих эффектов по отношению к «нулевому» варианту как $[E_{q,t}]_{q=0\dots Q; t=1\dots T}$ (для «нулевого» варианта эти эффекты, естественно, нулевые). Кроме того, для отдельных вариантов мер могут быть необходимы дополнительные затраты (например, строительство собственной котельной, усиление теплоизоляции зданий, установка стеклопакетов и пр.) – для «адаптации» МУ к измененной структуре видов и объемов потребляемых ЭР. Обозначим матрицу этих затрат как $[\Psi_{q,t}]_{q=0\dots Q; t=1\dots T}$. Оптимальным вариантом выбора будет, очевидно:

$$\max_{q=0\dots Q} \left\{ \sum_{t=1}^T E_{q,t} - \sum_{t=1}^T \Psi_{q,t} - \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T (\theta_j W_{j,q,t}) \right\}, \quad (13)$$

где $W_{j,q,t}$ – объем потребления j-ого ЭР в t-ом году, соответствующий q-ому варианту выбора мер. Учет в (13) «нулевого» варианта (без принятия мер) обосновывается тем, что все рассматриваемые дополнительные варианты могут оказаться менее выгодными чем «нулевой».

Для всех учитываемых в (13) «1+Q» вариантов во все годы должны выполняться ограничения по общему количеству необходимой МУ энергии ($\Phi_t^{(\min-\Sigma)}$), получаемой по всем видам ЭР. Эти ограничения в общем случае индивидуальны для разных вариантов – в силу того, что принимаемые меры могут снижать общее энергопотребление:

$$\left[\sum_{j=1}^J (\omega_j W_{j,q,t}) \geq \Phi_{t,q}^{(\min-\Sigma)} \right]_{q=0\dots Q; t=1\dots T}. \quad (14)$$

Поскольку взаимозаменяемость ЭР обычно неполная, то необходимо также соблюдение ограничений по отдельным видам ЭР. В общем случае эти ограничения зависят от номера варианта мер и года, т.е. имеем матрицу $[\Phi_{q,j,t}^{(\min)}]_{j=1\dots J; q=0\dots Q; t=1\dots T}$. Поэтому должно выполняться:

$$[\omega_j W_{j,q,t} \geq \Phi_{q,j,t}^{(\min)}]_{j=1\dots J; q=0\dots Q; t=1\dots T}. \quad (15)$$

Рассмотренная модель позволяет учесть различные варианты изменения энергообеспечения МУ, включая меры по энергосбережению, строительство собственных котельных и пр. Обобщение модели по формулам (13) ... (15) возможно по различным направлениям – в т.ч. и с учетом ввода с течением времени в эксплуатацию новых зданий и, как следствие, объективного изменения потребностей МУ в ЭР.

Итак, сделаем **выводы**. 1. Уровни энергопотребления и ЭЭ являются важнейшими факторами, влияющими на показатели медико-экономической эффективности МУ; доступность и качество обслуживания пациентов. 2. Менеджмент ЭЭ деятельности МУ возможен путем сочетания различных юридических, организационно-административных и инженерно-технических решений. При этом особую важность имеют проектные решения в отношении зданий / сооружений МУ и инженерных коммуникаций на их территориях; управление режимами эксплуатации МО. 3. По результатам рассмотрения материала в статье предложен ряд конкретных мер по повышению ЭЭ деятельности МУ. 4. Для различных видов МО сравнены доли затрат на энергоресурсы в общих стоимостях владения ими. 5. Обоснована целесообразность использования набора показателей для количественной оценки ЭЭ работы МУ. Приведены примеры расчетов этих показателей для конкретного МУ. 6. Предложена математическая модель для оптимизации менеджмента ЭЭ деятельности МУ.

Список литературы

1. Акишкин В. Г., Брумштейн Ю. М., Захаров Д. А. Системный экономический анализ вопросов технической оснащенности медучреждений и эффективности использования в них оборудования / В. Г. Акишкин, Ю. М. Брумштейн, Д. А. Захаров // Экономика здравоохранения. – 2010. – № 151. – С. 52–58.
2. Артемова И. В. Энергоэффективность в условиях жары / И. В. Артемова // Советник бухгалтера бюджетной сферы. – 2013. – № 7 (127). – С. 68–82.
3. Брумштейн Ю. М. Анализ возможных подходов к оценке уровней оснащенности медоборудованием стационарных медучреждений / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Захаров, Ю. Ю. Аксенова // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – 2010. – № 11 (71). – С. 85–88.
4. Брумштейн Ю. М. Анализ и управление энергобезопасностью деятельности медицинских учреждений / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Захаров, И. А. Дюдиков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 1. – С. 44–58.
5. Брумштейн Ю. М. Интеллектуальные ресурсы региона: системный анализ компонентной структуры, подходов к оценкам, моделей динамики / Ю. М. Брумштейн // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – 2014. – № 12 (139). – С. 52–57.
6. Брумштейн Ю. М. Системный анализ направлений и особенностей информатизации сферы здравоохранения России / Ю. М. Брумштейн, Е. В. Скляренко, А. С. Мальвина, Ю. Ю. Аксенова, А. Б. Кузьмина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 4. – С. 73–86.
7. Бутузов В. А. Перспективы развития солнечного теплоснабжения в России / В. А. Бутузов // Энергосбережение. – 2013. – № 6. – С. 76–79.
8. Давыдянц Д. Е. К определению понятий «энергосбережение» и «энергоэффективность» / Д. Е. Давыдянц, В. Е. Жидков, Л. В. Зубова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9, часть 6. – С. 1294–1296.
9. Давыдянц Д. Е. Энергосбережение и энергоэффективность в организациях: факторы, методическое обеспечение анализа / Д. Е. Давыдянц, В. Е. Жидков, И. Ю. Бринк, В. С. Ядыкин, Э. Ю. Джантотаева, В. Ф. Кривокрысенко, Ю. И. Шейченко, А. В. Жидков. – Москва – Ставрополь : Миракль ; Ставролит, 2013 – 40 с.
10. Ефремова Л. И. Роль информационных технологий в энергосбережении / Л. И. Ефремова // Проблемы современной экономики. – 2012. – № 6. – С. 120–124.
11. Кандырин Ю. В. Многокритериальное структурирование альтернатив в автоматизированных системах выбора / Ю. В. Кандырин, Л. Т. Сазонова, Г. Л. Шкурина, А. Д. Чивилев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 1. – С. 23–33.
12. Кишкина И. С. Договор энергоснабжения на розничном рынке / И. С. Кишкина // Законодательство. – 2006. – № 9. – С. 39–44.
13. Китаев Д. Н. Современные отопительные приборы и система теплоснабжения / Д. Н. Китаев, Т. В. Щукина // Энергосбережение. – 2012. – № 6. – С. 59–62.

14. Мальвина А. С. Автоматизация, диспетчеризация и информатизация высокотехнологичных медучреждений как средство повышения эффективности их работы / А. С. Мальвина, Ю. М. Брумштейн, Е. В. Складенко, А. Б. Кузьмина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 1. – С. 122–138.
15. Мингалеева Р. Д. Оценка технического потенциала ветровой и солнечной энергетики России / Р. Д. Мингалеева, В. С. Зайцев, В. В. Бессель // Территория Нефтегаз. – 2014. – № 3. – С. 84–92.
16. Мошин А. Ю. Экономико-математическая модель потребителя электроэнергии в условиях альтернативной энергетики / А. Ю. Мошин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2010. – № 7–8. – С. 63–72.
17. Наумов А. Л. Преобладающим источником теплоснабжения для коттеджей остаются индивидуальные котлы / А. Л. Наумов // Энергосбережение. – 2013. – № 6. – С. 30–33.
18. Панчук Н. Н. Энергоэффективность зеленых крыш в архитектуре городов / Н. Н. Панчук, А. С. Мелехина // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2014. – № 1. – С. 151–156.
19. Российская Федерация. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации от 23.11.2009 : федеральный закон № 261-ФЗ : [принят Государственной Думой 11 ноября 2009 г. ; одобрен Советом Федерации 18 ноября 2009 г.] // КонсультантПлюс. – Режим доступа: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=182747>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
20. Савин В. К. Архитектура и энергоэффективность зданий / В. К. Савин, Н. В. Савина // Градостроительство. – 2013. – № 1 (23). – С. 82–84.
21. Табунщиков Ю. А. Энергоэффективность зданий и сооружений. Новые своды правил / Ю. А. Табунщиков, Ю. В. Миллер // Энергосбережение. – 2013. – № 5. – С. 21–25.
22. Темукеев Т. Б. Энергоэффективность и экономическая целесообразность внедрения поквартирных систем отопления / Т. Б. Темукеев, А. М. Абитов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – № 3. – С. 100–107.
23. Фоменко Е. А. Использование тепловизоров при проведении энергоаудита / Е. А. Фоменко // Энергосбережение. – 2012. – № 5. – С. 59–63.
24. Щукина Т. В. Преобразование солнечной энергии для производства холода / Т. В. Щукина // Энергосбережение. – 2012. – № 5. – С. 64–68.
25. Якубсон В. М. Энергоэффективность ограждающих конструкций зданий / В. М. Якубсон // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – № 8 (52). – С. 5–8.
26. Shuqin C. Энергопотребление зданий: методы анализа / C. Shuqin, Y. Hiroshi // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2015. – № 1. – С. 56–63.

References

1. Akishkin V. G., Brumshteyn Yu. M., Zakharov D. A. Sistemnyy ekonomicheskiy analiz voprosov tekhnicheskoy osnashchennosti meduchrezhdeniy i effektivnosti ispolzovaniya v nikh oborudovaniya [The system economic analysis of questions of technical equipment of medical institutions and efficiency of use of the equipment in them]. *Ekonomika zdavookhraneniya* [Health Care Economics], 2010, no. 151, pp. 52–58.
2. Artemova I. V. Energoeffektivnost v usloviyakh zhary [Power efficiency in a heat]. *Sovetnik bukhgaltera byudzhetoyn sfery* [The Adviser of the Accountant of the Budgetary Sphere], 2013, no. 7 (127), pp. 68–82.
3. Brumshteyn Yu. M., Zakharov D. A., Aksenova Yu. Yu. Analiz vozmozhnykh podkhodov k otsenke urovney osnashchennosti medoborudovaniem statsionarnykh meduchrezhdeniy [Analysis of possible approaches to an assessment of levels of equipment by medical equipment of stationary medical institutions]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser. Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh* [News of Volgograd State Technical University. Series. Actual Problems of Management, Computer Facilities and Informatics in Technical Systems], 2010, no. 11 (71), pp. 85–88.

4. Brumshteyn Yu. M., Zakharov D. A., Dyudikov I. A. Analiz i upravlenie energobezopasnostyu deyatelnosti meditsinskikh uchrezhdeniy [Analysis and management of power safety of medical institutions activity]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 1, pp.44–58.

5. Brumshteyn Yu. M. Intellekturnye resursy regiona: sistemnyy analiz komponentnoy struktury, podkhodov k otsenkam, modeley dinamiki [Intellectual resources of the region: the system analysis of component structure, approaches to estimates, dynamics models]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser. Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh* [News of Volgograd State Technical University. Series. Actual Problems of Management, Computer Facilities and Informatics in Technical Systems], 2014, no. 12 (139), pp. 52–57.

6. Brumshteyn Yu. M., Sklyarenko Ye. V., Malvina A. S., Aksenova Yu. Yu., Kuzmina A. B. Sistemnyy analiz napravleniy i osobennostey informatizatsii sfery zdravookhraneniya Rossii [System analysis of the directions and features of informatization of health sector of Russia]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 4, pp. 73–86.

7. Butuzov V. A. Perspektivy razvitiya solnechnogo teplosnabzheniya v Rossii [Prospects of development of solar heat supply in Russia]. *Energoberezhenie* [Energy Saving], 2013, no. 6, pp.76–79.

8. Davydyants D. Ye., Zhidkov V. Ye., Zubova L. V. K opredeleniyu ponyatiy «energoberezhenie» i «energoeffektivnost» [To definition of the concepts «energy saving» and «energy efficiency»]. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental Research], 2014, no. 9, part 6, pp. 1294–1296.

9. Davydyants D. Ye., Zhidkov V. Ye., Brink I. Yu., Yadykin V. S., Dzhantotaeva E. Yu., Krivokrysenko V. F., Sheychenko Yu. I., Zhidkov A. V. *Energoberezhenie i energoeffektivnost v oragizatsiyakh: faktory, metodicheskoe obespechenie analiza* [Energy saving and energy efficiency in the organizations: factors, methodical providing analysis], Moscow – Stavropol, Mirakl Publ., Stavrolit Publ., 2013. 40 p.

10. Yefremova L. I. Rol informatsionnykh tekhnologiy v energoberezhenii [Role of information technologies in energy saving]. *Problemy sovremennoy ekonomiki* [Problems of Modern Economics], 2012, no. 6, pp. 120–124.

11. Kandyrin Yu. V., Sazonova L. T., Shkurina G. L., Chivilev A. D. Mnogokriterialnoe strukturirovanie alternativ v avtomatizirovannykh sistemakh vybora [Multicriteria structuring of alternatives in automated choice systems]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 1, pp. 23–33.

12. Kishkina I. S. Dogovor energosnabzheniya na roznicnom rynke [Contract of power supply at the retail market]. *Zakonodatel'stvo* [Legislation], 2006, no. 9, pp. 39–44.

13. Kitaev D. N., Shchukina T. V. Sovremennyye otopitelnye pribory i sistema teplosnabzheniya [Modern heating devices and system of heat supply]. *Energoberezhenie* [Energy Saving], 2012, no. 6, pp. 59–62.

14. Malvina A. S., Brumshteyn Yu. M., Sklyarenko Ye. V., Kuzmina A. B. Avtomatizatsiya, dispatcherizatsiya i informatizatsiya vysokotekhnologichnykh meduchrezhdeniy kak sredstvo povysheniya effektivnosti ikh raboty [Automation, scheduling and informatization of hi-tech medical institutions as means of increase of efficiency of their work]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 1, pp. 122–138.

15. Mingaleeva R. D., Zaytsev V. S., Bessel V. V. Otsenka tekhnicheskogo potentsiala vetrovoy i solnechnoy energetiki Rossii [Assessment of technical potential of wind and solar power industry of Russia]. *Territoriya Neftegaz* [Oil and Gas Territory], 2014, no. 3, pp. 84–92.

16. Moshin A. Yu. Ekonomiko-matematicheskaya model potrebitelya elektroenergii v usloviyakh alternativnoy energetiki [Economic and mathematical model of electric power consumer in the conditions of alternative power engineering]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki* [News of Higher Educational Institutions. Power Problems], 2010, no. 7–8, pp. 63–72.

17. Naumov A. L. Preobladayushchim istochnikom teplosnabzheniya dlya kottedzhey ostayutsya individualnye kotly [The prevailing heat supply source for cottages are individual coppers]. *Energoberezhenie* [Energy Saving], 2013, no. 6, pp. 30–33.

18. Panchuk N. N., Melekhina A. S. Energoeffektivnost zelenykh krysh v arkhitekture gorodov [Energy efficiency of green roofs in city architecture]. *Dalniy Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa* [The Far East: Problems of Architectural and Construction Complex Development], 2014, no. 1, pp. 151–156.

19. Russian Federation. About energy saving and about increase of power efficiency and about modification of separate acts of the Russian Federation of November 23, 2009. The Federal Law no. 261-FZ. Adopted by the State Duma on November 11, 2009. Adopted by the State Duma on November 18, 2009. Available at: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=182747>.
20. Savin V. K., Savina N. V. Arkhitektura i energoeffektivnost zdaniy [Arkhitektura and energy efficiency of buildings]. *Gradostroitelstvo* [Town Planning], 2013, no. 1 (23), pp. 82–84.
21. Tabunshchikov Yu. A., Miller Yu. V. Energoeffektivnost zdaniy i sooruzheniy. Novye svody pravil [Energy efficiency of buildings and constructions. New sets of rules]. *Energoberezhenie* [Energy Saving], 2013, no. 5, pp. 21–25.
22. Temukuev T. B., Abitov A. M. Energoeffektivnost i ekonomicheskaya tselesoobraznost vnedreniya pokvartirnykh sistem otopeniya [Energy efficiency and economic expediency of apartment heating systems introduction]. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of Russian Academy of Sciences], 2010, no. 3, pp. 100–107.
23. Fomenko Ye. A. Ispolzovanie teplovizorov pri provedenii energoaudita [Use of thermal imagers during energy audit carrying out]. *Energoberezhenie* [Energy Saving], 2012, no. 5, pp. 59–63.
24. Shchukina T. V. Preobrazovanie solnechnoy energii dlya proizvodstva kholoda [Transformation of solar energy for production of cold]. *Energoberezhenie* [Energy Saving], 2012, no. 5, pp. 64–68.
25. Yakubson V. M. Energoeffektivnost ograzhdayushchikh konstruktsiy zdaniy [Energy efficiency of protecting designs of buildings]. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal* [The Engineering and Construction Journal], 2014, no. 8 (52), pp. 5–8.
26. Shuqin C., Hiroshi Y. Energopotreblenie zdaniy: metody analiza [Energy consumption of buildings: analysis methods]. *AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitelnaya teplofizika* [AVOK: Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Construction Thermophysics], 2015, no. 1, pp. 56–63.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 681.518.3

КОНВЕРГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ СБОРА И РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА¹

Статья поступила в редакцию 22.07.2015, в окончательном варианте 23.08.2015.

Камаев Валерий Анатольевич, доктор технических наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет, 400131, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, тел. 89047704250, e-mail: Vkaмаev40@mail.ru

Финогеев Егор Алексеевич, аспирант, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, тел. 89374410714, e-mail: frzegor@yandex.ru

Финогеев Алексей Германович, доктор технических наук, профессор, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, тел. 98272899363, e-mail: alexeyfinoгееv@gmail.com

Нефедова Ирина Сергеевна, аспирант, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, тел. 89875059454, e-mail: nefedya2008@yandex.ru

Финогеев Антон Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, тел. 89270902350, e-mail: fanton3@ya.ru

В статье рассматриваются вопросы разработки и исследования конвергентной модели GRID, облачных (cloud computing) и туманных (fog computing) вычислений для аналитической обработки больших массивов неструктурированных сенсорных данных (BigSensorData). Такие данные собираются и обрабатываются, в частности, при мониторинге пространственно-распределенных объектов инженерных энергетических сетей; в рамках исследования процессов транспортировки энергии и энергоносителей и т.д. Основной концепцией предлагаемого подхода является сближение (конвергенция) различных моделей распределенной обработки данных: «туманных» вычислений – для обработки, нормализации и агрегирования сенсорных данных на уровне узлов сенсорной сети и/или промышленных контроллеров; модели GRID; «облачных» вычислений – для интеллектуального анализа агрегатов данных, накапливаемых в информационном хранилище диспетчерской SCADA системы. Реализация модели на первом уровне осуществляется в беспроводной среде посредством сенсорных узлов сети ZigBee, а также контроллеров приборов учета и контроля, которые связаны с модемами сетей сотовой связи. На такие узлы загружаются программные агенты, решающие несложные вычислительные задачи по первичной обработке и агрегации данных. На втором уровне агрегированные показатели передаются в Data центр для накопления в многомерном хранилище. На третьем уровне решаются задачи интеллектуального анализа и извлечения знаний в облачном кластере виртуализированной GRID системы. Кластер имеет трехкомпонентную структуру, включающую главный сервер с гипервизором; кластер рабочих серверов небольшой мощности; множество графических процессоров видеокарт с поддержкой технологии Compute Unified Device Architecture.

Ключевые слова: распределенные вычисления, облачные вычисления, GRID, туманные вычисления, энергетический мониторинг, энергоменеджмент, интеллектуальный анализ данных, беспроводная сенсорная сеть

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 15-37-50142, 15-07-01720, № 15-57-54033.

**CONVERGENT MODEL COLLECTION
AND DISTRIBUTED DATA PROCESSING
IN SYSTEMS OF ENERGY MONITORING**

Kamaev Valeriy A., D.Sc. (Engineering), Professor, Volgograd State Technical University, 28 Lenin Av., Volgograd, 400131, Russian Federation, ph. 89047704250, e-mail: Vkamaev40@mail.ru

Finogeev Yegor A., post-graduate student, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, ph. 89374410714, e-mail: frzegor@yandex.ru

Finogeev Aleksey G., D.Sc. (Engineering), Professor, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, ph. 98272899363, e-mail: alexeyfinogeev@gmail.com

Nefedova Irina S., post-graduate student, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, ph. 89875059454, e-mail: nefedya2008@yandex.ru

Finogeev Anton A., Ph.D. (Engineering), Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, ph. 89270902350, e-mail: fanton3@ya.ru

The questions of development and research of a converging model of the GRID, cloud and fog computing for analytical processing of large volumes of unstructured sensor data (BigSensorData) are considered. The model encouraged to build on the creation of monitoring systems spatially distributed objects energy networks and processes of energy transport and energy. The basic concept of the proposed approach is the convergence models of the organization distributed data processing. The fog computing model is used for the processing, normalization and aggregation of sensor data at the sensor network nodes and/or industrial controllers. GRID or cloud computing model is used for mining aggregates and integral indicators accumulated in the cloud storage dispatching SCADA system. Implementation of the first level model is carried out in a heterogeneous wireless environment including ZigBee sensor network nodes, as well as controllers of instrumentation and control equipment associated with modems cellular networks. The program agents are loading that perform simple computing tasks for the primary processing and data aggregation. The integrated indicators are transferred to the Data Center for accumulation in a multidimensional storage for the purpose of data mining and knowledge discovery of databases in computer clusters scalable virtualized GRID or cloud computing system. Computing cluster has three-tier architecture, which includes the main server at the first level, a cluster of servers SCADA system at the second level, a lot of GPU video card with support for Compute Unified Device Architecture at the third level.

Keywords: distributed computing, cloud computing, fog computing, GRID, energy monitoring, energy management, data mining, wireless sensor network

Введение. Повсеместное внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами выдвигает на первый план необходимость сбора и обработки большого объема телеметрических (сенсорных) данных с множества датчиков, располагающихся на объектах мониторинга. Эти данные необходимы для анализа / прогнозирования состояния и функционирования объектов, процессов и явлений техногенного и природного характера. Эффективность и качество управленческих решений в современных автоматизированных системах контроля и управления во многом зависят от следующих факторов: оперативности получения информации о контролируемых объектах и процессах; полноты и объективности анализа (обработки) этой информации; наглядности представления результатов обработки для систем поддержки принятия решений [12]. Однако эта проблематика недостаточно полно отражена в существующих работах. Поэтому целью данной статьи была попытка устранить указанный недостаток.

Общая характеристика проблематики статьи. В настоящее время наблюдается большой научный и прикладной интерес в отношении разработки и использования телекоммуникационных сенсорных сетей. Особое значение приобретает их применение для дистан-

ционного мониторинга различных объектов и процессов в природных, технических, экологических, медицинских, военных и прочих системах [13, 22, 28]. Наблюдается тенденция к вытеснению проводных телекоммуникаций беспроводными сетями в системах мониторинга пространственно-распределенных объектов. К ним относятся, в частности, инженерные сети энерго-, тепло-, водо- и газоснабжения, нефте- и газопроводы, телекоммуникационные сети и т.п. В таких сетях с большим количеством объектов, расположенных на огромных территориях, не всегда возможно реализовать полномасштабный сбор и передачу данных в единый диспетчерский центр для их обработки в режиме реального времени. Поэтому задача синтеза и исследования модели сбора информации на основе метода распределенных вычислений, реализуемых непосредственно на оконечных пунктах сбора данных, является актуальной. Это стало возможным лишь в последние годы – в связи с появлением и распространением технологий беспроводных сенсорных сетей с узлами, обладающими достаточной вычислительной мощностью и памятью для загрузки программных агентов, способных решать несложные задачи по обработке и агрегированию данных [20].

Для решения фундаментальных и прикладных задач в плане организации сбора, обработки и интеграции больших массивов сенсорных данных (BigSensorData) в процессе мониторинга распределенных объектов и процессов предлагается конвергентный подход к созданию модели распределенных вычислений. Такой подход включает в себя следующие направления: конвергенцию (сближение, схождение) существующих моделей GRID, облачных и туманных вычислений; объединение вычислительных кластеров (grid, облачных и туманных) в единую вычислительную систему; интеграцию серверных приложений бизнес-логики, операционных платформ, хранилищ данных и технологий виртуализации; унификацию механизма администрирования комплексной среды распределенных вычислений – с обеспечением информационной безопасности на всех уровнях обработки и хранения данных.

Исследованиями в области туманных и облачных вычислений занимается ряд научных групп, которые уже имеют интересные результаты в плане практического применения [14, 15, 19, 21]. Например, в университете Саутгэмптона (США) в рамках проекта FloodNet разработана интеллектуальная сенсорная сеть, обеспечивающая прогноз и предупреждение наводнений с использованием платформы туманных вычислений WiseNet. Другой проект (GlacsWeb) посвящен разработке системы облачного мониторинга ледниковой среды в плане прогноза поведения и движения ледников. Корпорация Intel занимается построением и внедрением гибридных моделей облачных вычислений, которые базируются на трех принципах: эффективность в плане энергопотребления и требуемого кадрового потенциала; простота создания вычислительного «облака»; безопасность платформы для снижения рисков и повышения устойчивости эксплуатации. Ведущие мировые компании IBM, Google, Toshiba, Cisco, Microsoft и др. предлагают свои решения по аналитической обработке больших объемов данных с использованием моделей облачных вычислений для следующих целей [17, 23, 26, 32]: поддержки работы энергетического сектора, здравоохранения; создания сервисов по безопасному хранению данных в рамках технологии повсеместного Интернета; межмашинной коммуникации и туманных вычислений с использованием широкого спектра устройств. Одним из направлений исследований в компаниях Toshiba и Cisco является синтез инфраструктуры распределенной обработки данных, полученных с множества распределенных датчиков – на основе архитектуры туманных вычислений для взаимодействия «умных» Интернет вещей [18]. Совместная разработка корпорации Toshiba Corporation и Cisco предполагает объединение инфраструктуры туманной вычислительной сети Cisco (Cisco Fog Computing network) с технологиями Toshiba Group в области управления конечными точками сети для слежения и обслуживания географически (территориально) удаленных многофункциональных устройств.

Мониторинг пространственно-распределенных объектов сетей инженерных коммуникаций для целей энергоменеджмента. Энергетический менеджмент (ЭМ) – это действующая система управления энергопотреблением, позволяющая прогнозировать и контролировать процессы выработки, транспортировки и использования необходимого количества энергоресурсов для обеспечения удовлетворения потребностей населения и промышленных предприятий [1, 4, 10]. Цель ЭМ – достижение экономической эффективности в плане оптимизации расходов на производство и транспортировку энергии до конечного потребителя; энергетической безопасности в плане предупреждения рисков, связанных с использованием автоматизированных систем контроля процессов энергоснабжения и энергопотребления [3]. Инфраструктура распределенных инженерных коммуникаций и служб энергоснабжения в городах и их отдельных районах относится к критически важным и потенциально опасным объектам. Разрушение или прекращение энергоснабжения даже отдельных ее элементов, таких как промышленные предприятия, здания и сооружения, социально-значимые объекты (больницы, школы, детские сады и т.п.), может привести к серьезным экономическим потерям; негативным социальным последствиям; снижению уровня безопасности жизнедеятельности населения; возникновению угроз для жизни граждан и т.д. В общем случае процесс ЭМ базируется на энергетическом мониторинге инфраструктурных объектов инженерных коммуникаций и различных ситуаций [27], прогнозе экономических, ресурсных, спросовых и ценовых тенденций [1].

Термин энергетический мониторинг используется здесь для описания процессов наблюдения и сбора данных с пространственно-распределенных объектов в области производства, транспортировки, распределения, потребления и утилизации энергоносителей (газа, воды, электрической энергии и тепла). Основной задачей энергетического мониторинга будем считать измерение и фиксацию параметров объектов городских инженерных коммуникаций жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) и энергетических процессов с целью оценки и прогнозирования производства и потребления энергии каждого из типов (видов); определения необходимых управляющих воздействий (мероприятий) – для повышения эффективности ЭМ [4]. Выявление, анализ и оценка природных, техногенных и антропогенных факторов, которые влияют или потенциально могут влиять на объекты и процессы, являются также важной задачей. Это позволит обеспечить раннее обнаружение возникновения аварийных и внештатных ситуаций; своевременное предупреждение персонала энергогенерирующих, энергоснабжающих предприятий и потребителей энергии; реализовать упреждающее управление рисками. Цель создания автоматизированной системы энергетического мониторинга, включающей подсистемы диспетчеризации и управления энергетическими ресурсами на базе конвергентной модели вычислений, – достижение энергетической результативности за счет повышения энергетической эффективности предприятий и организаций; снижения энергетических потерь при транспортировке энергоносителей; динамической оптимизации энергопотребления в общественных и жилых зданиях с учетом различных факторов.

Основные объекты энергетического мониторинга – сети инженерных коммуникаций, обеспечивающие жизнедеятельность населения, жилищно-коммунальных и промышленных предприятий. Перечислим виды таких сетей: сети внешнего (линии электропередач, подстанции и т.д.) и внутреннего электроснабжения зданий и сооружений; сети наружного освещения объектов городской инфраструктуры; сети внешнего и внутреннего теплоснабжения (городские и внутриквартальные теплосети, тепловые пункты, системы горячего водоснабжения и отопления зданий и сооружений); сети водоснабжения и канализации (природные источники водоснабжения, гидротехнические сооружения, водопроводные и канализационные очистные станции, коллекторы, насосные станции, внутриквартальные сети холодного водоснабжения, внутридомовые сети водоснабжения и канализации); сети газоснабже-

ния (газораспределительные пункты, газопроводы и т.п.); сети для транспортировки нефтепродуктов (распределительные и насосные станции, хранилища, нефтепроводы и т.п.); инженерные системы вентиляции и кондиционирования зданий и сооружений.

Система мониторинга должна обеспечивать решение следующих задач. (1) Сбор, обработка, анализ, хранение и передача информации о местоположении, параметрах состояния распределенных объектов и технологических процессов генерации, транспортировки, потребления и утилизации энергоносителей, о возникновении нештатных и аварийных ситуаций и т.п. [3]. (2) Информационная поддержка мероприятий по обеспечению безопасного функционирования инженерных коммуникаций и других объектов, технологических процессов генерации, транспортировки, потребления и утилизации энергоносителей, предупреждению и локализации кризисных (нештатных) ситуаций, а также ликвидации их последствий. (3) Синтез и анализ прогнозных моделей для интегральной оценки нештатных, аварийных и кризисных ситуаций в отношении распределенных объектов мониторинга и технологических процессов. (4) Прогнозы угроз населению, инженерным коммуникациям, объектам и технологическим процессам генерации, транспортировки, потребления и утилизации энергоносителей в зависимости от изменения состояния их защищенности под влиянием природных, техногенных и антропогенных факторов. (5) Сценарный анализ и оценка развития различных ситуаций на объектах мониторинга. (6) Ведение оперативных баз данных, облачного хранилища и витрин данных для хранения и обеспечения потенциальной доступности сенсорных данных, агрегатов и результатов мониторинга, вариантов управленческих решений по защите объектов, субъектов и технологических процессов. (7) Предоставление в установленном порядке административному персоналу информационных ресурсов системы мониторинга, обеспечение защиты этих ресурсов от несанкционированного доступа и других информационных угроз. (8) Формирование гетерогенной транспортной среды и единого информационного пространства системы мониторинга на основе унификации и совместимости информационных, программных и аппаратных средств. (9) Информационное обеспечение реализации договоров и соглашений в области мониторинга инженерных коммуникаций, технологических процессов генерации, транспортировки, потребления и утилизации энергоносителей и прочих объектов.

Результатом деятельности в сфере ЭМ является разработка (и последующая практическая реализация) перечня мероприятий, направленных на обеспечение оптимального и безаварийного функционирования сетей инженерных коммуникаций в городских системах генерации, транспортировки, потребления, учета и утилизации энергоресурсов. Эти мероприятия могут иметь следующие направления: повышение эффективности и оперативности работы диспетчерских служб; использование технологий энергосбережения на всех уровнях транспортировки и потребления энергоресурсов; минимизацию энергопотерь при транспортировке энергоресурсов в системах инженерных коммуникаций; оптимизацию энергопотребления конечными потребителями; внедрение технологий распределенного сбора и обработки данных в процессе мониторинга состояния инженерных коммуникаций и технологических процессов в системах теплоснабжения; предотвращение или снижение вероятностей возникновения нештатных ситуаций; оперативное реагирование на нештатные, аварийные и чрезвычайные ситуации, катастрофы природного и техногенного характера; своевременное обеспечение профилактических и ремонтных работ на инженерных системах; оптимизация выполнения взаимосвязанных расчетов между поставщиками энергоресурсов и потребителями [9] и т.д.

Обоснование необходимости разработки конвергентной модели распределенных вычислений для систем энергетического мониторинга. Ряд экономических факторов привел к появлению инфраструктур, представляющих программные и вычислительные средства в виде облачных (cloud) сервисов [14]. Такие сервисы обеспечивают большую эффективность использования приложений за счет ограничения капитальных вложений и снижения стоимости владения корпоративными информационными системами.

Можно выделить три основные модели организации распределенных вычислений: параллельные GRID вычисления; облачные вычисления (cloud computing); туманные вычисления (fog computing). GRID вычисления базируются на архитектуре компьютерных сетей, объединяющих отдельные вычислительные узлы. Организация вычислительного процесса предусматривает распределение (в том числе и динамическое) отдельных частей задания по свободным в данный момент вычислительным ресурсам сети. Такой подход используется для решения задач, слишком сложных для отдельно взятого узла.

Облачные вычисления (cloud computing) – это не только распределение заданий по сетевым узлам вычислительных ресурсов. Прежде всего, это модель предоставления повсеместного сетевого доступа к общему пулу конфигурируемых ресурсов (программных, серверных, информационных, платформенных и т.д.) в любой момент времени. Пользователь использует технологию «тонкого» клиента в качестве средства доступа к приложениям, платформам и данным, а вся инфраструктура информационной системы находится у провайдера облачных сервисов. Туманные вычисления — это виртуальная платформа распределенных вычислений и служб хранения информации на оконечных терминальных устройствах, а также сетевых служб передачи данных в центры сбора, хранения и обработки. Такие вычисления выполняются терминальными устройствами с ограниченными вычислительными и энергетическими ресурсами – в том числе контроллерами промышленного оборудования, микропроцессорами устройств бытовой техники, узлами сенсорных сетей.

Причинами разработки конвергентной модели распределенных вычислений являются существующие проблемы в плане информатизации процессов ЭМ, подробно рассмотренные в [11]. (1) «Непрозрачности» информации, которая связана с закрытостью форматов данных информационных систем (ИС) разных разработчиков, – это недопустимо для предприятий обслуживающих критически важные и потенциально опасные инженерные объекты и системы. (2) Рассогласованности данных и протоколов, что связано с использованием разными производителями проприетарных аппаратных и программных систем сбора, учета и обработки телеметрической информации. (3) Дублирования и «рассинхронизации» информации – одни и те же данные, необходимые для решения разных задач дублируются в различных базах данных (БД) ИС, зачастую в собственных форматах хранения – это приводит к необходимости решения задач их синхронизации и проверки достоверности. (4) Рассогласованности потоков данных, связанная с использованием разных сетевых технологий и телекоммуникационных решений. (5) Качественного учета данных в ИС для контроля энергоснабжения и энергопотребления [8] – эта проблема возникает из-за различий в отраслевой / ведомственной принадлежности предприятий электро-, тепло-, водо- и газоснабжения и отсутствия унифицированных систем мониторинга.

Для решения этих проблем предлагается использовать технологии облачного хранения, облачных и туманных вычислений – имея в виду объединение автоматизированных систем диспетчеризации городских служб энергоснабжения и энергопотребления. Например, проблема дублирования и рассинхронизации данных в БД разных служб решается за счет использования единого облачного информационного хранилища. Технология туманных вычислений позволит выполнять обработку данных в плане их очистки и приведения к общему формату. Это решит проблему рассогласованности данных и протоколов. Технология облачных вычислений поможет в решении проблемы непрозрачности данных в автоматизированных системах разных организаций.

Платформа туманных вычислений на базе беспроводной сенсорной сети. Первый уровень конвергентной модели вычислений целесообразно реализовать в виде платформы туманных вычислений (fog computing) [21] посредством программных агентов, интегрированных в узлы беспроводной сенсорной сети (БСС) и / или в промышленные контроллеры.

Для реализации платформы предлагается использовать БСС на основе технологии Zig-Bee. Сенсорный узел такой сети, как правило, имеет микроконтроллер с предустановленной ОС; флеш-память; интерфейс для получения данных с датчиков и приборов автоматики, учета и контроля; радиointерфейс для передачи данных и агрегатов через цепочку ретрансляторов на шлюз с сегментами центрального вычислительного кластера. В частности можно использовать сенсорные узлы компании Jennic с радиointерфейсом стандарта 802.15.4, программным обеспечением JenNet и операционной системой (ОС) JenOS. ОС использует протокол IP на сетевом уровне поверх протокола 802.15.4. Это позволяет обращаться к узлам сенсорной сети по запросам, передаваемым посредством IP-пакетов с IP адресацией через TCP-порт.

Терминальные вычислительные узлы распределены по периферии сети и обработка информации в них производится в режиме реального времени в процессе сбора данных [22]. Согласно модели туманных вычислений предполагается, что сенсорные узлы будут использоваться не только для сбора данных с датчиков и приборов промышленной автоматики, но и для их структурирования, агрегирования, шифрования и передачи в диспетчерский центр. При этом туманная обработка заключается в вычислении агрегированных энергетических показателей непосредственно в сетевых узлах. Затем эти показатели передаются для интеграции на следующем уровне модели сбора / обработки данных в «облачное» хранилище. Конечной целью является извлечение и интеллектуальный анализ информации в кластерах виртуализированной GRID-системы.

Использование единой телекоммуникационной среды для объединения сенсорных узлов сбора и обработки данных, распределенных на большой территории, приводит к рискам информационной безопасности. Отметим, в частности, угрозы распространения «промышленных» вирусов и троянских программ. Они могут дистанционно загружаться на контроллеры и сенсорные узлы БСС; мигрировать по промышленным сетям; выполнять определенные деструктивные действия. Фактически такая вирусная программа представляет собой программный агент, который не санкционировано расширяет функциональность «зараженных» устройств; заставляет их выполнять не свойственные им функции. Аналогичный подход может быть применен для создания системы интеллектуальных программных агентов, которые загружаются дистанционно на терминальные устройства и решают задачи накопления данных, вычисления агрегируемых показателей, свертки и т.п. Вычислительная мощность современных сенсорных узлов и контроллеров на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), ОС и программные прошивки позволяют существенно расширить функциональность узлов для выполнения достаточно сложных процедур по преобразованию и аналитической обработке сенсорных данных.

Перенос на сенсорные узлы ряда операций, связанных с обработкой первичных сенсорных данных в плане их очистки, нормализации, агрегирования, кластеризации и фильтрации, обеспечивает следующие положительные эффекты: снижение загруженности трафиком низкоскоростных сенсорных сетей – поскольку будут передаваться только агрегированные показатели за заданные интервалы времени (в формате, пригодном для загрузки в информационное хранилище); повышение времени автономной работы сети за счет снижения количества передач (объема трафика), требующих расхода энергии источников питания, размещенных в автономных узлах БСС; снижение нагрузки на серверные приложения в центральном вычислительном кластере; уменьшение длин очередей заданий к узлам вычислительного кластера от множества сенсорных узлов – так как часть функций по обработке данных будет распределена по узлам сети; уменьшение объема данных в информационном хранилище – за счет исключения загрузки в него агрегированных данных, дублирования данных; возможность перехода к обработке сенсорных данных в режиме реального времени; мониторинг работы промышленных контроллеров и датчиков непосредственно на терминальных узлах – путем реализации возможности удаленного доступа к агрегированным дан-

ным, функций журналирования событий и оповещения о критических состояниях на контролируемых объектах [2].

Пример архитектуры беспроводной транспортной среды для реализации модели туманных вычислений в процессе обработки больших сенсорных данных приведен на рисунке 1.

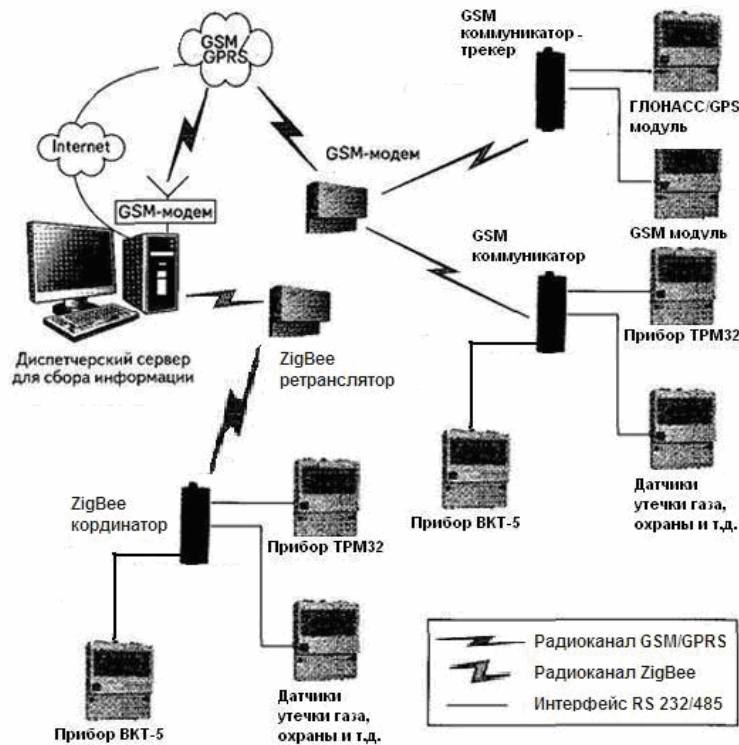


Рис. 1. Беспроводная транспортная среда для реализации модели туманных вычислений

Следует отметить, что инфраструктура гетерогенной сети [12, 13] позволяет не только выполнять мониторинг, анализировать оперативные и архивные показания приборов учета, но и передавать управляющие воздействия на исполнительные механизмы, что особенно важно учитывать в плане обеспечения ее информационной безопасности.

Гиперграфовое представление модели туманных вычислений. Гетерогенную среду конвергентных вычислений в аналитической форме можно представить в виде гиперграфовой модели с двумя подмножествами вершин и ребер; расширенным набором свойств:

$$G = (V(V_{\{x,y\}}^{id}, V_{\kappa}^{pa}), U(U_{const}^{id}, U_{var}), P).$$

В этой формуле подмножество вершин $V_{\{x,y\}}^{id}$ описывает сетевые узлы с весовыми (id) атрибутами, характеризующими вычислительные особенности контроллеров и координатами $\{x,y\}$ пространственно-распределенных узлов; подмножество вершин V_{κ}^{pa} определяет загружаемые программные агенты с атрибутами (pa), характеризующими параметры модулей, и атрибутами « κ », определяющими вычислительные функции; подмножество гиперребер U_{const}^{id} постоянной инцидентности описывает каналы передачи данных с весовыми (id) атрибутами; подмножество гиперребер U_{var} переменной инцидентности описывает виртуальные маршруты миграции загружаемых программных агентов на узлы и контроллеры; « P » – бинарный предикат, определяющий инцидентность вершин и гиперребер. В графической форме фрагмент кластерной сенсорной среды представлен на рисунке 2.

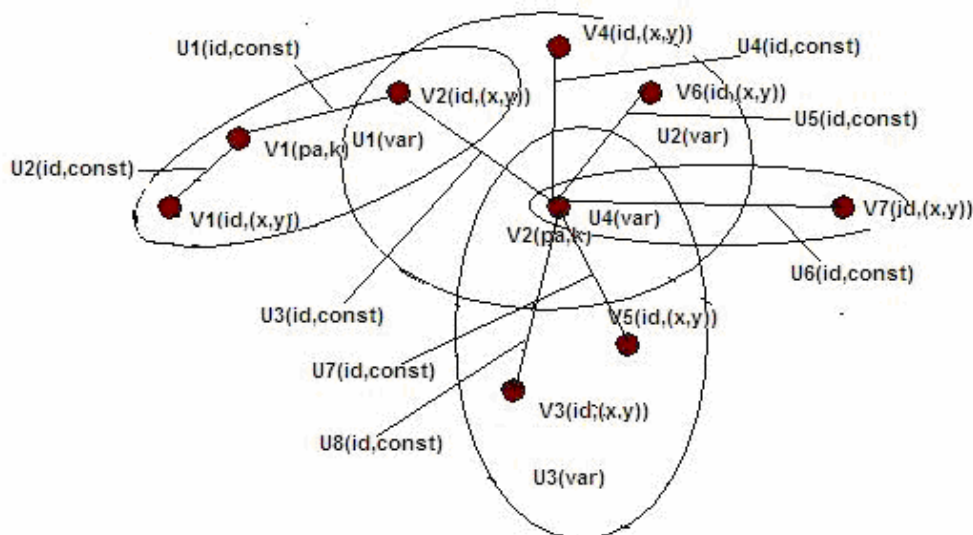


Рис. 2. Гиперграфовое представление модели туманных вычислений (фрагмент)

На этом рисунке вершинами $V_1(id,(x,y)) - V_7(id,(x,y))$ обозначены сенсорные узлы; $V_1(pa,k) - V_2(pa,k)$ – программные агенты; вырожденными гиперребрами $U_1(id,const) - U_8(id,const)$ отображены постоянные каналы передачи данных в сенсорном сегменте древовидной архитектуры; $U_1(var) - U_4(var)$ – виртуальные динамические маршруты миграции программных агентов. В случае использования сенсорной сети ячеистой архитектуры, когда существует несколько возможных маршрутов передачи данных, гиперребра $U_i(id,const)$ становятся классическими и включают множество вершин $V_i(id,(x,y))$.

Подмножество вершин $V_{\{x,y\}}^{id}$ определяет различные виды устройств – в том числе процессоры сенсорных узлов и контроллеры приборов автоматики, учета и контроля энергоносителей, а также разные операционные платформы и программные прошивки. Поэтому в этом подмножестве выделяются кластеры однотипных вершин, сгруппированных по вычислительной мощности и платформам. Они позволяют загружать агенты определенного класса, подмножество вершин которых V^{pa} разделено также на кластеры. Гиперребра постоянной инцидентности $U_{const}(a_1, \dots, a_n)$, где $n = const$, делятся на кластеры, объединяющие сегменты конкретной сетевой технологии. Гиперребра U_{var} объединяют подмножества вершин, моделирующих программные агенты, с подмножеством вершин, моделирующих конкретные типы контроллеров и сенсорных узлов, в которые они загружаются для выполнения вычислительных задач.

Особенности представленной гиперграфовой модели: множество гиперребер $U_{var}(b_1, \dots, b_m)$ является структурой, динамически изменяющейся в реальном времени; геопространственная привязка вершин, моделирующих узлы туманных вычислений, позволяет решать задачи пространственно-временного анализа миграционных процессов программных агентов при обработке данных.

Для семантического описания конвергентной инфраструктуры распределенных вычислений может быть использована реляционная модель атрибутивной БД. Вершине гиперграфа соответствует статическая запись с атрибутами конкретного объекта мониторинга и устройства обработки информации. Гиперребру U_{const} соответствует также статическая запись, а гиперребру U_{var} – динамически изменяющаяся запись.

Пусть сенсорные данные собираются и обрабатываются на i -ом узле сенсорной сети, а программный агент мигрирует по j -ому виртуальному маршруту с затратами энергии на его передачу q_i в течение заданного интервала времени. Каждый узел имеет запас энергии e_i для автономной работы и тратит энергию e_j на обработку данных j -ым программным аген-

том. Тогда время автономной работы узла с энергетическими затратами на миграцию агента и обработку данных можно определить как:

$$t_i = e_i / (\sum_{j \in N} (q_j) * \sum_{j \in M} (e_j)),$$

где: N – число маршрутов миграции агентов, M – число узлов обработки данных.

Общее время автономной работы сенсорного сегмента: $T_{\text{сег}} = \sum_{i \in N} (t_i(q_i))$.

Модель «облачных» вычислений для обработки сенсорных данных. Эта модель возникла, как развитие модели параллельных распределенных вычислений (GRID computing) [14]. Однако облачные сервисы включают не только распределение частей вычислительных задач, но и предоставление доступа к общим программным, информационным, аппаратным и сетевым ресурсам. Пользователи используют клиентские приложения в качестве средства доступа к информации, а вся инфраструктура ИС находится у специализированной компании, предоставляющей соответствующие сервисы.

В документе IEEE «ORGs for Scalable, Robust, Privacy-Friendly Client Cloud Computing» [24] облачная обработка данных определена как технология распределенных вычислений, в рамках которой информация хранится в облачном хранилище на серверах в сети Интернет и временно кэшируется на клиентской стороне для аналитической обработки. Национальным институтом стандартов и технологий США (NIST – National Institute of Standards and Technology) определены характеристики облачных технологий [16]: самообслуживание (пользователь определяет требования к вычислительным ресурсам); свободный доступ (пользователю предлагается повсеместный доступ к ресурсам сети передачи данных – вне зависимости от его окончательного устройства); пул ресурсов (провайдер облачного сервиса объединяет ресурсы в единый пул для динамического перераспределения мощностей в процессе обслуживания пользователей – с обеспечением масштабируемости услуг при изменении спроса); эластичность (услуги должны быть быстро и эластично предоставлены в автоматическом режиме в любой момент времени без дополнительных затрат на взаимодействие и могут меняться в зависимости от требований пользователя); учёт потребления и мониторинг (провайдер выполняет контроль, оценку и оптимизацию потребляемых пользователем ресурсов).

С позиций провайдера, облачные технологии позволяют использовать меньшие программно-аппаратные вычислительные ресурсы – за счет предоставления их в аренду пользователям на время использования сервиса [15]. С позиций пользователей преимущество «облачных» технологий – возможность получения услуг в любое время и в любом месте с вычислительных средств небольшой мощности – за счет использования «тонкого» клиента для доступа [30, 33].

Сегодня распространены три модели облачного сервиса. (1) Программное обеспечение как услуга (SaaS – Software-as-a-Service) – пользователь арендует прикладное ПО у провайдера и использует его через «тонкий» клиент независимо от аппаратной платформы. (2) Инфраструктура как услуга (IaaS – Infrastructure-as-a-Service) – пользователь применяет облачную инфраструктуру (виртуальный сервер и систему хранения данных) для управления вычислительными и информационными ресурсами. (3) Платформа как услуга (PaaS – Platform-as-a-Service) – пользователь применяет облачную платформу (кластер виртуальных серверов и средства создания, конфигурирования, тестирования и использования прикладного ПО) для создания и интеграции программного обеспечения. К указанным моделям могут добавляться и другие – например, данные как услуга (DaaS – Data as a service); коммуникации как услуга (Caas – Communication as a service) и т.д.

Для систем энергетики существуют требования безопасности, ограничивающие перенос SCADA систем энергетического мониторинга на облачную инфраструктуру, а также технологические и финансовые ограничения. Основной проблемой использования облачных технологий в этом случае является то, что клиентам требуется фактически вступить в доверительные отношения высокого уровня со сторонней организацией (сервис-провайдером), предоставив ему право

решать вопросы информационной безопасности. Такой подход не всегда оправдан, а в ряде случаев и совершенно невозможен – например, в случае мониторинга энергетических объектов, относящихся к критически важным и потенциально опасным объектам [3].

Структура системы распределенных вычислений на базе конвергентной модели. Архитектура системы, реализующей конвергентную модель распределенных вычислений, может включать пять программно-аппаратных уровней [6, 13].

1. Множество сенсорных узлов, связанных с датчиками и промышленными контроллерами, непосредственно реализующих туманные вычисления.
2. Координаторы кластерных сенсорных сегментов; модемы сотовой связи; ретранслирующие маршрутизаторы; центральные координаторы сети, осуществляющие сбор и доставку сенсорных данных и интегральных показателей в центральное информационное или «облачное» хранилище через шлюзы, связывающие сетевую транспортную среду с сегментами Internet/Intranet сетей.
3. Вычислительный кластер GRID или облачных вычислений.
4. Информационное («облачное») хранилище сенсорных данных, агрегированных показателей и результатов мониторинга.
5. Множество пользовательских устройств – для организации повсеместного доступа к вычислительным и информационным ресурсам системы [30, 33].

Для управления программными агентами, загружаемыми на узлы среды туманных вычислений, необходим сетевой гипервизор, способный консолидировать вычислительные ресурсы данной модели, представляя ее как многопроцессорную систему для распределенной обработки сенсорных данных. Программные агенты могут взаимодействовать с ОС сенсорных узлов, с программами сбора данных, с другими агентами и серверами центрального кластера. Агентный подход представляет собой модель вычислений, в которой понятие «агент» обозначает универсальный программный шаблон, предназначенный для параллельной обработки данных. Агент является вычислительной сущностью, которая отвечает на получаемые запросы, принимает решения по обработке данных, клонирует себя для миграции на другие вычислительные узлы в сети. Агенты посылают сообщения друг другу и центральному узлу, реагируют на сообщения от других агентов.

Особенностью модели агентов является реализация некоторого поведения. Оно определяется в виде математической функции, управляющей действиями по обработке сенсорных данных, а также действиями по определению нового поведения при условии возникновения ситуаций определенного рода (например, при выходе значений вычисляемых интегральных показателей за допустимые пределы). Миграцией агентов будем называть их способность дублировать самих себя и распространять свои копии на другие узлы сети. Безопасность функционирования агентов в БСС может быть обеспечена одним из следующих способов: предустановкой на этапе прошивки сенсорного узла (запрет процесса миграции); установкой и конфигурированием в процессе функционирования системы мониторинга – с помощью специализированного оборудования (миграция разрешена в ручном режиме); установкой с помощью гипервизора – через защищенные каналы связи (VPN сети); установкой в виде встраиваемых служб операционной платформы и проприетарных протоколов для сенсорных узлов и контроллеров от конкретного производителя – непосредственно на этапе их разработки; использованием стандартных средств информационной защиты, таких как применение цифровой подписи, цифровой сертификации и шифрования сообщений, которыми обмениваются агенты.

Для обеспечения информационного взаимодействия сенсорных сегментов через шлюзы с центральным вычислительным кластером в среде туманных вычислений предлагается также реализовать модель интеллектуальных брокеров. Брокером будем называть программный агент, разворачиваемый на маршрутизаторах сети и реализующий функции накопления,

защиты и передачи данных. В этом случае можно использовать специальный протокол обмена сообщениями MQTT (Message Query Telemetry Transport) [25], предназначенный для использования в сетях с минимумом энергетических и вычислительных ресурсов. Для интеграции агрегатов сенсорных данных в хранилище при помощи протокола MQTT требуется соединение с брокером или сервером обмена, поддерживающим протокол MQTT – например, с WebSphere Message Broker.

Сбор результатов туманных вычислений, поступающих из сенсорных сегментов ZigBee сети, осуществляется с помощью MQTT посредством брокера. Брокер загружается в шлюз с сетью вычислительного кластера, который обеспечивает взаимодействие протокольного стека серии ZigBee и MQTT-клиента. В качестве шлюза, в который загружается брокер, выступает центральный координатор сенсорной сети ZigBee или модемное устройство сбора данных от оконечных узлов через сеть сотовой связи. Функциями брокера являются обработка сенсорных данных и агрегатов, поступающих в координатор; преобразование кадров с данной информацией для интеграции в информационное хранилище; защита данных путем шифрования [6]; поддержка алгоритма «скользящего» окна на уровне TCP для обеспечения надежной передачи и т.д.

Наличие координаторов и маршрутизаторов с IP-адресацией в сенсорных сегментах гетерогенной сети упрощает задачу интеграции MQTT брокера в систему конвергентных вычислений, а использование технологии MQTT дает возможность использовать таблицу брокеров при подключении к серверному кластеру новых сенсорных сегментов.

Инструментальные средства для реализации конвергентной модели распределенных вычислений в системах энергетического мониторинга. Для разработки программного обеспечения системы конвергентных вычислений, включающей ПО брокеров, программных агентов и серверных приложений распределенных вычислений, предлагается использовать функциональный язык программирования Erlang [29]. Данный язык программирования предназначен для создания распределенных вычислительных систем. Язык включает в себя средства порождения параллельных облегченных процессов и обеспечения их взаимодействия через обмен асинхронными сообщениями в соответствии с мультиагентной моделью. Язык программирования обладает также встроенными возможностями распределенных вычислений, такими как объединение в кластер, балансировка нагрузки, добавление узлов и серверов, повышение надежности вычислений. Erlang был специально разработан для применения в распределенных, отказоустойчивых, параллельных системах реального времени, для которых имеются библиотеки модулей и шаблонов (поведений) – фреймворк OTP (Open Telecom Platform). Отказоустойчивость обеспечивается применением изолированных друг от друга облегченных процессов, связанных механизмом обмена сообщениями и сигналами выхода. Программа на Erlang транслируется в байт-код, исполняемый виртуальными машинами, находящимися на различных узлах распределенной вычислительной сети. Erlang-система поддерживает «горячую» замену программного кода брокеров и агентов. Это позволяет эксплуатировать оборудование безостановочно.

Использование облегченных процессов в соответствии с моделью агентов позволяет выполнять одновременно множество процессов на распределенных узлах с ограниченными емкостными и вычислительными ресурсами. Требования к памяти минимизируются за счет того, что облегченными процессами управляет виртуальная машина, а не средства ОС. Хотя процессы изолированы друг от друга, между ними можно установить асинхронный обмен сообщениями по протоколу TCP/IP, независимо от поддерживаемых операционных платформ. Для выполнения требований информационной безопасности коммуникация между процессами и узлами может происходить с применением защищенного криптографическими методами протокола SSL и использования специальных схем управления ключами [7].

Для создания серверных приложений на языке Erlang используется набор поведений фреймворка OTP. Данный набор формализует действия процессов и позволяет строить на их основе OTP-приложения. В модулях OTP определены шаблоны для конструирования параллельных приложений. Например, сервер и наблюдатель, конечный автомат, обработчик событий и др. OTP-поведения делятся на рабочие процессы (выполняют обработку запросов) и процессы-наблюдатели (следят за рабочими процессами).

Для повышения эффективности обработки данных и агрегатов в многомерном хранилище предлагается метод хранения, основанный на комбинации промышленного SQL хранилища с нереляционной системой хранения данных. Для этого вместе с СУБД Oracle используется распределенная нереляционная система Cassandra для кэширования срезов многомерного хранилища. Это обеспечивает повышение скорости выборки данных, а также его отказоустойчивость и масштабируемость. Система Cassandra на платформе Java включает в себя распределенную хеш-систему, что обеспечивает масштабируемость при увеличении объема данных. Специфика работы нереляционной компоненты такова, что постоянное удаление и изменение данных в хранилище не требуется. Данные только пополняются в моменты опроса OPC (OLE for Process Control) серверов и вычислений интегральных показателей на удаленных узлах в среде туманных вычислений. Каждая запись нереляционной компоненты представляет собой кэшированный срез реляционной БД Oracle.

Инструментарий интеллектуального анализа данных [6] работает на стороне вычислительного GRID кластера серверов и разрабатывается на платформе Java Enterprise Edition (J2EE) с использованием многослойной платформы Spring framework и технологии объектно-реляционного проецирования ORM (Object-relational mapping) Hibernate [5]. Библиотека Hibernate решает задачи объектно-реляционного проецирования для связи классов Java с таблицами БД, типов данных Java с типами данных SQL. Объектно-реляционный адаптер Hibernate используется для обеспечения гибкости запросов и прозрачности работы с хранилищем через систему Cassandra.

В качестве серверной платформы в системе анализа данных и поиска знаний можно использовать сервер приложений JBoss Application [6]. Обмен данными между «тонкими» клиентами и серверами вычислительного кластера реализуется на базе протоколов HTTPS и AMF (Adobe Media Format) с использованием платформы Adobe Flex и технологии ActionScript. Трехкомпонентная архитектура вычислительного кластера включает центральный сервер, на котором функционирует сетевой гипервизор; GRID решетку вычислительных серверов небольшой мощности и множество графических процессоров видеокарт серверных узлов с поддержкой технологии CUDA (Compute Unified Device Architecture) — для параллельной обработки данных с целью повышения производительности и вычислительной мощности.

Заключение. Проведенные исследования в направлении синтеза и реализации модели конвергентных вычислений позволили сделать следующие выводы.

1. Конвергентный подход к организации распределенных вычислений, подразумевающий сближение (конвергенцию) технологий распределенной обработки данных (GRID, облачных и туманных вычислений), имеет большие перспективы для решения задач сбора, обработки и интеграции сенсорных данных, получаемых в процессе мониторинга и контроля пространственно-распределенных объектов и технологических процессов, в частности, в системах энергетики. Такие перспективы обосновываются современным уровнем развития беспроводных телекоммуникационных технологий, программно-аппаратных средств сенсорных сетей и промышленных контроллеров на основе ПЛИС, встраиваемых в приборы автоматики и учета энергоресурсов.

2. Конвергентная модель распределенных вычислений включает три основных уровня обработки и хранения сенсорных данных. На первом уровне туманных вычислений обработка и агрегация сенсорных данных реализуется посредством мигрирующих программных

агентов в узлах БСС ZigBee и в контроллерах, встроенных в приборы промышленной автоматики и учета энергоресурсов. На следующем уровне сенсорные данные и агрегаты интегрируются в многомерном облачном хранилище, создаваемом на основе комбинации промышленного SQL хранилища типа Oracle и распределенной нереляционной системы Cassandra для кэширования срезов данных. Третий уровень обработки данных реализуется в виде трехкомпонентного серверного кластера. Он включает в себя главный сервер с управляющим гипервизором, сеть серверов небольшой мощности в локальной сети, множество графических процессоров видеокарты сервера с поддержкой технологии CUDA.

3. Информационное взаимодействие агентов туманных вычислений между собой, с СУБД облачного хранилища и с серверными приложениями центрального кластера обеспечивается посредством интеллектуальных брокеров через протокол MQTT. Для управления агентами и брокерами используется сетевой гипервизор, который консолидирует распределенные ресурсы в многопроцессорный комплекс. Функциональность агентов и брокеров определяется как математическая функция, определяющая действия по обработке сенсорных данных и выбору вариантов поведения для реагирования на возникающие события. Эта функциональность реализуется на языке Erlang. Серверные приложения работают в вычислительном кластере на платформе J2EE с использованием платформы Spring framework и технологии ORM Hibernate.

4. Основными преимуществами обработки сенсорных данных на базе конвергентной модели распределенных вычислений являются следующие: снижение нагрузки на серверный кластер; уменьшение объема трафика в низкоскоростных сенсорных сетях; повышение продолжительности автономной работы БСС и ее узлов; уменьшение объема данных в хранилище; возможность мониторинга работы контроллеров и датчиков на терминальных узлах в реальном времени; возможность получения значений интегральных показателей на мобильные средства связи непосредственно с терминальных узлов – без обращения к центральному хранилищу и т.п.

Список литературы

1. Андрижиевский А. А. Энергосбережение и энергетический менеджмент / А. А. Андрижиевский, В. И. Володин. – 2-е изд. – Минск : Вышэйшая школа, 2005. – 294 с.
2. Брейман А. Д. Многомерное хранение журналов событий для извлечения и анализа процессов / А. Д. Брейман, Е. М. Богословский // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2. – С. 127–138.
3. Брумштейн Ю. М. Анализ и управление энергобезопасностью деятельности медицинских учреждений / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Захаров, И. А. Дюдиков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 1. – С. 38–44.
4. ГОСТ Р ИСО 50001-2012 «Системы Энергетического Менеджмента. Требования и руководство по применению». – Введен 2012–12–01. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 52 с.
5. Лукьянчиков О. И. Проектирование распределенных баз данных в гибридной облачной инфраструктуре на основе объектно-реляционного отображения / О. И. Лукьянчиков, Е. В. Никульчев, С. В. Паяин, Е. В. Плужник // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 3 (27). – С. 122–132.
6. Камаев В. А. Инструментальные средства облачного мониторинга распределенных инженерных сетей / А. Г. Финогеев, И. С. Нефедова, Е. А. Финогеев // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». – 2014. – Т. 22, № 25, вып. 20. – С. 164–176.
7. Камаев В. А. Схемы управления ключами с использованием кадров маршрутной информации в беспроводных сенсорных сетях SCADA систем / В. А. Камаев, Куанг Винь Тхай, А. Г. Финогеев, И. С. Нефедова, А. А. Финогеев, П. В. Ботвинкин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 3 (27). – С. 197–215.

8. Савкина А. В. Проблемы качества данных в автоматизированных системах коммерческого учета потребления энергоресурсов / А. В. Савкина, А. С. Федосин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2. – С. 158–164.
9. Федосин А. С. Применение методов линейной оптимизации для выравнивания остатков денежных средств на лицевых счетах в процессе осуществления начисления платы за ЖКУ / А. С. Федосин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 1. – С. 155–166.
10. Федоськина Л. А. Терминологические особенности энергетического менеджмента / Л. А. Федоськина, Е. И. Абрамов // Экономический анализ: теория и практика. – 2014. – № 22 (373). – С. 16–22.
11. Финогеев А. Г. Анализ данных в системе диспетчеризации городского теплоснабжения / А. Г. Финогеев, И. С. Нефедова, Е. А. Финогеев, Куанг Винь Тхай, В. А. Камаев, С. В. Шевченко, А. А. Финогеев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2 (26). – С. 182–197.
12. Финогеев А. Г. Оперативный дистанционный мониторинг в системе городского теплоснабжения на основе беспроводных сенсорных сетей / А. Г. Финогеев, В. Б. Дильман, А. А. Финогеев, В. А. Маслов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2010. – № 3. – С. 27–36.
13. Финогеев А. Г. Система удаленного мониторинга и управления сетями теплоснабжения на основе беспроводных сенсорных сетей / А. Г. Финогеев, В. Б. Дильман, В. А. Маслов, А. А. Финогеев // Прикладная информатика. – 2011. – № 3 (33). – С. 83–93.
14. Armbrust M. Above the clouds: A Berkeley view of cloud computing / M. Armbrust, A. Fox, R. Griffith, A. Joseph, R. Katz, A. Konwinski, G. Lee, D. Patterson, A. Rabkin, I. Stoica. – Berkeley: EECS Department, University of California, 2009. – 23 p.
15. Arunkumar G. A Novel Approach to Address Interoperability Concern in Cloud Computing / G. Arunkumar, Neelanarayanan Venkataraman // Procedia Computer Science. – 2015. – Vol. 50. – P. 554–559.
16. Badger L. Cloud Computing Synopsis and Recommendations. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology / L. Badger, T. Grance, R. Patt-Corner, J. Voas. – Available at: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-146/sp800-146.pdf> (accessed: 13.08.2015).
17. Cisco and Microsoft Extend Relationship with New Cloud Platform // The Network. – Available at: <http://newsroom.cisco.com/press-release-content?type=webcontent&articleId=1608152> (accessed: 01.08.2015).
18. Desire Athow Toshiba bets big on Internet-of-Things / Desire Athow // TechRadar.Pro. – Available at: <http://www.techradar.com/news/world-of-tech/toshiba-bets-big-on-internet-of-things-1282446> (accessed: 14.08.2015).
19. Eisa Aleisa Wireless Sensor Networks Framework for Water Resource Management that Supports QoS in the Kingdom of Saudi Arabia Original Research Article / Eisa Aleisa // Procedia Computer Science. – 2013. – Vol. 19. – P. 232–239.
20. Jamal N. Al-Karaki Data Aggregation in Wireless Sensor Networks - Exact and Approximate Algorithms / Jamal N. Al-Karaki, Raza Ul-Mustafa, Ahmed E. Kamal // Proceedings of IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing (HPSR). – Phoenix, Arizona, USA, April 18-21, 2004.
21. Flora Salim Urban computing in the wild: A survey on large scale participation and citizen engagement with ubiquitous computing, cyber physical systems, and Internet of Things / Flora Salim, Usman Haque // International Journal of Human-Computer Studies. – September 2015. – Vol. 81. – P. 31–48.
22. Gao T. Vital signs monitoring and patient tracking over a wireless network / T. Gao, D. Greenspan, M. Welsh, R. J. Wang, A. Alm // Proceedings of the 27th IEEE EMBS Annual International Conference, 2005.
23. Google Cloud Platform. BigQuery. A fast, economical and fully managed data warehouse for large-scale data analytics. – Available at: <https://cloud.google.com/bigquery> (accessed: 14.08.2015).
24. Hewitt C. ORGs for Scalable, Robust, Privacy-Friendly Client Cloud Computing / C. Hewitt // IEEE Internet Computing. – September–October 2008. – Vol. 12, no. 5.
25. OASIS. MQTT version 3.1.1. OASIS Standard. October 29 2014. – Available at: <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.pdf> (accessed: 01.08.2015).
26. Hybrid. Open. Secure. IBM Cloud delivers a new way to work. – Available at: <http://www.ibm.com/cloud-computing/us/en/> (accessed: 01.08.2015).
27. Kamaev V. A. Wireless monitoring and control at urban heating supply system / V. A. Kamaev, L. R. Fionova, A. G. Finogeev, A. A. Finogeev // International Journal of Applied Engineering Research –

Research India Publications. – 2015. – Vol. 10, № 3. – P. 6499–6507. – Available at: <http://www.ripublication.com/Volume/ijaerv10n3.htm> (accessed: 01.08.2015).

28. Kamaev V. A. Knowledge Discovery in the SCADA Databases Used for the Municipal Power Supply System / V. A. Kamaev, A. G. Finogeev, A. A. Finogeev, S. Shevchenko // Knowledge-Based Software Engineering ; Springer International Publishing Switzerland – 11th Joint Conference, JCKBSE 2014 Proceedings. – Volgograd ; Russia, September 17–20, 2014. – P. 1–15.

29. Melinda Tóth Detecting and Visualising Process Relationships in Erlang / Melinda Tóth, István Bozó // Procedia Computer Science. – 2014. – Vol. 29. – P. 1525–1534.

30. Niroshinie Fernando, Mobile cloud computing: A survey / Niroshinie Fernando, Seng W. Loke, Wenny Rahayu // Future Generation Computer Systems. – January 2013. – Vol. 29, issue 1. – P. 84–106.

31. Samer Samarah A Data Predication Model for Integrating Wireless Sensor Networks and Cloud Computing / Samer Samarah // Procedia Computer Science. – 2015. – Vol. 52. – P. 1141–1146.

32. Toshiba Asia Pacific Pte. Ltd. Toshiba Launches new storage system «Toshiba Total Storage Platform» to meet big data and cloud solutions November 12 2013. – Available at: http://www.asia.toshiba.com/wp-content/uploads/2013/11/tapl_20131112.pdf (accessed: 10.08.2015).

33. Wei Liu Adaptive resource discovery in mobile cloud computing / Wei Liu, Takayuki Nishio, Ryoichi Shinkuma, Tatsuro Takahashi // Computer Communications. – September 1, 2014. – Vol. 50. – P. 119–129.

References

1. Andrizhievskiy A. A., Volodin V. I. *Energoberezhenie i energeticheskiy menedzhment* [Energy conservation and energy management], 2nd ed. Minsk, Vysshaya shkola Publ., 2005. 294 p.

2. Breyman A. D., Bogoslovskiy Ye. M. *Mnogomernoye khranenie zhurnalov sobytiy dlya izvlecheniya i analiza protsessov* [Multidimensional storage of event logs to extract and process analysis]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 2, pp. 127–138.

3. Brumshteyn Yu. M., Zakharov D. A., Dyudikov I. A. *Analiz i upravlenie energobezопасnostyu deyatel'nosti meditsinskih uchrezhdeniy* [Analysis and management of energy security activities of medical institutions]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 1, pp. 44–38.

4. GOST R ISO 50001-2012. Energy Management System. Requirements with guidance for use. Introduced 2012–12–01. Moscow, Standartinform Publ., 2012. 52 p.

5. Lukyanchikov O. I., Nikulchev Ye. V., Payain S. V., Pluzhnik Ye. V. *Proektirovanie raspredelennykh baz dannykh v gibridnoy oblachnoy infra-strukture na osnove obektno-relyatsionnogo otobrazheniya* [Design of distributed databases in a hybrid cloud infra-structure-based object-relational mapping]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 3 (27), pp. 122–132.

6. Kamaev V. A., Finogeev A. G., Nefedova I. S., Finogeev Ye. A. *Instrumental'nye sredstva oblachnogo monitoringa raspredelennykh inzhenernykh setey* [And tools cloud-based monitoring of distributed utility networks]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Aktual'nye problemy upravleniya vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh»* [Proceedings of the Volgograd State Technical University. Series "Actual Problems of Management, Computer Science and Informatics in Technical Systems"], 2014, vol. 22, no. 25, pp. 164–176.

7. Kamaev V. A., Kuang Vin Tkhay, Finogeev A. G., Nefedova I. S., Finogeev A. A., Botvinkin P. V. *Skhemy upravleniya klyuchami s ispolzovaniem kadrov marshutnoy informatsii v besprovodnykh sensornykh setyakh SCADA sistem* [Schemes key management using skills marshutkas information in wireless sensor networks SCADA systems]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 3 (27), pp. 197–215.

8. Savkina A. V., Fedosin A. S. *Problemy kachestva dannykh v avtomatizirovannykh sistemakh kommercheskogo ucheta potrebleniya energoresursov* [Problems of data quality in the automated systems of commercial accounting of energy consumption]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 2, pp. 158–164.

9. Fedosin A. S. *Primenenie metodov lineynoy optimizatsii dlya vyravnivaniya ostatkov denezhnykh sredstv na litsevykh schetakh v protsesse osushchestvleniya nachisleniya platy za ZhKU* [The

Application of methods of linear optimization to align the cash balances on the personal accounts in the process of implementing accrual of fees for utility services]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 1, pp. 155–166.

10. Fedoskina L. A., Abramov Ye. I. Terminologicheskie osobennosti energeticheskogo menedzhmenta [Terminological features of energy management]. *Ekonomicheskiy analiz: teoriya i praktika* [Economic Analysis: Theory and Practice], 2014, no. 22 (373), pp. 16–22.

11. Finogeev A. G., Nefedova I. S., Finogeev Ye. A., Kuang Vin Tkhai, Kamaev V. A., Shevchenko S. V., Finogeev A. A. Analiz dannykh v sisteme dispetcherizatsii gorodskogo teplosnabzheniya [Analysis of the data in the dispatch system city heating] // Zh. «Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokie tekhnologii» [Caspian journal: management and high technologies]. - 2014. - №2 (26). – p. 182-197.

12. Finogeev A. G., Dilman V. B., Finogeev A. A., Maslov V. A. Operativnyy distantsionnyy monitoring v sisteme gorodskogo teplosnabzheniya na osnove besprovodnykh sensorykh setey [Real-time remote monitoring in the urban heating system based on wireless sensor networks]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Volga Region. Technical Science], 2010, no. 3, pp. 27–36.

13. Finogeev A. G., Dilman V. B., Maslov V. A., Finogeev A. A. Sistema udalennogo monitoringa i upravleniya setyami teplosnabzheniya na osnove besprovodnykh sensorykh setey [The remote monitoring system and management of supply networks based on wireless sensor networks]. *Prikladnaya informatika* [Applied Informatics], 2011, no. 3 (33), pp. 83–93.

14. Armbrust M., Fox A., Griffith R., Joseph A., Katz R., Konwinski A., Lee G., Patterson D., Rabkin A., Stoica I. *Above the clouds: A Berkeley view of cloud computing*, Berkeley, EECS Department, University of California Publ. House, 2009. 23 p.

15. Arunkumar G., Neelanarayanan Venkataraman A Novel Approach to Address Interoperability Concern in Cloud Computing. *Procedia Computer Science*, 2015, vol. 50, pp. 554–559.

16. Badger L., Grance T., Patt-Corner R., Voas J. Cloud Computing Synopsis and Recommendations. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. Available at: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-146/sp800-146.pdf> (accessed: 13.08.2015).

17. Cisco and Microsoft Extend Relationship with New Cloud Platform. *The Network*. Available at: <http://newsroom.cisco.com/press-release-content?type=webcontent&articleId=1608152> (accessed: 01.08.2015).

18. Desire Athow Toshiba bets big on Internet-of-Things 29 Jan. 2015 World of tech. *TechRadar.Pro*. Available at: <http://www.techradar.com/news/world-of-tech/toshiba-bets-big-on-internet-of-things-1282446> (accessed: 14.08.2015).

19. Eisa Aleisa Wireless Sensor Networks Framework for Water Resource Management that Supports QoS in the Kingdom of Saudi Arabia Original Research Article. *Procedia Computer Science*, 2013, vol. 19, pp. 232–239.

20. Jamal N. Al-Karaki, Raza Ul-Mustafa, Ahmed E. Kamal Data Aggregation in Wireless Sensor Networks – Exact and Approximate Algorithms. *Proceedings of IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing (HPSR)*, Phoenix, Arizona, USA, April 18–21, 2004.

21. Flora Salim, Usman Haque Urban computing in the wild: A survey on large scale participation and citizen engagement with ubiquitous computing, cyber physical systems, and Internet of Things. *International Journal of Human-Computer Studies*, September 2015, vol. 81, pp. 31-48.

22. Gao T., Greenspan D., Welsh M., Juang R., Alm A. Vital signs monitoring and patient tracking over a wireless network. *Proceedings of the 27th IEEE EMBS Annual International Conference*, 2005.

23. Google Cloud Platform. *BigQuery. A fast, economical and fully managed data warehouse for large-scale data analytics*. Available at: <https://cloud.google.com/bigquery> (accessed: 14.08.2015).

24. Hewitt C. ORGs for Scalable, Robust, Privacy-Friendly Client Cloud Computing. *IEEE Internet Computing*, September–October, 2008, vol. 12, no. 5.

25. *OASIS. MQTT version 3.1.1. OASIS Standard. October 29 2014*. Available at: <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.pdf> (accessed: 01.08.2015).

26. *Hybrid. Open. Secure. IBM Cloud delivers a new way to work*. Available at: <http://www.ibm.com/cloud-computing/us/en/> (accessed: 01.08.2015).

27. Kamaev V. A., Fionova L. R., Finogeev A. G., Finogeev A. A. Wireless monitoring and control at urban heating supply system. *International Journal of Applied Engineering Research – Research India*

Publications, 2015, no. 3, vol. 10, pp. 6499–6507. Available at: <http://www.ripublication.com/Volume/ijaerv10n3.htm> (accessed: 21.08.2015).

28. Kamaev V. A., Finogeev A. G., Finogeev A. A., Shevchenko S. Knowledge Discovery in the SCADA Databases Used for the Municipal Power Supply System. *Knowledge-Based Software Engineering ; Springer International Publishing Switzerland – 11th Joint Conference, JCKBSE 2014 Proceedings*, Volgograd, Russia, September 17–20, 2014, pp. 1–15.

29. Melinda Tóth, István Bozó Detecting and Visualising Process Relationships in Erlang. *Procedia Computer Science*, 2014, vol. 29, pp. 1525–1534.

30. Niroshinie Fernando, Seng W. Loke, Wenny Rahayu Mobile cloud computing: A survey. *Future Generation Computer Systems*, January 2013, vol. 29, issue 1, pp. 84–106.

31. Samer Samarah A Data Predication Model for Integrating Wireless Sensor Networks and Cloud Computing. *Procedia Computer Science*, 2015, vol. 52, pp. 1141–1146.

32. Toshiba Asia Pacific Pte. Ltd. Toshiba Launches new storage system “Toshiba Total Storage Platform” to meet big data and cloud solutions November 12 2013. Available at: http://www.asia.toshiba.com/wp-content/uploads/2013/11/tapl_20131112.pdf (accessed: 10.08.2015).

33. Wei Liu, Takayuki Nishio, Ryoichi Shinkuma, Tatsuro Takahashi Adaptive resource discovery in mobile cloud computing. *Computer Communications*, September 1 2014, vol. 50, pp. 119–129.

УДК 621.391:519.72

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МНОГОПороГОВОГО ДЕКОДЕРА САМООРТОГОНАЛЬНЫХ КОДОВ МЕТОДОМ ПОКООрДИНАТНОГО СПУСКА

Статья поступила в редакцию 14.07.2015, в окончательном варианте 28.08.2015

Шевляков Дмитрий Александрович, аспирант, Рязанский государственный радиотехнический университет, 390005, Российская Федерация, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1, e-mail: d.a.shevlyakov@gmail.com

В современных системах связи используют методы помехоустойчивого кодирования / декодирования для исправления возникающих при передаче ошибок. В статье приведено краткое описание одного из таких методов – многопорогового декодера (МПД). Рассмотрены вопросы, связанные с повышением эффективности работы МПД за счет использования многомерной оптимизации параметров рассматриваемого метода. Исходя из того, что оптимизацию необходимо проводить по нескольким группам параметров, был выбран метод покоординатного спуска. Его алгоритм применительно к рассматриваемым задачам детально описан в статье. Показано, что разработанный алгоритм позволяет произвести правильную настройку параметров и при этом для рассматриваемых классов задач сэкономить временные и вычислительные ресурсы на 15 десятичных порядков. Представлены результаты работы МПД с оптимизированными параметрами, которые позволяют сделать вывод о том, что область наилучшей его работы смещается на 0,6 дБ в сторону пропускной способности канала по сравнению с неоптимизированным вариантом. Таким образом, результаты, полученные с помощью данного алгоритма в канале с аддитивным белым гауссовским шумом, дают возможность настроить МПД (без его усложнения) на обеспечение наилучшего результата. Это позволяет рекомендовать МПД к использованию в современных системах связи с целью повышения ее качества и помехоустойчивости.

Ключевые слова: цифровая связь, системы передачи цифровой информации, помехоустойчивое кодирование, достоверность передачи данных, энергетический выигрыш кодирования, самоортогональные коды, многопороговые декодеры, компьютерное моделирование, методы многомерной оптимизации, метод покоординатного спуска

**DEVELOPMENT OF ALGORITHM OPTIMIZATION
PARAMETERS MULTITHRESHOLD DECODER
SELF-ORTHOGONAL CODES
THE COMPONENT WISE DESCENT METHOD**

Shevlyakov Dmitriy A., post-graduate student, Ryazan State Radio Engineering University,
59/1 Gagarin St., Ryazan, 390005, Russian Federation, e-mail: d.a.shevlyakov@gmail.com

In modern communication systems to correct any transmission errors using error-correcting coding methods/decoding. The article gives a brief description of one such method - multithreshold decoder (MTD). The problems associated with increasing the efficiency of the MPD through the use of multi-dimensional optimization of the parameters of the method. Based on the fact that optimization should be carried out by several groups of parameters was chosen method of coordinate descent. Its algorithm is applied to this problem is described in detail in the article. It is shown that the developed algorithm allows to make the correct settings and thus for this class of problems save time and computing resources by 15 decimal places. The results MTD work with optimized parameters that allow the conclusion that the best of his work area is shifted by 0.6 dB in the direction of the channel capacity compared to non-optimized for this. Thus, the results obtained by this algorithm in a channel with additive white Gaussian noise, let adjust MTD (without complication) to provide the best results. It is possible to recommend the MTD for use in modern communication systems in order to improve its quality and noise immunity.

Keywords: digital communication, digital transmission systems, error-correcting coding, reliability of data, energy coding gain, self-orthogonal codes, multithreshold decoders, computer simulation, method of coordinate descent.

Введение. В настоящее время для обмена информацией широко используются различные системы цифровой связи. В таких системах применяют как проводные, так и беспроводные каналы связи. В них передаваемая информация может искажаться под действием различного рода шумов [4]. Для исправления ошибок (искажений) в большинстве систем связи применяются методы помехоустойчивого кодирования, которые позволяют исправлять ошибки без необходимости повторной передачи искаженных данных [2]. При разработке таких методов наряду с хорошей корректирующей способностью требуется обеспечить невысокую сложность реализации методов. Это требование обусловлено тем, что скорости передачи данных постоянно растут [1]. Поэтому устройства, реализующие сложные методы коррекции ошибок, в ряде случаев уже не могут обеспечивать достаточную скорость обработки поступающей информации в реальном масштабе времени [7].

На сегодняшний день в теории кодирования известен ряд кодов и методов их декодирования, различающихся корректирующей способностью (энергетическим выигрышем кодирования), сложностью реализации и рядом других параметров [14–16]. Одним из лучших по соотношению эффективности и сложности реализации является многопороговый декодер (МПД) самоортогональных кодов (СОК) [5, 6]. Однако некоторые вопросы оптимизации параметров МПД под конкретные условия передачи / приема данных в литературе рассмотрены недостаточно полно. Поэтому целью данной статьи является устранение указанного недостатка.

Характеристика использования многопорогового декодера. В общем случае МПД может применяться для декодирования как блочных, так и сверточных СОК (алгоритм построения СОК описан в [8]). Кодер для СОК является простейшим устройством, состоящим только из регистров сдвига и сумматоров по модулю 2. Пример кодера для блочного кода показан на рисунке 1 [6].

Достаточно простым является и сам МПД, пример которого для такого же блочного кода представлен на рисунке 2 [6]. В его состав входят информационный, синдромный и разностный регистры; сумматоры по модулю 2; пороговые элементы (ПЭ), которые суммируют значения, поступающие на их входы, и сравнивают полученную сумму с порогом.



Алгоритм оптимизации. В основу метода Гаусса – Зейделя положены принципы более раннего метода поочередного изменения переменных [10]. Идея метода поочередного

изменения переменных заключается в следующем: выбирается исходная величина шага; из начальной точки многомерного пространства параметров делается шаг по первой переменной; вычисляется значение критериальной функции. Если оно «удачное» (значение критериальной функции улучшилось), то переходят к выполнению шага по следующей переменной. Если шаг по текущей переменной оказался «неудачным», то делается шаг по этой же переменной в противоположном направлении. Затем вне зависимости от удачности шага в «противоположном направлении» для текущей переменной следует переход к выполнению шага по следующей (очередной) переменной.

Эта процедура повторяется до тех пор, пока шаги по всем переменным будут «неудачными». То есть значение целевой функции не будет улучшено. В этом случае величина шага уменьшается, и следует повторение попыток «перемещений» по всем переменным (в той же последовательности) с уменьшенной величиной шага.

Поиск оптимума (наилучшего значения критериальной или целевой функции) продолжается до тех пор, пока абсолютное значение величины шага после очередного уменьшения не окажется меньше заданной величины.

Альтернативным подходом (алгоритмом) является поиск оптимума целевой (критериальной) функции за счет изменения значения текущей переменной. При этом значения остальных переменных остаются постоянными. После того, как этот оптимум достигнут, осуществляется поиск оптимума целевой функции по следующей переменной и т.д.

Поиск оптимума по направлению (одной переменной) можно производить любым известным методом одномерной оптимизации, в том числе и с изменением величины шага. Для этой цели был выбран метод поразрядного приближения. Таким образом, в методе Гаусса – Зейделя задача многомерной оптимизации сводится к многократному последовательному использованию метода одномерной оптимизации [10].

Сложности в использовании обоих указанных подходов могут быть связаны с тем, что потенциально возможно «схождение» вычислительного процесса не к глобальному экстремуму, а к одному из локальных. Поэтому в литературе рекомендуется применение рассмотренных методов с использованием нескольких вариантов «начальных точек», выбираемых случайным образом в области допустимых решений. Такое усложнение алгоритма увеличивает вероятность (хотя и не гарантирует) нахождения именно глобального экстремума. Вычислительные затраты при таком подходе многократно увеличиваются. Поэтому, если в результате специальных исследований (в том числе и вычислительных экспериментов) удастся обосновать единственность экстремума, то многократного повторения поиска экстремума из различных начальных точек можно избежать [3].

Для реализации алгоритма Гаусса – Зейделя был проведен анализ принципов работы МПД, подробно рассмотренных в [6]. На основании результатов такого анализа можно сделать вывод, что эффективность МПД (обеспечиваемая вероятность ошибки декодирования P_b) зависит от следующих параметров: применяемого кода (образующего полинома); числа итераций декодирования; значений пороговых и весовых коэффициентов на каждой из итераций; уровня шума в канале связи. Математически данную зависимость можно представить в виде:

$$P_b = F(\mathbf{t}, \mathbf{w}, p, SNR), \quad (1)$$

где $\mathbf{t}$ – вектор значений порогов; $\mathbf{w}$ – вектор значений весовых коэффициентов; p – образующий полином; SNR – отношение сигнал-шум; F – некоторая функция.

Значения параметров в (1) следует выбирать так, чтобы МПД был способен обеспечить декодирование близкое к оптимальному (переборные методы, имеющие экспоненциальную сложность в зависимости от длины кода и работающие по принципу максимального правдоподобия [11]). Поскольку большинство из параметров в (1) определяются требованиями (ограничениями) конкретной системы цифровой связи, то положим, что настройка декодера выполняется для заданных кода и канала. То есть параметры p и SNR известны (фиксированы).

Оценим число различных сочетаний параметров декодера. Опытным путем было установлено, что элементы векторов будут принимать по $n = 6$ разных значений. Например, диапазон изменения вектора $\mathbf{t}$ от «-1» до «4» с шагом 1, а вектора $\mathbf{w}$ – от «0» до «5» с тем же шагом. Соответственно число сочетаний различных значений параметров декодера примерно равно $n_t^n n_w^n$, где n – число итераций декодирования (оно обычно принимает значения от 5 до 10 в зависимости от уровня шума). Таким образом, общее число вариантов сочетаний значений параметров может составить до 36^{10} .

Следует отметить, что отличительной особенностью разработанного алгоритма является использование не только дискретных значений $\mathbf{t}$ и $\mathbf{w}$, но и вещественных, которые поступают на вход МПД. В данном случае вещественными значениями являются оценки логарифмического отношения правдоподобия (LLR – log-likelihood ratio) для каждого из принятых битов, называемые также мягкими решениями демодулятора.

Поэтому при шаге изменения параметров равном 0,1 количество сочетаний возрастает до 2601^{10} . Приведенные числовые оценки показывают, что необходимо использовать алгоритмы минимизации функции ошибки декодирования, позволяющие существенно уменьшить число перебираемых вариантов.

Еще одной особенностью поставленной задачи является то, что целевая функция $F(\mathbf{t}, \mathbf{w}, p, SNR)$ не задана аналитически. Ее значение можно оценить только при помощи компьютерного моделирования, которое занимает достаточно много времени. Это дополнительно (и очень существенно!) усложняет процесс оптимизации. Поэтому в качестве метода минимизации целевой функции и был выбран метод покоординатного спуска, алгоритм которого будет детально описан далее.

Дополнительно отметим, что в результате анализа значений функции $F(\mathbf{t}, \mathbf{w}, p, SNR)$ для различного числа итераций декодирования было выявлено, что эта функция (типичный пример графика ее зависимости от весовых и пороговых коэффициентов показан на рисунке 3) в большинстве случаев имеет только одну точку минимума, т.е. глобальный экстремум. Это и позволяет использовать для его поиска метод Гаусса – Зейделя.

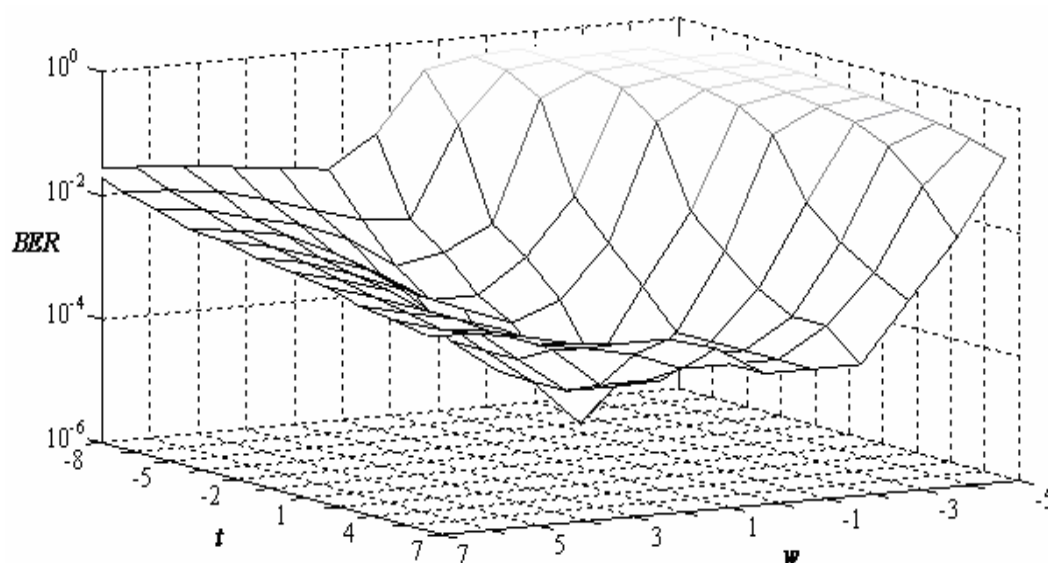


Рис.3. Типичный вид поверхности для функции вероятности ошибки декодирования (BER) от массивов пороговых ($\mathbf{t}$) и весовых ($\mathbf{w}$) коэффициентов

Разработанный алгоритм можно представить в виде блок-схемы, показанной на рисунке 4.

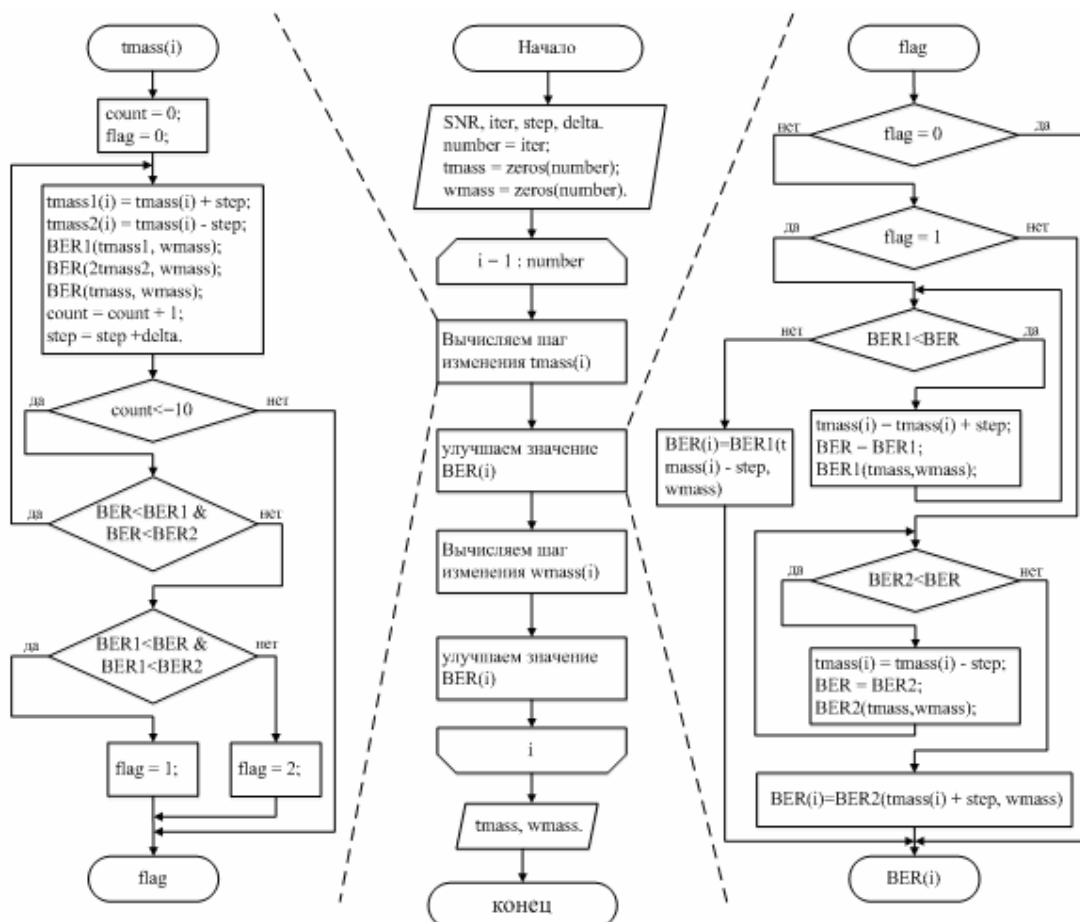


Рис. 4. Блок-схема алгоритма оптимизации параметров МПД

На рисунке 4 пунктирами выделены группы повторяющихся операций, соответствующие детализации блоков на основной ветке алгоритма. Входными параметрами данного алгоритма являются следующие: отношение сигнал / шум (SNR), для которого будет проводиться оптимизация; количество итераций декодирования ($iter$), которое равно также общему числу элементов в каждой группе оптимизируемых параметров. Следует отметить, что разработанный алгоритм в качестве необязательных параметров поддерживает установку шага изменения оптимизируемого значения ($step$) и дискретности изменения шага ($delta$). По умолчанию эти аргументы равны 0.2 и 0.1, соответственно. Выходными величинами алгоритма являются массивы пороговых ($tmass$) и весовых ($wmass$) коэффициентов.

Далее в формализованном виде мы опишем основные шаги, используемые при минимизации функции декодирования F в соответствии с алгоритмом, представленным на рисунке 4.

Шаг 1. Задаем произвольно выбранные массивы изменяемых параметров $t = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\}$ и $w = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_n\}$, где n – число итераций и $n \in N, t \in N, w \in N$, а также полином $\langle p \rangle$ и отношение сигнал / шум SNR . Кроме того, на начальных итерациях следует немного завышать порог. Для того, чтобы декодер делал меньше собственных ошибок, которые вынуждены исправлять последующие итерации декодирования.

Шаг 2. Оптимизация по итерациям.

Выбираем нулевое приближение $w = w_0$ и количество итераций декодирования $i = 1$. Тогда функция будет зависеть только от одной переменной t . Обозначим ее через $f_1(t) = F(t, w_0)$. Используя метод поразрядного приближения, найдем минимум функции $f_1(t)$ и обозначим его через t_1 . Таким образом, был сделан шаг из точки (t_0, w_0) в точку (t_1, w_0) , по направлению параллельному оси t . При этом предполагается, что значение целевой функции уменьшилось. Затем аналогичным образом из новой точки осуществляем спуск по направлению, параллельному оси w . Иными словами рассматривается функция $f_2(t) = F(t_1, w)$, для которой мы будем искать минимум. Значение переменной, которое обеспечивает этот минимум, обозначим через w_1 . Таким образом, второй шаг алгоритма (по переменной w) приведет в точку (t_1, w_1) .

Далее будем повторять циклы, выбирая последующие параметры и увеличивая количество итераций декодирования $i = 2, 3, 4 \dots n$ до тех пор, пока не достигнем локального минимума целевой функции.

Шаг 3. Оптимизация в целом.

После получения решения на предыдущем шаге его можно улучшить: изменяя также значения весов и порогов для каждой из итераций декодирования, но контролируя вероятность ошибки декодирования на выходе не после каждой, а после последней итерации. Данный процесс можно повторять многократно до тех пор, пока решение декодера не прекратит улучшаться.

Результаты вычислительных экспериментов по оптимизации параметров МПД.

В рамках данной работы было проведено исследование эффективности вычислительного алгоритма оптимизации в условиях использования цифровой системы передачи данных, структурная схема которой приведена на рисунке 5.

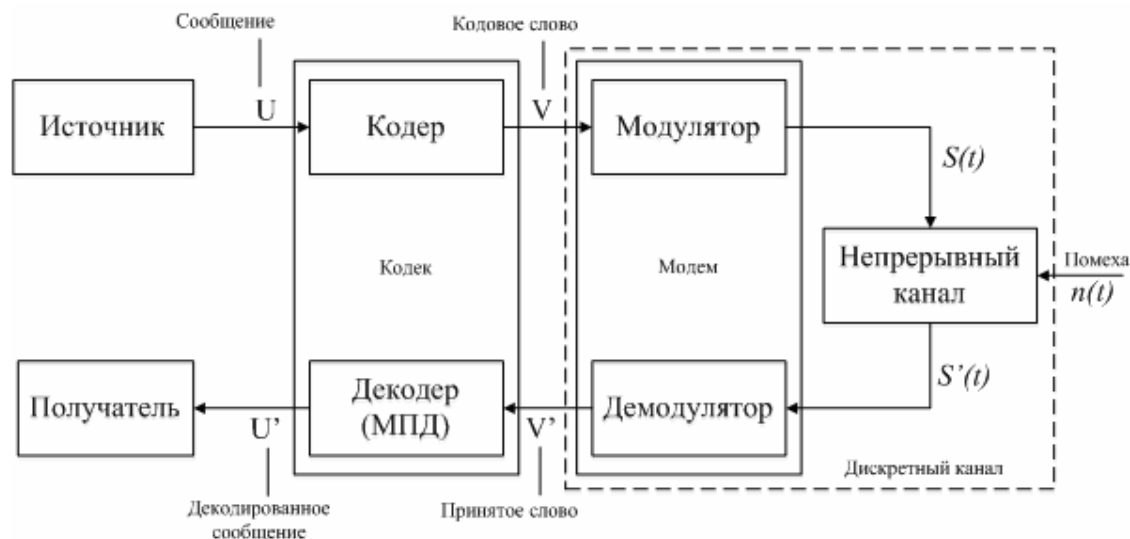


Рис. 5. Структурная схема процесса цифровой передачи данных

Моделирование проводилось с помощью пакета прикладных программ MATLAB (с использованием встроенного языка программирования MATLAB и стандартных библиотек) на ЭВМ с процессором Core i7 -4702MQ. В качестве исходных данных были выбраны отношение сигнал шум $SNR = 3$ дБ; диапазоны изменения массивов пороговых ($t = -1 \dots 4$) и весовых ($w = 0 \dots 4$) коэффициентов при 8-ми итерациях декодирования. Как уже было сказано

ранее, данный алгоритм и исследуемый декодер (МПД) поддерживают возможности использования вещественных чисел (LLR). Поэтому при выбранном шаге ($step = 0.2$) общее количество полученных значений (BER_i) путем полного последовательного перебора равно $i = 8^{21} (26 \times 21)^8$. Если учесть, что время, требуемое на получение одного значения, составляло около тридцати секунд, то общее время для всего вычислительного эксперимента без использования предлагаемого алгоритма заняло бы 2^{15} дней ($8^{21} \times 0,5 / 1440$). По результатам работы программы моделирования были получены оптимизированные массивы параметров МПД при общем количестве значений $i = 1540$. Таким образом, среднее время выполнения и количество вычислительных операций снизилось примерно на 15 десятичных порядков.

Теперь для наглядности приведем результаты работы МПД с оптимизированными и неоптимизированными параметрами в канале с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ).

На рисунке 6 представлены графики зависимости отношения сигнал / шум E_b / N_0 от вероятности ошибки декодирования P_b при использовании квадратурной фазовой модуляции (QPSK) для МПД кода с кодовой скоростью $R = 4 / 8$ (по аналогии с рисунком 2, но в четыре раза большем количестве регистров при одинаковой общей кодовой скорости $R = 0,5$) и минимальным кодовым расстоянием $d = 13$ [6]. На этом рисунке кривой 1 представлены характеристики для МПД с параметрами, подобранными вручную (с учетом рекомендаций шага 1); кривой 2 – характеристики, полученные после оптимизации параметров МПД отдельно для каждой из итераций (шаг 2); кривой 3 – характеристики для МПД с параметрами после оптимизации в целом (шаг 3). Отметим, что оптимизация по итерациям (шаги 1 и 2) дает в дополнительный выигрыш при вероятности битовой ошибки $P_b = 10^{-4}$ около 0,5 дБ. А оптимизация в целом (шаги 1, 2 и 3) позволяет получить выигрыш еще порядка 0,1 дБ. Этот выигрыш означает, что при меньшем отношении сигнал / шум кодек обеспечивает одинаковую вероятность исправления. Подчеркнем, что этот выигрыш получается не за счет усложнения алгоритма (декодер остается таким же простым), а только за счет лучшего выбора параметров декодера на этапе его первоначальной настройки.

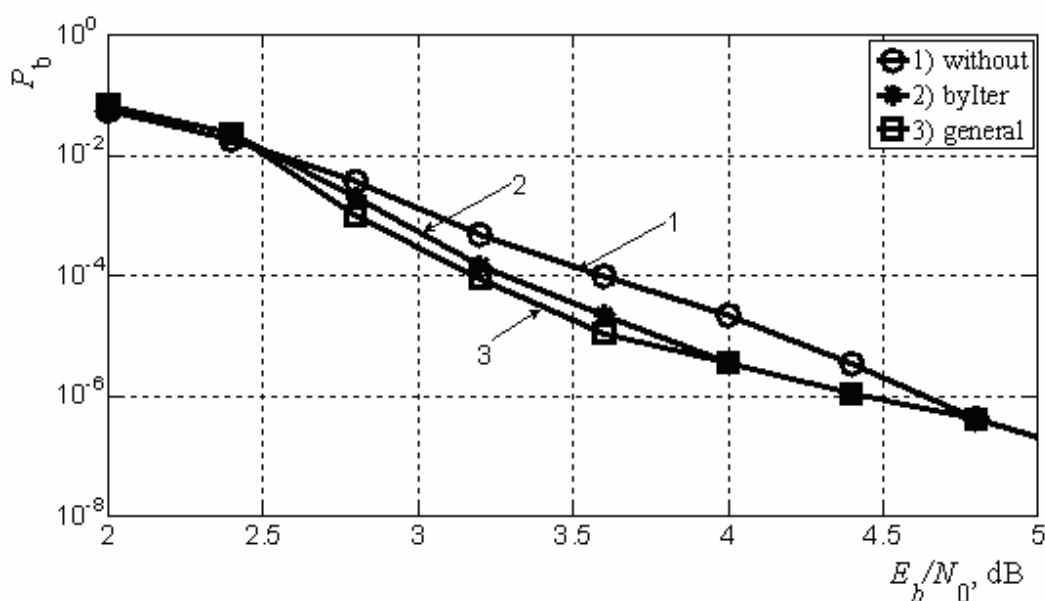


Рис. 6. Результаты вычислительных экспериментов по оценке эффективности МПД в канале с аддитивным белым гауссовским шумом

Выводы.

1. Разработан и обоснован алгоритм оптимизации параметров многопорогового декодера СОК.
2. Показано, что данный алгоритм, позволяет найти параметры МПД, обеспечивающие эффективное декодирование применяемого в нем кода при большем уровне шума в канале по сравнению неоптимизированным вариантом.
3. Опытным путем за счет оптимальной настройки параметров декодера без его усложнения получено снижение временных (вычислительных) затрат на процесс оптимизации / моделирования на 15 десятичных порядков по сравнению с полным перебором всех параметров.
4. Полученные результаты оценки эффективности МПД с оптимизированными параметрами в канале с АБГШ (рис. 6) показывают, что при вероятности ошибочного приема $P_b = 10^{-5}$ область наилучшей его работы смещается на 0,6 дБ в сторону пропускной способности канала.
5. Таким образом, результаты, полученные с помощью данного алгоритма, позволяют настроить МПД на обеспечение наилучшего результата без его технологического усложнения.
6. На основе проведенного исследования, а также результатов, полученных в других публикациях по МПД [2, 5, 6, 8, 9, 13] можно говорить о целесообразности его использования в современных системах передачи цифровой информации для повышения качества связи (улучшения помехоустойчивости).

Список литературы

1. Азизов Р. Ф. Помехоустойчивость радиотехнических устройств охраны при использовании когерентного и некогерентного методов обнаружения / Р. Ф. Азизов, Д. А. Аминев, С. У. Увайсов, Н. К. Юрков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 1. – С. 101–107.
2. Белицкий А. М. Повышение достоверности приема-передачи команд управления с использованием многопороговых декодеров самоортогональных кодов / А. М. Белицкий, Г. В. Овечкин, Д. А. Шевляков // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – Режим доступа: www.science-education.ru/113-11555 (дата обращения 13.06.2015), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
3. Брумштейн Ю. М. Одно- и многомерные временные ряды: анализ возможных методов оптимизации отсчетов и оценки характеристик / Ю. М. Брумштейн, М. В. Иванова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 1. – С. 101–107.
4. Воловач В. И. Помехоустойчивость радиотехнических устройств охраны при использовании когерентного и некогерентного методов обнаружения / В. И. Воловач // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2012. – № 1. – С. 13–20.
5. Золотарёв В. В. Современные методы повышения достоверности передачи данных в системах ДЗЗ / В. В. Золотарёв, Г. В. Овечкин, Д. А. Шевляков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса : материалы XII Всероссийской открытой конференции. – Москва, 2014. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
6. Золотарёв В. В. Теория и алгоритмы многопорогового декодирования / В. В. Золотарёв. – 2-е изд. – Москва : «Горячая линия – Телеком», 2014. – 266 с.
7. Леммле Д. В. Характеристики передачи сигналов OFDM в многолучевых каналах / Д. В. Леммле // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 2. – С. 207–216.
8. Овечкин Г. В. Алгоритм построения самоортогональных кодов для многопороговых декодеров / Г. В. Овечкин, П. В. Овечкин, Н. Н. Гринченко, В. К. Столчнев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – Вып. 9, ч. 2. – С. 179–188.
9. Овечкин Г. В. Эффективность многопороговых методов коррекции ошибок в каналах связи с замираниями / Г. В. Овечкин, Д. А. Шевляков // Успехи современной радиоэлектроники: Радиотехника. – 2014 – № 6. – С. 37–43.
10. Рейзлин В. И. Численные методы оптимизации : учебное пособие / В. И. Рейзлин. – Томск : Томский политехнический университет, 2011. – 105 с.

11. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – Москва : Вильямс, 2004. – 1104 с.
12. Шевляков Д. А. Алгоритм оптимизации параметров многопорогового декодера / Д. А. Шевляков // Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании : тезисы докладов XIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Рязань : Рязанский государственный радиоактивный университет, 2014. – С. 115–121.
13. Шевляков Д. А. Современные методы коррекции ошибок для цифровых систем передачи данных / Д. А. Шевляков // Молодёжь, образование, наука : материалы VIII Российской ежегодной научно-практической конференции магистрантов, аспирантов и молодых ученых. – Уфа : Восточная экономико-юридическая гуманитарная академия, 2013. – С. 154–158.
14. Arikan E. Systematic polar coding / E. Arikan // IEEE Communications Letters. – August 2011. – Vol. 15, no. 8. – P. 860–862.
15. Cushon K. High-Throughput Energy-Efficient LDPC Decoders Using Differential Binary Message Passing / K. Cushon, S. Hemati, C. Leroux, S. Mannor, W. J. Gross // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2014. – Vol. 62, no. 3. – P. 619–631.
16. Ould-Cheikh-Mouhamedou Y. A simple and efficient method for lowering the error floors of turbo codes that use structured interleavers / Y. Ould-Cheikh-Mouhamedou // IEEE Communications Letters. – 2012. – Vol. 16, no. 3. – P. 392–395.

References

1. Azizov R. F., Aminev D. A., Uvaysov S. U., Yurkov N. K. Pomekhoustoychivost radio-tekhnicheskikh ustroystv okhrany pri ispolzovanii kogerentnogo i nekogerentnogo metodov obnaruzheniya [The error-corrective of radio devices when using coherent and incoherent detection methods]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 1, pp. 101–107.
2. Belitskiy A. M., Ovechkin G. V., Shevlyakov D. A. Povyshenie dostovernosti priema-peredachi komand upravleniya s ispolzovaniem mnogoporogovykh dekodeirov samoortogonalnykh kodov [Increasing the reliability of reception and transmission of control commands using a self-orthogonal codes multithreshold decoders]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2013, no. 6. Available at: www.science-education.ru/113-11555 (accessed: 13.06.2015).
3. Brumshteyn Yu. M., Ivanova M. V. Odn- i mnogomernye vremennye ryady: analiz vozmozhnykh metodov optimizatsii otschetov i otsenki kharakteristik [Single- and multi-dimensional time series: an analysis of possible methods of optimization and performance evaluation samples]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 1, pp. 101–107.
4. Volovach V. I. Pomekhoustoychivost radiotekhnicheskikh ustroystv okhrany pri ispolzovanii kogerentnogo i nekogerentnogo metodov obnaruzheniya [Immunity protection of wireless devices using coherent and incoherent detection methods]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2012, no. 1, pp. 13–20.
5. Zolotarev V. V., Ovechkin G. V., Shevlyakov D. A. Sovremennye metody povysheniya dostovernosti peredachi dannykh v sistemakh DZZ [Modern methods of increasing the reliability of data transmission systems remote sensing]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa : materialy XII Vserossiyskoy otkrytoy konferentsii* [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space. Proceedings of the XII All-Russian Public Meeting], Moscow, 2014. 1 electron. Wholesale. disk (CD-ROM).
6. Zolotarev V. V. *Teoriya i algoritmy mnogoporogovogo dekodirovaniya* [Theory and algorithms multithreshold decoding], 2nd ed. Moscow, «Goryachaya liniya – Telekom» Publ., 2014. 266 p.
7. Lemmle D. V. Kharakteristiki peredachi signalov OFDM v mnogoluchevykh kanalakh [The transmission characteristics of an OFDM signal in multipath channels]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 2, pp. 207–216.
8. Ovechkin G. V., Ovechkin P. V., Grinchenko N. N., Stolchnev V. K. Algoritmy postroeniya samoortogonalnykh kodov dlya mnogoporogovykh dekodeirov [Algorithm for construction of self-orthogonal codes for multithreshold decoders]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskaya nauka* [News of the Tula State University. Technics science], 2013, issue 9, part 2, pp. 179–188.
9. Ovechkin G. V., Shevlyakov D. A. Effektivnost mnogoporogovykh metodov korrektsii oshibok v kanalakh svyazi s zamiraniyami [Efficiency multithreshold methods of error correction in communication channels with fading]. *Uspekhi sovremennoy radioelektroniki: Radiotekhnika* [Achievements of Modern Radioelectronics: Radiotechnics], 2014, no. 6, pp. 37–43.

10. Reyklin V. I. *Chislennyye metody optimizatsii* [Numerical optimization methods], Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ. House, 2011. 105 p.
11. Sklyar B. *Tsifrovaya svyaz. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye* [Digital communication. Theoretical bases and practical application], Moscow, Williams Publ., 2004. 1104 p.
12. Shevlyakov D. A. Algoritmy optimizatsii parametrov mnogoporogovogo dekodera [The optimization algorithm parameters multithreshold decoder]. *Novyye informatsionnyye tekhnologii v nauchnykh issledovaniyakh i v obrazovanii : tezisy dokladov XIX Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, molodykh uchenykh i spetsialistov* [New Information Technologies in Research and in Education. Proceedings of the XIX All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Young Scientists and Specialists], Ryazan, Ryazan State Radio Engineering University Publ. House, 2014, pp. 115–121.
13. Shevlyakov D. A. Sovremennyye metody korrektsii oshibok dlya tsifrovyykh sistem peredachi dannykh [Modern methods of error correction for digital data transmission systems]. *Molodezh, obrazovanie, nauka : materialy VIII Rossiyskoy ezhegodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Youth, Education and Science. Proceedings of the VIII Annual Russian Scientific and Practical Conference of Undergraduates, Graduate Students and Young Scientists], Ufa, East Economics and Law Academy of Humanities Publ. House, 2013, pp. 154–158.
14. Arikan E. Systematic polar coding. *IEEE Communications Letters*, August 2011, vol. 15, no. 8, pp. 860–862.
15. Cushon K., Hemati S., Leroux C., Mannor S., Gross W. J. Energy-Efficient LDPC Decoders Using Differential Binary Message Passing. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2014, vol. 62, no. 3, pp. 619–631.
16. Ould-Cheikh-Mouhamedou Y. A simple and efficient method for lowering the error floors of turbo codes that use structured interleavers. *IEEE Communications Letters*, 2012, vol. 16, no. 3, pp. 392–395.

УДК 004.891

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМ КЛАССИФИКАЦИИ В ГЕТЕРОГЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ¹

Статья поступила в редакцию 04.07.2015, в окончательном варианте 10.09.2015.

Курочкин Александр Геннадиевич, коммерческий директор, ООО «НПЦ “Иннотех”», 305040, Российская Федерация, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94, e-mail: ak.kursk@gmail.com

Жилин Валерий Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, Курская государственная сельскохозяйственная академия имени профессора И. И. Иванова, 305004, Российская Федерация, г. Курск, ул. К. Маркса, 70, e-mail: shatolg@mail.ru

Суржикова Светлана Евгеньевна, аспирант, Юго-Западный государственный университет, 305004, Российская Федерация, г. Курск, ул. Челюскинцев, 19, e-mail: moi_lanchik@mail.ru

Филист Сергей Алексеевич, доктор технических наук, профессор, Юго-Западный государственный университет, 305004, Российская Федерация, г. Курск, ул. Челюскинцев, 19, e-mail: SFilist@gmail.com

Для мониторинга функционального состояния органов и систем человека предложено использовать анализ вольтамперных характеристик в биоактивных точках (БАТ) с последующим построением многоагентных классификаторов. С целью получения вектора информативных признаков,

¹ Исследования выполнены при поддержке федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2014–2020 годы». Проект «Разработка математического и программного обеспечения автоматизированных диагностических комплексов для анализа и классификации изображений мазков периферической крови в процессе лекарственного воздействия».

характеризующего состояние БАТ, использовалась аппроксимация вольтамперной характеристики полиномом седьмого порядка. Для классификации функционального состояния биообъекта применялись многоагентные классификаторы, основанные на вероятностных нейронных сетях и нечетких нейронных сетях. Классификаторы содержат три макрослоя, первый из которых состоит из модулей вероятностных трехслойных нейронных сетей, второй и третий – из модулей двухслойных нечетких нейронных сетей. Количество модулей в этих макрослоях равно числу классов функционального состояния исследуемых систем. Классификаторы позволяют определить субъективные вероятности принадлежности входного вектора (множества векторов в случае гетерогенного пространства информативных признаков) к выделяемым классам состояний исследуемых объектов.

Ключевые слова: вольтамперные характеристики биоматериалов, гетерогенное пространство информативных признаков, классификация состояний, многоагентные классификаторы, алгоритмы анализа, вероятностные нейронные сети, нечеткие нейронные сети

USE OF HYBRID NEURAL NETWORK MODELS FOR MNOGOAGENTNY SYSTEMS OF CLASSIFICATION IN HETEROGENEOUS SPACE OF INFORMATIVE SIGNS

Kurochkin Aleksandr G., commercial director, LLC «RPC" Innotech"», 94 50 let Oktyabrya St., Kursk, 305040, Russian Federation, e-mail: ak.kursk@gmail.com

Zhilin Valeriy V., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Kursk State Agricultural Academy named after Professor I. I. Ivanov, 70 Karl Marks St., Kursk, 305004, Russian Federation, e-mail: shatolg@mail.ru

Surzhikova Svetlana Ye., post-graduate student, South-West State University, 19 Chelyuskintsi St., Kursk, 305004, Russian Federation, e-mail: moi_lanchik@mail.ru

Filist Sergey A., D.Sc. (Engineering), Professor, South-West State University, 19 Chelyuskintsi St., Kursk, 305004, Russian Federation, e-mail: SFilist@gmail.com

To monitor the functional state of organs and systems of the person proposed to use the analysis of current-voltage characteristics of bio-active points, and then build multi-agent classifiers. To obtain the vector of informative features characterizing the state of current-voltage characteristics of bio-active points was used approximation of current-voltage characteristics of a polynomial of the seventh order. In order to diagnose the functional state of a biological object used multi-agent classifiers based on probabilistic neural networks and fuzzy neural networks. Classifiers contain three microslots, the first of which consists of modules of three-layer probabilistic neural networks, the second and the third module of two-layer fuzzy neural networks. The number of modules in these microslots equal to the number of classes of the functional state of the systems studied. Classifiers allow us to determine the subjective probabilities of belonging of the input vector (array of vectors in the case of heterogeneous space of informative features) to be allocated to the classes of States of the studied objects.

Keywords: current-voltage characteristics of biomaterials, heterogeneous space of informative features, classification of States, multi-agent classifiers, analysis algorithms, probabilistic neural network, fuzzy neural network

Введение. Использование биоактивных точек (БАТ) на теле человека для целей диагностики и управления его состоянием традиционно является предметом повышенного интереса в сфере медицины и особенно так называемой «восточной медицины» [5]. Развитие информационных технологий дает дополнительные возможности в этом отношении. Однако эти возможности в существующих публикациях исследованы недостаточно полно. Поэтому целью настоящей статьи является разработка методов и средств компьютерного анализа вольтамперных характеристик (ВАХ) БАТ с применением современных математических методов и аппаратно-программных решений.

Общая характеристика проблематики работы. Биоимпедансные исследования аномальных зон электропроводности – БАТ являются одним из направлений применения информационных технологий для прогнозирования и ранней диагностики социально значимых заболеваний [1]. Однако при этом имеет место большой разброс результатов измерений, обусловленный индивидуальными особенностями организмов, не связанных с патологией. Кроме того, отметим, что такой подход в целом ориентирован не на диагностику патологий отдельных органов и систем организма, а на выявление патологии меридиана.

Эти факторы приводят к тому, что использование биоимпедансного подхода применительно к БАТ вступает в противоречие с традиционной методологией диагностики и лечения, принятой в европейской классической медицине; не позволяет широко применять указанный подход в клинической практике. Поэтому при диагностических исследованиях целесообразно использовать гетерогенное пространство информативных признаков (ИП). Данное пространство представляет собой множество векторов ИП, минимально коррелированных друг с другом. В качестве классификатора в таком признаковом пространстве разумно применять решающий модуль, построенный по блочному (многоагентному) принципу. При этом каждый блок (автономный агент) осуществляет анализ соответствующего вектора ИП и принимает на основе такого анализа автономное решение.

Такой подход предусматривает получение с каждой анализируемой БАТ вектора ИП и достижение многоагентности за счет включения в диагностический процесс множества БАТ.

Распространенной методикой формирования вектора ИП по результатам анализа импеданса БАТ является исследование ее ВАХ [2, 13]. Такая ВАХ позволяет изучить гистерезисные свойства электропроводимости биообъекта, которые имеют высокую информативность при ранней диагностике различных заболеваний. Однако сам процесс анализа ВАХ в БАТ является достаточно трудоемким, требует значительных затрат времени и не удовлетворяет требованию морфологической интактности [6, 13].

Поэтому в качестве основной задачи настоящей статьи была выбрана разработка методов и средств компьютерного анализа ВАХ БАТ. При этом использовался программно-аппаратный комплекс для анализа ВАХ БАТ на основе модуля L-Card E20-10 [10]. Это дало возможность оперативно и с приемлемым для практики качеством диагностики селективировать (дифференцировать) входные данные по классам состояния биообъектов.

Вычислительная обработка данных. Информацию, заключенную в ВАХ, представим в «пространстве ИП», являющихся наборами векторов, которые соответствуют совокупностям точек ВАХ для различных БАТ. Подбирая соответствующие БАТ и интервал дискретизации для получения точек ВАХ в них, можно построить достаточно гибкие интеллектуальные системы для диагностики и прогнозирования функционального состояния человека или для постановки конкретного диагноза [13].

В процессе диагностики возникает необходимость в оценке вероятностей альтернативных гипотез. Такие вероятности могут быть выражены либо в баллах, либо в процентах. При этом эксперт имеет возможность оценить апостериорную вероятность нулевой гипотезы (обычно – отсутствие патологии) на фоне известных апостериорных вероятностей альтернативных гипотез. Сравнение указанных вероятностей дает ценную информацию при управлении как профилактическими мероприятиями, так и диагностическими исследованиями. Кроме того, в некоторых случаях это позволяет оперативно оценивать и эффективность (результативность) проводимых лечебных мероприятий [3].

Для реализации рассматриваемой методологии исследований целесообразно использовать вероятностные нейронные сети (PNN) [4]. В основе классификации объектов (состояний) с использованием сети PNN лежит метод Байеса.

Задание цены ошибки классификации (соотношения между ошибками первого и второго рода) требует хорошего знания приложения. Однако часто эти цены выбираются одинаковыми для всех классов. Игнорирование различий цен ошибок и априорных вероятно-

стей для различных гипотез все же не избавляет от необходимости оценки функции плотности распределения вероятностей. Оценить эту функцию можно с помощью метода Парцена [14]. В нем используется весовая функция, имеющая центр в точке, представляющей учебный образец. Такая весовая функция называется *функцией потенциала* или *ядром*. Чаще всего в качестве ядра используется *функция Гаусса* [11].

Согласно этому методу для каждого неизвестного образца строится функция Гаусса с центром в точке, соответствующей равенству векторов неизвестного образца X и i -го образца X^i , относящегося к одному из выделяемых классов, то есть:

$$f(X) = \exp(-\|X - X^i\|^2 / \sigma^2), \quad (1)$$

где σ – ширина функции активации (настраиваемый параметр).

Если к выделенному классу принадлежат λ образцов в обучающей выборке, то согласно методу Парцена оценка функции распределения получается в виде суммы функций Гаусса с центрами в точках. Данные точки соответствуют равенству имеющихся образцов, отнесенных к известному классу, и образца неизвестного класса. Это соответствует:

$$P_{\omega_i}(X) = \sum_{\ell=1}^{\lambda} \exp\left(-\|X - X_{\ell}^i\|^2 / \sigma^2\right). \quad (2)$$

Архитектура нейронной сети (НС) PNN построена на основе НС блочного типа [6]. Характерной особенностью сети PNN является то, что каждый решающий модуль сети (агент) осуществляет двухальтернативную (бинарную) классификацию: объект принадлежит к классу ω_i или объект не принадлежит к классу ω_i . В сети PNN будем иметь столько решающих блоков (агентов), сколько БАТ используется при принятии решения о наличии данного заболевания. На выходе каждого блока PNN будем иметь оценки функции распределения $P_{\omega_i}(X)$ и $P_{\bar{\omega}_i}(X)$, определенные согласно (2).

Структурная схема НС, реализующей вышеописанный подход, приведена на рисунке 1.

Слой суммирования в каждом модуле PNN имеет два нейрона: для классов ω_i и $\bar{\omega}_i$. К любому нейрону слоя суммирования идут связи только от элементов слоя образцов, принадлежащих соответствующему классу. Весовые значения связей, идущих от элементов слоя образцов к нейронам слоя суммирования, фиксируются равными «1». Элемент слоя суммирования просто суммирует выходные значения элементов слоя образцов. Эта сумма дает оценку значения функции плотности распределения вероятностей для совокупности экземпляров соответствующего класса.

На рисунке 1 каждый входной набор данных имеет шесть признаков. Слой образцов имеет по одному элементу для каждого образца из обучающей выборки. Входной слой и слой образцов образуют полносвязную структуру в каждом модуле классификации PNN. Для связей, входящих в элемент слоя образцов, весовые значения устанавливаются равными элементам соответствующего вектора-образца.

Выходы нейронов выходного слоя i -го блока PNN для сети с шестьюкомпонентным вектором ИП, структурная схема которой представлена на рисунке 1, определяются как:

$$P_{\omega_i} = \sum_{k=1}^{K_{\omega_i}} \exp\left(-\sum_{j=1}^6 (w_{\omega_i}^{jk} - x_j)^2 / \sigma_{\omega_i}^2\right), \quad (3)$$

$$P_{\bar{\omega}_i} = \sum_{k=1}^{K_{\bar{\omega}_i}} \exp\left(-\sum_{j=1}^6 (w_{\bar{\omega}_i}^{jk} - x_j)^2 / \sigma_{\bar{\omega}_i}^2\right), \quad (4)$$

где x_j – компоненты вектора неизвестного входного образца, K_{ω_i} – число элементов класса ω_i , $K_{\bar{\omega}_i}$ – число элементов класса $\bar{\omega}_i$.

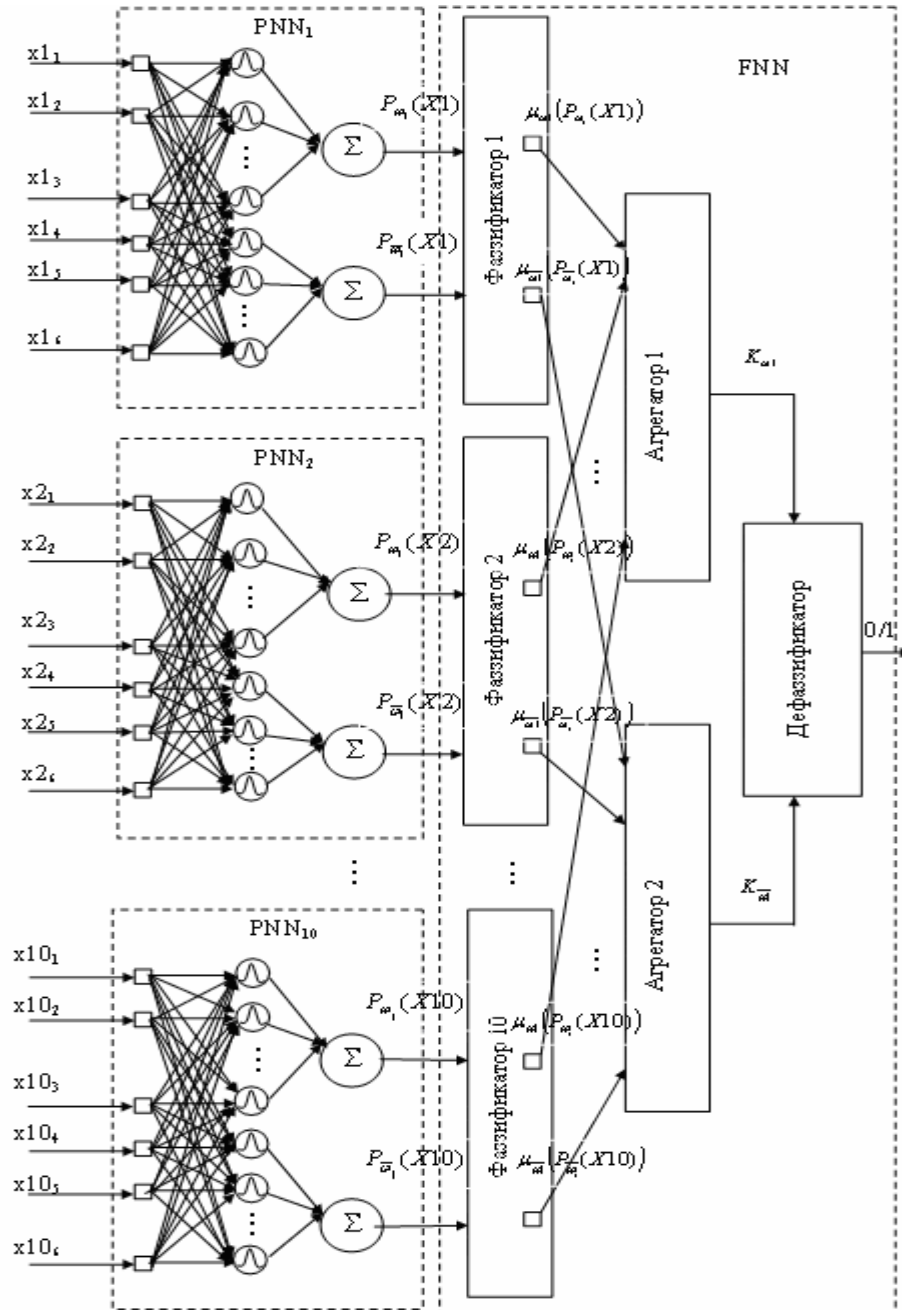


Рис. 1. Структурная схема гибридной сети PNN-FNN для десяти БАТ

В этих выражениях используется квадрат евклидова расстояния от неизвестного экземпляра до элемента слоя образцов. Значение σ задает ширину функции активности и оказывается очень важным. Поэтому оно чаще всего подбирается в результате эксперимента.

В обучающей выборке содержится K элементов из N классов. Для любого класса i справедливо равенство:

$$K_{\omega_i} + K_{\omega_i}^- = K. \quad (5)$$

Для сети PNN не требуется обучение в том смысле, какое необходимо для сетей с обратным распространением ошибок [8]. Причина – все параметры сети PNN (число элементов и значения весов) определяются непосредственно обучающей выборкой.

Архитектура сети PNN определяется структурой обучающей выборки:

- число входных элементов равно числу признаков (на рисунке 1 их шесть);
- число элементов слоя образцов в каждом модуле классификации равно числу элементов в обучающей выборке K ;
- число элементов слоя суммирования в блоке PNN равно удвоенному числу БАТ, используемых в классификационной модели.

На двух выходах каждого блока в слое PNN присутствуют вероятность P_{ω_i} наличия патологии ω_i и вероятность $P_{\bar{\omega}_i}$ отсутствия патологии, обозначенная как $\bar{\omega}_i$. При этом, в общем случае, $P_{\omega_i} + P_{\bar{\omega}_i} \neq 1$. Эти вероятности определяются соотношением и расположением в пространстве ИП обучающей выборки, а также выбранной шириной функций активации в уравнениях (3) и (4).

Для принятия окончательного решения к вероятностному слою НС PNN добавляется слой, выполненный по нечеткой технологии – FNN. Работа этого слоя основана на нечеткой логике принятия решений [8].

Слой FNN имеет типовую структуру нечеткой НС и содержит три слоя: слой фаззификаторов, слой агрегаторов и дефаззификатор.

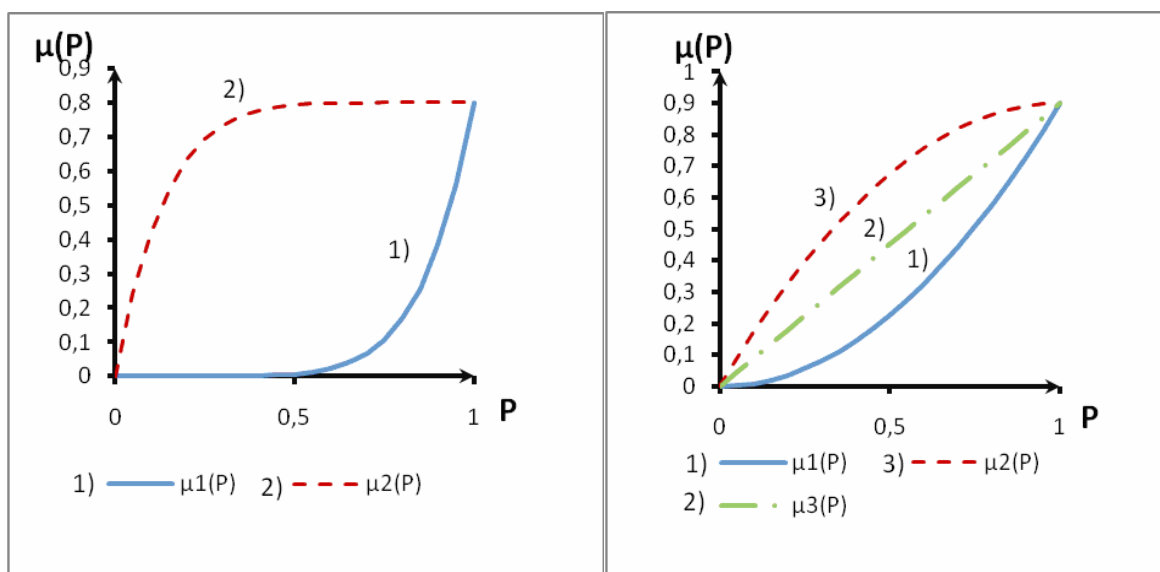
Слой фаззификаторов выполняет нелинейное преобразование выходов блока PNN:

$$\mu_{\omega_i, i} = f(P_{\omega_i}(Xi)), \quad (6)$$

где i – номер БАТ, Xi – вектор ИП, полученный по i -ой БАТ.

В частном случае в качестве (6) может быть использован повторитель или масштабирующее преобразование.

На рисунке 2 показаны возможные виды нелинейных преобразований (6), которые могут применяться в фаззификаторах блока FNN.



а) б)
 Рис 2. Нелинейные преобразования в фаззификаторе

Нелинейные преобразования фаззификатора позволяют акцентировать значения функций принадлежности либо на малых, либо на больших значениях вероятностей. Эти нелинейные преобразования могут подбираться эмпирически или рассчитываться аналитически. Например, для подчеркивания (акцентирования) больших значений вероятностей используется выражение:

$$\mu_1(P) = \alpha P^\gamma, \quad (7)$$

а для подчеркивания малых значений вероятностей – выражение:

$$\mu_2(P) = \alpha [1 - (1 - P)^\gamma], \quad (8)$$

где $\gamma \geq 1$, а коэффициент $\alpha \leq 1$ позволяет учитывать информативность БАТ при диагностике выбранной патологии.

Аппроксимации нелинейного преобразования фаззификатора зависимостями (7) и (8) удобны тем, что они имеют два управляемых параметра. Первый из них (α) отражает уровень доверия – эмпирический опыт эксперта в отношении соответствующей группы признаков, а второй (γ) – может быть настроен при наличии обучающей выборки.

На рисунке 2а сплошная кривая, соответствующая преобразованию (7) и штриховая, соответствующая формуле (8), получены при значениях $\alpha = 0,8$ и $\gamma = 7$. На рисунке 2б аналогичные кривые получены при значениях $\alpha = 0,9$ и $\gamma = 2$, а штрих-пунктирная прямая соответствует $\gamma = 1$.

Каждый фаззификатор FNN имеет два входных нейрона. В первом из них осуществляется нелинейное преобразование вероятности наличия патологии ω_i , а во втором – вероятности отсутствия этой патологии.

Агрегаторы второго слоя FNN построены таким образом, чтобы нечеткая операция, которая в них осуществляется, была аналогична операции сложения вероятностей или алгебраического сложения. Выполнение этого требования достигается тем, что на нейроны первого слоя модулей макрослоя FNN поступают свидетельства, подтверждающие одно и то же событие. Это значит, что на первый нейрон должна поступать информация, подтверждающая наличие патологии ω_i , а на второй – подтверждающая отсутствие патологии, т.е. $\bar{\omega}_i$.

Конкретная нечеткая операция в узлах FNN первого слоя определяется посредством обучения модулей FNN и экспертной коррекции функций субъективной плотности вероятностей на выходе макрослоя PNN.

Третий слой модуля FNN содержит всего лишь один нейрон, который исполняет роль дефаззификатора в системе нечеткого логического вывода. Нечеткие операции, выполняемые в узлах FNN, при отсутствии или недостатке экспертных данных могут быть определены на основе методики, основанной на использовании генетических алгоритмов и описанной в [8].

Если договориться с экспертами, что вероятность по каждой БАТ способна только подтверждать диагноз, то уверенность в этом решении по всем исследуемым БАТ для класса (заболевания) ω_ℓ может быть определена по формуле алгебраического сложения:

$$K_{\omega_\ell}(i+1) = K_{\omega_\ell}(i) + \mu_{\omega_\ell}(P_{\omega_\ell}(X(i+1)))(1 - K_{\omega_\ell}(i)), \quad (9)$$

где K_{ω_ℓ} – уверенность в том, что образец принадлежит к классу ω_ℓ ($0 \leq K_{\omega_\ell} \leq 1$);

$K_{\omega_\ell}(1) = \mu_{\omega_\ell}(P_{\omega_\ell}(X1))$; i – номер БАТ.

Дефаззификатор FNN работает на основе «наивного Байеса» согласно выражению (10):

$$h_{\omega_\ell} \cdot c_{\omega_\ell} \cdot K_{\omega_\ell} > h_{\bar{\omega}_\ell} \cdot c_{\bar{\omega}_\ell} \cdot K_{\bar{\omega}_\ell}, \quad (10)$$

где h – априорная вероятность соответствующего класса, c – цена ошибки классификации, K – числовое значение на выходе агрегатора.

Пример решения диагностической задачи с помощью программно-аппаратного комплекса для анализа ВАХ БАТ на основе модуля L-Card E20-10. Для апробации методики была выбрана задача диагностики пиелонефрита у беременных женщин. Инструментальные методы диагностики пиелонефрита при беременности, в том числе катетеризацию мочеточников и почечных лоханок, применяют редко. Опасным считают даже выполнение беременным надлобковой пункции мочевого пузыря для взятия мочи на анализ. Это связано с возможным изменением топографо-анатомических взаимоотношений мочевых и половых органов во время беременности [9].

В связи с вышеописанными сложностями в качестве диагностических признаков пиелонефрита нами использовались ВАХ БАТ, расположенных по меридианам, указанным ниже. В качестве классификаторов применялись многоагентные системы классификации.

Исследование выполнялись в два этапа. На первом из них с помощью однофакторного дисперсионного анализа доказывалась возможность использования построенного пространства ИП для диагностики пиелонефрита у беременных женщин. На втором этапе на контрольных выборках проверялась эффективность методов и средств диагностики пиелонефрита.

При выполнении экспериментальных исследований на первом этапе были сформированы две выборки по двадцать объектов в каждой: 1 – здоровые беременные женщины; 2 – беременные женщины, больные пиелонефритом. Класс не беременных женщин, больных пиелонефритом, в данном случае не рассматривается, так как диагностические исследования таких пациентов могут быть осуществлены известными методами (без использования ВАХ БАТ).

Для каждого объекта из исследуемых выборок были получены ВАХ БАТ из трех меридианов: меридиан сердца – БАТ С7; меридиан легких – БАТ Р9; меридиан перикарда – БАТ МС7 [5]. После получения соответствующих ВАХ они аппроксимировались полиномами седьмого порядка.

Для обоснования выбора модели ВАХ БАТ применялся факторный анализ в пакете STATISTICA 6. Таблица экспериментальных данных была получена по результатам исследования ВАХ БАТ С7 (шэнь-мэнь) меридиана сердца у двадцати волонтеров, не страдающих хроническими заболеваниями.

Выбор числа факторов (они определяют число независимых переменных модели и, соответственно, степень полинома, аппроксимирующего ВАХ) был осуществлен на основе критерия Кайзера (Kaiser, 1960), согласно которому оставляются факторы с собственными значениями большими «1» и критерия осыпи Кэттеля (Cattell, 1966).

Обучающие и контрольные выборки формировались на основе экспертных оценок специалистов урологического отделения Больницы скорой медицинской помощи г. Курска.

Эффективность диагностических решающих правил проверялась путем исследования и сравнительной оценки показателей качества диагностики пиелонефрита моделями многоагентных мобильных интеллектуальных систем с различным числом агентов на нижнем уровне (с различным числом анализируемых БАТ). В качестве расчетных показателей эффективности диагностических решающих правил использовались общепринятые в медицинской практике показатели качества диагностики: диагностическая чувствительность (ДЧ); диагностическая специфичность (ДС); диагностическая эффективность решающего правила (ДЭ).

В работе, описанной в данной статье, программная реализация НС-моделей решающих модулей проводилось с помощью программного обеспечения «Neurowork». «Neurowork» был разработан на кафедре биомедицинской инженерии ЮЗГУ и выполнен в среде MATLAB и FuzzyTech.

Результаты сравнения показателей качества диагностики пиелонефрита у беременных женщин посредством разработанных гибридных интеллектуальных классификаторов приведены на рисунке 3.

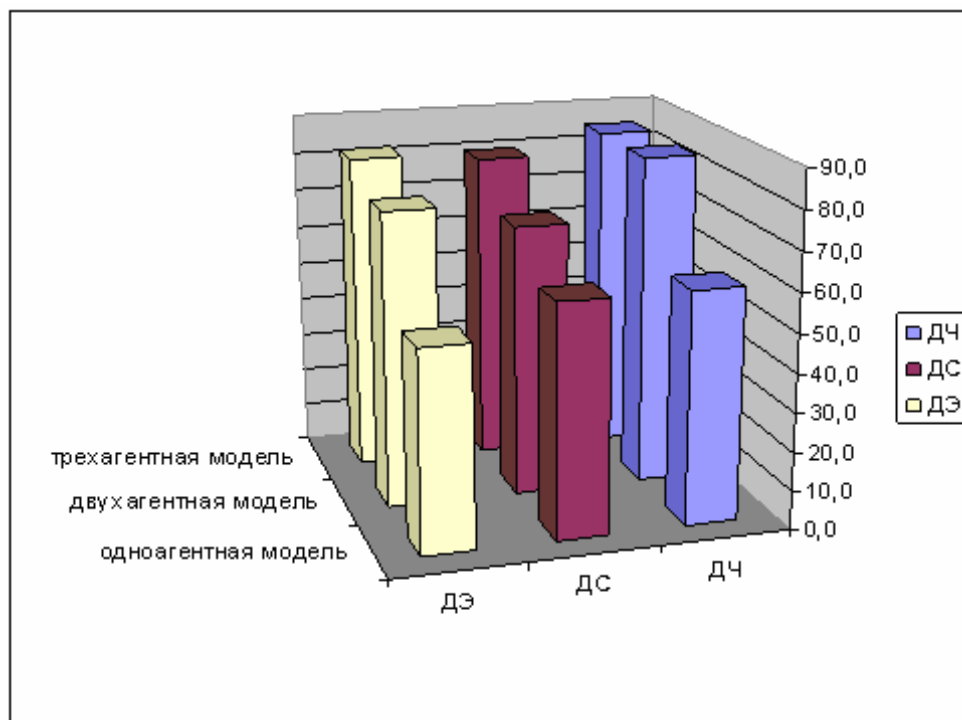


Рис. 3. Сравнительная характеристика показателей качества интеллектуальных систем диагностики пиелонефрита

Анализ результатов, представленных на рисунке 3, показывает, что качество принятия решений в целом растет по мере увеличения числа агентов в системе. При этом диагностическая чувствительность двух- и трехагентной моделей практически не отличаются. Диагностическая специфичность возрастает на 10 % при наращивании числа агентов в первом слое гибридной сети PNN-FNN.

Сравнение характеристик (показателей), полученных с использованием многоагентных систем диагностики пиелонефрита, позволяет рекомендовать рассмотренные в статье алгоритмические решения для практического использования в системах выявления урологических заболеваний у беременных женщин.

Выводы.

1. Показано, что в качестве НС при двухальтернативной классификации целесообразно использовать гибридную НС, состоящую из макрослоев со структурой PNN-FNN. Первый макрослой построен на основе вероятностной НС, а второй – на основе нечеткой НС.

2. Предложена PNN – структура вероятностной НС, включающая вероятностные НС блочного типа с двумя скрытыми слоями. Данные слои построены на основе архитектуры радиально-базисных НС, число блоков в которых равно числу исследуемых БАТ или групп ИП.

3. Разработана FNN – структура нечеткой НС для двухальтернативной классификации, состоящая из трех слоев. Первый из них осуществляет нелинейные преобразования выходов PNN; второй – агрегирует выходы первого слоя, согласно принимаемым решениям по диагностируемым классам; третий – выполняет функции дефазификатора.

4. Проведена апробация предложенных методов и средств на примере решения задач диагностики пиелонефрита у беременных женщин посредством многоагентной мобильной системы. Результаты апробации показали, что предлагаемые технологии диагностики могут быть рекомендованы для выявления (подтверждения) урологических заболеваний у беременных женщин.

Список литературы

1. Акулина М. М. Использование точек акупунктуры в автоматизированной системе профилактических осмотров / М. М. Акулина, А. А. Рыбченко, В. Т. Соломонов // Теория и практика рефлексотерапии, медико-биологические и физико-технические аспекты. – Саратов : Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, 1981. – С. 216–223.
2. Арсеньев В. Е. Исследование возможности диагностики заболеваний человека по вольтамперным характеристикам выделенных участков кожи / В. Е. Арсеньев, А. П. Бердашкевич, А. С. Глазунов // Теория и практика рефлексотерапии, медико-биологические и физико-технические аспекты. – Саратов : Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, 1981. – С. 232–236.
3. Брумштейн Ю. М. Анализ моделей и методов выбора оптимальных совокупностей решений для задач планирования в условиях ресурсных ограничений и рисков / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Тарков, И. А. Дюдинов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3. – С. 47–56.
4. Коровин Е. Н. Применение гибридной нейронной сети с макрослоями для классификации сердечно-сосудистых заболеваний / Е. Н. Коровин, О. В. Шаталова, В. В. Жилин // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2014. – № 9. – С. 32–37.
5. Лувсан Г. Традиционные и современные аспекты восточной рефлексотерапии / Г. Лувсан. – 3-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск : Наука. Сибирское отделение, 1991. – 432 с.
6. Мохаммед Аль-Гунаид. Нейронечеткая модель краткосрочного прогнозирования потребления электроэнергии / Аль-Гунаид Мохаммед // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 2 (22). – С. 47–56.
7. Нечушкин А. И. Физиологические основы функциональной коррекции электропунктурными методами / А. И. Нечушкин // Вопросы медицинской электроники. – 1981. – Вып. 3. – С. 52–56.
8. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы : пер. с польск. / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский ; пер. И. Д. Рудинского. – Москва : Горячая линия Телеком, 2004. – 452 с.
9. Сафронова Л. А. Пиелонефрит и беременность / Л. А. Сафронова // Русский медицинский журнал. – 2000. – Т. 8, № 18 (119). – С. 778–781.
10. Суржикова С. Е. Программно-аппаратный комплекс для анализа вольтамперных характеристик биоактивных точек на основе модуля L-Card E20-10 / С. Е. Суржикова, О. В. Шаталова, В. В. Федянин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 1. – С. 47–56.
11. Терзиян А. В. Вероятностные метасети для решения задач интеллектуального анализа данных / А. В. Терзиян, В. Я. Витько // Искусственный интеллект. – 2002. – № 3. – С. 188–197.
12. Филист С. А. Диагностическая система на основе анализа вольтамперных характеристик биоактивных точек / С. А. Филист, Н. А. Корневский, О. В. Шаталова и другие // Биотехносфера. – 2013. – № 5 (29). – С. 33–38.
13. Филист С. А. Метод исследования электрических характеристик биоактивных точек / С. А. Филист, С. Е. Суржикова, Д. А. Кассим Кабус // Научный взгляд на современный этап развития общественных, технических, гуманитарных и естественных наук. Актуальные проблемы : сборник статей по итогам Всероссийской научно-практической конференции. – Санкт-Петербург, 2014. – С. 118–122.
14. Parzen E. An estimation of a probability density function and mode / E. Parzen // The Annals of Mathematical Statistics. – 1962. – Vol. 33, № 3. – P. 1065–1076.

References

1. Akulina M. M., Rybchenko A. A., Solomonov V. T. Ispolzovanie tochek akupunktury v avtomatizirovannoy sisteme profilakticheskikh osmotrov [Use of acupuncture points in the automated system of preventive examinations]. *Teoriya i praktika refleksoterapii, mediko-biologicheskie i fiziko-tekhnicheskie aspekty* [Theory and Practice of Acupuncture, Medical and Biological, and Physical and Technical Aspects], Saratov, Saratov State University named after N. G. Chernyshevsky Publ. House, 1981, pp. 216–223.
2. Arsenev V. Ye., Berdashkevich A. P., Glazunov A. S. Issledovanie vozmozhnosti diagnostiki zabolevaniy cheloveka po voltampernym kharakteristikam vydelennykh uchastkov kozhi [Study of diagnostics of diseases of the human voltage-current characteristics of the selected areas of the skin]. *Teoriya i praktika refleksoterapii, mediko-biologicheskie i fiziko-tekhnicheskie aspekty* [Theory and Practice of Acupuncture,

Medical and Biological, and Physical and Technical Aspects], Saratov, Saratov State University named after N. G. Chernyshevsky Publ. House, 1981, pp. 232-236.

3. Brumshteyn Yu. M., Tarkov D. A., Dyudikov I. A. Analiz modeley i metodov vybora optimalnykh sovokupnostey resheniy dlya zadach planirovaniya v usloviyakh resursnykh ogranicheniy i riskov [Analysis of models and methods for the selection of optimal sets of solutions for planning tasks in the context of resource constraints and risks]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 3, pp. 47–56.

4. Korovin Ye. N., Shatalova O. V., Zhilin V. V. Primenenie gibridnoy neyronnoy seti s makrosloyami dlya klassifikatsii serdechno-sosudistyykh zabolevaniy [Application of hybrid neural network macroslope for the classification of cardiovascular diseases]. *Biomeditsinskaya radioelektronika* [Biomedical Radio Electronics], 2014, no. 9, pp. 32–37.

5. Luvsan G. Traditsionnye i sovremennye aspekty vostochnoy refleksoterapi [Traditional and modern aspects of Eastern reflexotherapy], 3rd ed., rev. and add. Novosibirsk, Nauka. Sibirskoe otdelenie Publ., 1991. 432 p.

6. Mokhammed Al-Gunaid. Neyronechetskaya model kratkosrochnogo prognozirovaniya potrebleniya elektroenergii [Article the fuzzy neural network model for short-term forecasting of electricity consumption]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 2 (22), pp. 47–56.

7. Nechushkin A. I. Fiziologicheskie osnovy funktsionalnoy korrektsii elektropunktturnymi metodami [Physiological basis of functional correction methods of electroacupuncture]. *Voprosy meditsinskoj elektroniki* [Problems of Medical Electronics], 1981, issue 3, pp. 52–56.

8. Rutkovskaya D., Pilinskiy M., Rutkovskiy L. *Neyronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy* [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems], Moscow, Goryachaya liniya Telekom Publ., 2004. 452 p.

9. Safronova L. A. Pielonefrit i beremennost [Pyelonephritis and pregnancy]. *Russkiy meditsinskiy zhurnal* [Russian Medical Journal], 2000, vol. 8, no. 18 (119), pp. 778–781.

10. Surzhikova S. Ye., Shatalova O. V., Fedyanin V. V. Programmno-apparatnyy kompleks dlya analiza voltampernykh kharakteristik bioaktivnykh toчек naosnove modulya L-Card E20-10 [Hardware-software complex for the analysis of current-voltage characteristics of bioactive points based on module L-Card E20-10]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 1., pp. 47–56.

11. Terziyan A. V., Vitko V. Ya. Veroyatnostnye metaseti dlya resheniya zadach intellektualnogo analiza dannykh [Probabilistic Metacity for solving data mining]. *Iskusstvennyy intellekt* [Artificial Intelligence], 2002, no. 3, pp. 188–197.

12. Filist S. A., Korenevskiy N. A., Shatalova O. V., et al. Diagnosticheskaya sistema na osnove analiza voltampernykh kharakteristik bioaktivnykh toчек [A Diagnostic system based on the analysis of current-voltage characteristics of bioactive points]. *Biotehnosfera* [Biotechnosphere], 2013, no. 5 (29), pp. 33–38.

13. Filist S. A., Surzhikova S. Ye., Kassim D. A. Kabus Metod issledovaniya elektricheskikh kharakteristik bioaktivnykh toчек [Method of the study of the electrical characteristics of bioactive points]. *Nauchnyy vzglyad na sovremennyy etap razvitiya obshchestvennykh, tekhnicheskikh, gumanitarnykh i estestvennykh nauk. Aktualnye problemy : sbornik statey po itogam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Scientific View on the Current Stage of Development of Social, Technological, Humanitarian and Natural Sciences. Actual Problems. Proceedings of the Results of All-Russian Scientific and Practical Conference], Saint Petersburg, 2014, pp. 118–122.

14. Parzen E. An estimation of a probability density function and mode. *The Annual of Mathematical Statistics*, 1962, vol. 33, no. 3, pp. 1065–1076.

681.3.06:[004.738.5+004.77]

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СЧЕТЧИКОВ ПОСЕЩАЕМОСТИ САЙТОВ¹

Статья поступила в редакцию 09.07.2015, в окончательном варианте 14.09.2015.

Васьковский Евгений Юрьевич, аспирант, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: vaskovskiy_evgeniy@mail.ru

Брумштейн Юрий Моисеевич, кандидат технических наук, доцент, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: brum2003@mail.ru

Обоснована актуальность задачи автоматизированного мониторинга посещаемости интернет-сайтов для информационного обеспечения решений по управлению их функциональностью, информационным наполнением, частотой актуализации данных и пр. Рассмотрены проблемы, связанные с применением сервисов веб-аналитики (счетчиков) для получения данных по востребованности интернет-сайтов, их страничек, отдельных материалов. Обоснованы принципы интерпретации этих данных. Описаны технологии использования счетчиков, их функциональные возможности, особенности и ограничения. Проанализированы различные варианты классификации счетчиков; метрик, используемых счетчиками; формируемых ими отчетов. Исследована номенклатура показателей, которые позволяют оценивать (сравнивать) счетчики. Дана оценка информативности и полезности этих показателей для различных категорий лиц, заинтересованных в получении сведений о востребованности информации, размещенной на интернет-сайтах. Выполнено сравнение функциональных возможностей, достоинств и недостатков различных счетчиков, которые наиболее широко применяются в России. Исследованы также некоторые вопросы информационной безопасности, связанные с применением счетчиков посещаемости интернет-сайтов.

Ключевые слова: интернет-сайт, показатели востребованности, информативность, сервис веб-аналитики, функциональность счетчиков, сравнение функциональности, статистические данные, метрика, отчет, конверсия

SYSTEM ANALYSIS OF SITES ATTENDANCE COUNTERS FUNCTIONALITY

Vaskovskiy Vasily V., post-graduate student, Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: vaskovskij@mail.ru

Brumsteyn Yuriy M., Ph.D. (Engineering), Associate professor, Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: brum2003@mail.ru

In this paper is proved relevance of automated monitoring problem for attendance of Internet sites – for the purpose of information support of decisions, concerning with management of sites functionality, information filling, data updating frequency and so forth. Authors are considered the problems, connected with application of web analytics services (counters) for data acquisition about demand of Internet sites, their pages, and separate materials. The principles of interpretation for these data are proved. In article are described technologies of counters usage, their functionality, features and restrictions. Authors analyze various options of counters classification; the metrics used by counters; the reports formed by them. Also are investigated product indicators, who allow estimate (compare) counters. In this paper is given the assessment of informational content and usefulness of these indicators for various categories of persons, interested in obtaining data, concerned with demand of information, placed at the Internet sites. Comparison of functionality, merits and demerits of various counters,

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ. Грант № 14-06-00279 «Разработка методов исследования и моделирования объемов/структуры интеллектуальных ресурсов в регионах России».

which are most widely applied in Russia, is executed. Authors are also investigated some questions of information security, connected with usage of attendance counters for Internet sites.

Keywords: Internet site, demand indicators, informational content, web analytics services, functionality of counters, functionality comparison, statistical data, metrics, report, conversion

Введение. В настоящее время интернет-сайты (далее – просто сайты) играют важнейшую роль в накоплении различных видов информации, обеспечении ее доступности, поддержке процессов обмена информацией и пр. Как следствие, использование сайтов способствуют наращиванию и эффективному использованию интеллектуальных ресурсов регионов [2], стран, планеты в целом. Однако рост объемов хранимой на сайтах информации, усложнение структуры самих сайтов при увеличении количества их страниц и другие факторы требуют разработки и грамотного применения адекватных мер информационного менеджмента. Такие меры, в свою очередь, должны опираться на анализ посещаемости сайтов и их страниц; оценки востребованности информации (ВИ) находящейся на них. Эти сведения важны для владельцев сайтов; юридических и физических лиц (ЮиФЛ), размещающих на них различные сведения – в т.ч. для рекламодателей. В связи с этим в рамках менеджмента сайтов актуально применение различных инструментов веб-аналитики (ИВА). В качестве синонима используется также термин «сервис веб-аналитики (СВА). Наиболее эффективными инструментами СВА считаются так называемые «счетчики». Рациональность их выбора и эффективности применения требуют достаточно высокой ИТ-квалификации лиц, занимающихся администрированием web-сайтов [3].

Поставщики ИВА имеют множество клиентов, заинтересованных в анализе посещаемости сайтов и, вследствие этого, располагают огромными объемами данных. В настоящее время многие поставщики ИВА объединяют сведения по отдельным клиентам (сайтам) и представляют их в форме сравнительных данных. Эти данные различные ЮиФЛ могут использовать для индексирования посещаемости сайтов и оценки фактической ВИ, размещенной на них. Имеется достаточно много работ, посвященных отдельным счетчикам сайтов. Однако в существующей литературе слабо исследованы такие вопросы: сравнение функциональных возможностей (эффективности) различных счетчиков в отношении сбора данных по ВИ на сайтах; комплексный анализ информативности показателей, применяемых в рамках веб-аналитики при оценке ВИ на сайтах. Поэтому целью настоящей статьи является систематизация и анализ информации по указанным направлениям.

Место счетчиков посещаемости сайтов среди средств веб-аналитики. В настоящее время на рынке предлагается множество различных СВА – платных и бесплатных. СВА, как правило, состоят из двух частей, представляющих собой «фрагменты программного кода»: компоненты, размещенные на страницах сайтов, по которым надо собирать данные; компоненты (движка), обрабатывающие полученную со страниц различных сайтов информацию и представляющие ее в виде различных статистических отчетов.

Многие СВА кроме подсчета количества посетителей (общего и уникальных) «умеют» учитывать подробности их поведения. Наиболее необходимые сведения, требующиеся от СВА: кто вошел на сайт и какие программные средства он использовал для работы (имя хоста, браузер, операционная система); откуда пришел (с какого поисковика, или по ссылке с какого сайта); когда посетитель вошел на сайт или страницу сайта; сколько времени он провел на сайте / странице сайта; куда ушел с сайта / страницы сайта; сколько посетителей было всего за определенный период времени; сколько из них были уникальными. Считается, что этого минимума достаточно для анализа.

Существуют три основных способа обработки данных об активности посетителей на сайте. (1) Накопление журнальных файлов на стороне владельцев сайтов и их анализ с по-

мощью программы – анализатора логов. При этом требуется установка соответствующей программы на сайт и регулярные усилия по получению и обработке данных в журналах. (2) Использование счётчика (СВА) – в виде сервера статистики. При этом журнал загрузок элемента сайта (например, ее страницы) ведется на стороне разработчика СВА. Затем эти данные обрабатываются и предоставляются потребителю в итоговом виде. (3) Комплексные решения для получения статистики в отношении посещаемости сайтов и использования находящейся на них информации.

Недостатком установки двух СВА (счетчика и анализатора логов) является то, что эти программные средства (ПрС) имеют разные алгоритмы сбора данных. Поэтому их результаты могут существенно отличаться. Оптимальным было бы ПрС, позволяющее анализировать и то, и другое (комплексное решение). Однако на практике таких решений очень мало. Для русскоязычных пользователей в настоящее время наиболее перспективным можно считать известный в мире пакет российских разработчиков AdvantageWebLogAnalyzer (<http://www.weblogalyzer.biz>), стоимость которого на 01.06.2015 составляла 128\$.

Основные цели использования СВА обычно заключаются в общем анализе эффективности работы веб-сайта; в выявлении и корректировке малоэффективных маркетинговых стратегий или слабо конверсионных разделов сайтов – т.е. не «преобразующих» посетителей сайтов в потребителей информации на них. Для исследования продуктивности СВА целесообразно подробнее рассмотреть возможности использования счетчиков.

Принципы работы счетчиков и основные метрики. На рынке присутствуют разработки счетчиков двух типов компаний: предоставляющих услуги SEO (поисковой оптимизации); владельцев поисковых систем (ПоС). Во втором случае выбор СВА зависит от популярности той или иной ПоС. По состоянию на конец 2013 г. [10] самой популярной ПоС у пользователей Интернета являлась Google, которая «локализована» для различных языков. Эта система предоставляет сервис GoogleAnalytics. Однако есть страны, где пользователи широко применяют и другие ПоС. Так, например, в России – это Яндекс (предоставляет сервис ЯндексМетрика); в Китае – Baidu (имеет Панель вебмастера); в Украине – BigMir. Эти СВА обеспечивают высокую точность (достоверность) данных для охватываемых ими территорий. Поэтому во многих случаях выбор счетчика зависит от страны, в которой расположен сайт, и стран, на пользователей в которых этот сайт ориентирован (территориальные особенности трафика и алгоритмы его подсчета должны быть совместимы).

В отношении платности выделим два вида счетчиков (серверов статистики): бесплатные – они обычно содержат лишь базовые возможности; коммерческие – с расширенной функциональностью. По набору функций будем различать три типа счетчиков: (Т1) рейтинговые, показывающие количество посетителей за определенный период (обычно – за день, неделю, месяц, за всю историю существования сайта); (Т2) унифицированные (многопрофильные); (Т3) специальные – они обычно коммерческие.

Наибольший интерес представляют унифицированные счетчики. К ним относим следующие подгруппы. (Т2а) Счетчики-трекеры, дающие суммарную информацию по посещениям, выбранным по некоторому срезу (выборке), заданному пользователем (обычно – администратором сайта). (Т2б) Системы интернет-статистики с детализацией сведений по просмотрам страниц. Кроме суммарной (сводной) статистики они дают информацию по просмотрам страниц в пределах каждого посещения. (Т2в) СВА с детализацией поведения посетителей на страницах сайтов – дают максимальный объем информации, включая возможности просмотра всех действий посетителей: движений мыши, кликов ею, нажатий клавиш на клавиатуре и т.д. Затем по собранной поведенческой информации строятся отчеты в виде карт активности посетителей на страницах сайтов.

К отличительным функциям унифицированных счетчиков относятся следующие: установка целей действий и шагов выполнения этих целей; фильтрация данных; автоматиче-

ское сегментирование (дифференцирование) посетителей сайтов на группы; разграничение трафика для отдельных групп пользователей; измерение финансовых показателей трафика.

Для установки счетчика необходимо зарегистрировать сайт на сервере статистики и на каждой странице сайта разместить фрагмент кода счетчика. Эти коды могут быть двух типов: либо их части подгружаются с сервера счетчика (размер такой части обычно не превышает 20 строк); либо код полностью помещается на странице сайта (обычно в виде библиотеки).

Результаты обработки информации счетчиками предоставляются быстро и в достаточно наглядной форме – например, в виде графиков. В частности, счетчики позволяют сравнивать посещаемости различных сайтов. Особенно если на этих сайтах применяются одни и те же счетчики.

Основной недостаток использования счетчиков – замедление доступа посетителей к сайту. Для каждого счетчика необходимо получить его адрес из DNS, установить соединение. Поэтому, чем больше на странице сайта установлено счетчиков, тем медленнее она открывается в браузере пользователя. При отображении страницы в браузере код счетчика генерирует адрес zero-пикселя – метки. В адресе этой метки в качестве параметров код прописывает все данные о посетителе. За счет использования файлов cookie счетчики позволяют достаточно точно идентифицировать пользователя и выяснить, «старый» он или впервые посетил сайт; определить язык, на который настроен браузер пользователя, часовой пояс, параметры экрана, настройки Java, JavaScript; применяется ли прокси-сервер для обеспечения доступа пользователя к Интернету и т.д. Отметим, что учитываемое счетчиком время «активности» посетителя зависит от продолжительности существования («времени жизни») cookie файла.

Сгенерированный счетчиком адрес zero-пикселя запрашивается на сервере статистики. Сервер статистики получает запрос с адресом zero-пикселя, считывает из него все параметры и сохраняет их в своей базе данных – на ее основе потом формируются отчеты. Схема этого процесса изображена на рисунке 1.



Рис. 1. Схема получения данных счетчиком

Счетчики генерируют свои отчеты на основе базовых метрик – величин, которые определяет любая система статистики. Выделим два основных типа метрик – прямые и сегментированные. К прямым относятся те, в которых необходимые величины определяются без применения расчетных формул. При этом вычисляются следующие параметры / показатели. (M1) Количество просмотров страниц, т.е. хитов (Pageviews) – количество загрузок тела страницы сайта в браузер пользователя. (M2) Посетители (хосты) – количество разных браузеров / IP-адресов, использованных пользователями за заданный промежуток времени. При этом предполагается, что одним браузером / IP-адресом пользуется лишь один пользователь. (M3) Посещения / сессии – один просмотр одной страницы или нескольких страниц сайта подряд. (M4) Визиты – это несколько просмотров сайта в пределах заданного интервала времени. (M5) Браузеры – какой браузер стоит у клиента, является ли он поисковым роботом. (M6) Ссылки на сайт. (M7) Точки входа посетителей – страницы сайтов, на которые заходили пользователи в начале сессий. (M8) Точки выхода – страницы сайтов, с которых пользователи покидали интернет-ресурс. (M9) Отказы – метрика, которая в зависимости от алгоритмов счетчика может отражать следующее: (M9a) количество пользователей, которые, перейдя на сайт, сразу же (например, в пределах трех секунд) ушли с него; (M9б) факт просмотра сайта, занявший недостаточно много времени (однако не существует общепринятого стандарта минимального времени, которое посетитель, фактически знакомящийся с информацией, должен провести на сайте прежде, чем уйти с него); (M9в) факт просмотра пользователем только одной страницы сайта; (M9г) в некоторых случаях – отсутствие сессии или истечение времени сессии (длительность сессии определяется промежутком времени между первым и последним просмотром информации на сайте в сессии). В связи с этим отметим, что граница между M9a и M9б является нечеткой. Кроме того, пользователи одновременно могут «держат открытыми» страницы нескольких разных сайтов, но читать информацию только с одной из них.

Для более детального изучения поведения пользователей используются сегментированные метрики. Сегментирование возможно по любой из прямых метрик. При этом весь трафик разделяют на группы (исходя из выбранных критериев) и рассматривают поведение пользователей для каждой из этих групп в отдельности. Наиболее распространенные типы сегментирования: M10 – по дате и времени (M10a – по часам, M10б – по дням / неделям / месяцам, M10в – за заданный промежуток времени); M11 – по техническим устройствам, используемым пользователями для доступа к сайту; M12 – по источникам трафика; M13 – по географической привязке IP-адресов пользователей, посещающих сайты (M13a – по странам, M13б – по регионам); M14 – по типам посетителей; M15 – по действиям посетителей, на основании которых определяются их цели посещения сайтов.

Использование счетчиков позволяет сформировать отчеты по множеству сегментов, выделенных по разным признакам. Эти отчеты разделим на такие группы: стандартные прямые отчеты (прямые метрики или «усредненные» данные по всему сайту); стандартные сегментированные отчеты (например, сегменты аудитории по интересам; сегменты аудитории, присутствующей на рынке; новые и «старые» посетители); персонализированные отчеты; «цели» – предполагаемые владельцем ресурса цели посещения сайта.

В персонализированных отчетах пользователь счетчика сам указывает необходимые ему показатели / параметры. Это позволяет представить только необходимые данные; уникальные параметры и показатели.

«Целью» может быть любое действие посетителя (называемое конверсией), в котором заинтересованы владельцы сайта. Вот некоторые примеры «целей»: совершение покупки в интернет-магазине; просмотр статьи / видеоролика на сайте СМИ; отправка контактной информации клиентом (для сайта по привлечению клиентов); участие в интернет-голосовании или интернет-анкетировании; обеспечение необходимого количества просматриваемых пользователем страниц или длительности его пребывания на сайте и др. Если

«цель» имеет денежное выражение (эквивалент), то счетчиком может отображаться ценность конверсии. Использование этого показателя для «целей» позволяет сосредоточиться на определенных видах конверсий – например, на транзакциях с суммой покупки в интернет-магазинах не ниже некоторой минимальной. Когда посетитель сайта выполняет действие, определенное в качестве «цели», счетчик регистрирует это действие как конверсию. Затем данные о конверсиях становятся доступны в отчетах. Определение «целей» – важнейший компонент любого плана оценки веб-аналитики с использованием счетчиков. Правильно выбранные «цели» обеспечивают объективное представление необходимой информации по сайту, странице сайта или приложению – например, абсолютное количество конверсий; коэффициент конверсии (доля сессий, сопровождавшихся конверсией).

Целесообразно выделить в качестве отдельного отчета оценку эффективности использования трафика, связанного с социальными сетями (СС), т.е. с «социальной активностью» пользователей. Причина – в процессе сопровождения сайтов многие веб-мастера применяют СС (создание страницы для сайта в СС, почтовые рассылки и т.д.), чтобы получать дополнительный трафик, размещать ссылки, делать анонсы и т.д. Оценка трафика сайта из СС позволяет отслеживать действия пользователей СС по отношению к сайту: оценка пользователем понравившегося ему контента сайта, оставленная в СС; комментарии; ссылки на страницы сайта оставленные пользователями в СС; активность пользователей в чатах, относящихся к контенту сайта; переходы на сайт из СС. В связи с этим отметим два важных вспомогательных типа конверсий. (1) Конверсии по последнему взаимодействию из СС – они показывают переходы из таких сетей, которые сразу привели к конверсии. (2) Ассоциированные конверсии, т.е. такие, которые показывают переходы на страницу сайта из СС без немедленной конверсии, но с последующим возвращением пользователя на сайт (пользователь переходил на сайт из СС, но «конвертировался» позже – при переходе на сайт из других источников).

Типичными целями исследования (обработки) показателей, вычисляемых с помощью счетчиков, является получение ответов на такие вопросы. (А) Каково количество пользователей (посетителей) сайта – с начала его эксплуатации или за определенный период. (Б) Какова динамика изменения количества посетителей на сайте (внутрисуточная, еженедельная, месячная, годовая, за ряд лет). (Г) Какую информацию пользователи хотели получить на сайте. (Д) Получили ли они эту информацию фактически. Отметим, что для прямой оценки «удовлетворенности» посетителей сайтов могут применяться и интернет-анкеты, в т.ч. с наборами предопределенных ответов или указанием балльных оценок (алгоритмически такие ответы просто обрабатывать). Однако такие анкеты заполняют лишь немногие посетители.

Описанные счетчики ориентированы на анализ и представление отчетов на основе ретроспективной информации. В то же время для web-мастеров может представлять интерес и некоторая оперативная информация, отображаемая в реальном масштабе времени: сколько на данный момент находится посетителей на сайте; какова среди них доля посетителей из других регионов; каково среднее время пребывания на сайте тех посетителей, которые на нем «находятся» в настоящий момент.

Первичные показатели, которые непосредственно позволяют оценивать счетчики. В процессе обработки данных с сайта счетчики генерируют множество первичных показателей, важных с позиций мониторинга.

П1. Показатель (доля) отказов (R_b):

$$R_b = (T_v / T_e) 100\%,$$

где T_v – количество отказов; T_e – общее количество просмотров анализируемой страницы сайта. Отметим, что причины отказов носят субъективный характер и могут отличаться для разных типов пользователей. Средний показатель отказов по всем типам сайтов – примерно

40,5 % [19]. Показатели П1 обычно сравниваются лишь для тематически или функционально аналогичных сайтов. Динамика изменения показателя П1 во времени для конкретных сайтов представляет также интерес.

П2. Отношение количества «новых» посетителей (посетивших сайт впервые) к числу постоянных (посещавшим ресурс более одного раза). Большое число постоянных посетителей говорит о том, что сайт интересен для них. Увеличение доли «новых пользователей» – индикатор того, что сайт в Интернете «виден» все большему количеству пользователей, но интереса у них не вызывает.

П3. Источники трафика: (П3а) прямые переходы на сайт; (П3б) переходы из ПоС; (П3в) внутренние переходы – в пределах сайта; (П3г) переходы по ссылкам на других сайтах; (П3д) переходы по рекламе на других сайтах. К прямым относятся такие: переходы через адресную строку; переходы с сохраненных страниц; переходы из закладок браузера. К переходам из ПоС относятся следующие: «платные» (для рекламодателей) переходы – через контекстную рекламу ПоС; бесплатные переходы – через «органическую выдачу» («результаты», выданные по запросам пользователей) поисковой машины, т.е. ту часть выдачи, которая является не рекламной, а информацией, ранжированной поисковыми алгоритмами в соответствии с релевантностью контента и удобством ресурса для пользователя.

П4. Глубина просмотра – количество страниц, которое пользователь просматривает за одно посещение сайта. Обычно счетчики отображают среднюю глубину просмотра по сайту в целом (рис. 2) или сводную таблицу с указанием глубины просмотра и с соответствующим ей количеством просмотров (рис. 3).



Рис. 2. Пример отражения средней глубины просмотра (счетчик Google Analytics)

2015-06-20 - 2015-07-19		
Просмотрено страниц	Посещений	Доля
1	18840	29.43%
2	5164	8.07%
3-5	16537	25.83%
6-10	11346	17.72%
11-30	10137	15.83%
31-100	1921	3.00%
более 100	72	0.11%

Рис. 3. Сводная таблица с указанием глубины просмотра на примере сайта asu.edu.ru (счетчик Hotlog)

П5. Продолжительность посещения – время, проведенное на сайте пользователем в течение одной сессии. В случае отказа продолжительность посещения равна нулю. Этот показатель, также как и глубина просмотра, отображается в виде среднего значения (рис. 4) или таблицы (рис. 5).

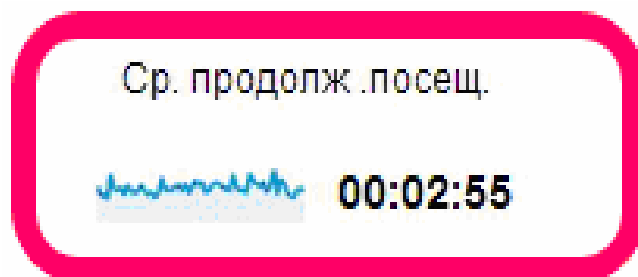


Рис. 4. Средняя продолжительность посещения (счетчик Google Analytics)

2015-06-20 - 2015-07-19		
Время просмотра ?	Посещений	Доля
0 минут	32480	50.74%
менее 2 минут	5599	8.75%
2-5 минут	8610	13.45%
5-10 минут	6386	9.98%
10-30 минут	8373	13.08%
более 30 минут	2569	4.01%

Рис. 5. Сводная таблица с указанием продолжительности посещения на примере сайта asu.edu.ru (счетчик Hotlog)

П6. Характеристика аудитории (данные о пользователях, которые посещали сайт) можно разделить на две категории – социальные (П6а) и технические (П6б). Для П6а укажем такие сведения: (П6а1) пол; (П6а2) возраст, (П6а3) интересы; (П6а4) социальная активность. Для П6б отметим следующее: (П6б1) используемые устройства; (П6б2) браузеры; (П6б3) операционные системы; (П6б4) разрешение экрана; (П6б5) глубина цвета; (П6б6) язык, установленный (выбранный) на браузере; (П6б7) поддержка Java и др.

Чтобы сопоставить интересы с анонимными идентификаторами cookie файлов, используются основные темы (категории) сайтов / страниц, с которыми работал пользователь. Разницы между текущим астрономическим временем и моментами входа пользователей на анализируемые сайты могут быть использованы для вычисления весовых коэффициентов (ВК) для посещений сайтов (например – ВК можно брать обратно пропорционально этой разнице). Однако во избежание похищения «идентификаторов сессий» с чужих сайтов, браузеры будут блокировать возможности получения такой информации.

П7. Ключевые слова и фразы (поисковые запросы), по которым посетители находят сайт в ПоС. Они составляют основу семантического ядра сайта – полного набора слов и словосочетаний, описывающих определенную тематику сайта или страницы сайта. В частности, это слова, относящиеся к деятельности организации, владеющей сайтом.

Методы составления семантического ядра сайта условно разобьем на две группы: инструментальные, строящиеся на парсинге данных счетчика по поисковым запросам (сбор как можно большего числа ключевых слов и разбиение их на сегменты и группы); аналитические, основанные на предварительном проведении анализа поведенческих сценариев пользователей (построение предварительной структуры сегментов и подбор ключевых слов под каждый конкретный сегмент).

Ключевые слова разделяются на такие категории: явные ключи, прямо описывающие контент (содержимое сайта или страницы); ключи-проблемы – описывают условия или способы решения проблемы, обстоятельства проблемы; ключи-симптомы – описывают непосредственно проблему и ее проявления; продуктовые ключи – актуальные для данной ситуации названия контента. По количеству обращений можно выделить три типа ключевых слов или фраз: низкочастотные (редко используемые в поисковых запросах); среднечастотные; высокочастотные. Вхождение ключевых слов или фраз можно классифицировать так: точное вхождение (ключевое слово /фраза в неизменном виде); прямое вхождение (ключевая фраза содержит знаки препинания); разбавленное вхождение – ключевая фраза разбавлена другими словами; морфологическое вхождение – ключевые слова спрягаются и склоняются, может меняться единственное число на множественное и наоборот; синонимическое вхождение – ключевые слова заменяются синонимами, аббревиатурами; обратное вхождение – меняется очередность слов.

П8. Индексы цитирования (ИЦ) – технологии поисковых машин, заключающиеся в определении авторитетности интернет-ресурсов с учётом характеристики «совокупности ссылок на них с других сайтов». Формулы расчета ИЦ разработчиками счетчиков не раскрываются в целях предотвращения целенаправленных «накруток» для сайтов. Существует по меньшей мере два индекса цитирования: (П8а) тематический ИЦ (ТИЦ) на Яндексе; (П8б) PageRank (PR) – на Google. Отметим, что проблемы использования ИЦ для сайтов является во многом схожей с применением ИЦ для оценок востребованности научных статей, журналов и пр.

Для определения значения ТИЦ каждой ссылке присваивается «вес», который рассчитывается по сложному алгоритму. Данный алгоритм обычно учитывает авторитетность (в том числе и самого ТИЦ) сайтов, на которых находятся эти ссылки. Более высокие веса имеют ссылки с сайтов схожей тематики. На конечное значение показателя ТИЦ влияет сумма весов всех ссылок на сайт.

Значение PR напрямую зависит от числа ссылок (в том числе внутренних) на страницу сайта и от их важности. При этом Google не учитывает ссылки с сайтов, специально предназначенных для группировки ссылок, т.к. некоторые такие ссылки могут отрицательно сказываться на PR. Этот показатель рассчитывается для каждой отдельной страницы сайта и пересчитывается примерно 2–4 раза в год. Значение PR в счетчиках для удобства принимает значение от 0 до 10, но действительное значение параметра не раскрывается разработчиками счетчиков [14, 23]. Математическая модель PR [22] представлена формулой:

$$PR(A) = (1 - d) + d \sum_{i=1}^n (PR_i / C_i),$$

где $PR(A)$ – это вес PageRank страницы A ; d – коэффициент затухания (означает вероятность того, что пользователь, зашедший на страницу, перейдет по одной из ссылок, содержащейся на этой странице, а не прекратит «путешествие» по интернет-сети – обычно берется $d = 0,85$); PR_i – PageRank i -ой страницы, ссылающейся на страницу A ; C_i – общее число ссылок на i -ой странице, ссылающейся на страницу A . Основная идея работы с PR заключается в том, что страница «передает» свой вес, распределяя его на все содержащиеся

на ней ссылки. Чем больше ссылок на странице-доноре, тем меньший вес достанется каждой странице-акцептору, на которую указывает ссылка. При этом учитываются и «внутренние» (в пределах сайта) ссылки.

Коэффициент конверсии – это выраженное в процентах отношение количества посетителей сайта, выполнивших на нём какие-либо целевые действия (например, покупку, регистрацию, подписку, посещение определённой страницы сайта, переход по рекламной ссылке), к общему числу посетителей. Для сайтов с разной спецификой коэффициент конверсии может значительно отличаться. Например, в России средняя конверсия сайта интернет-магазина составляет 0,7 %, а в узких сегментах тематик сайтов может достигать до 7–10 % [21].

Авторы статьи считают целесообразным дать (исходя из 90 % уровня обеспеченности) некоторые интервальные балльные оценки для «важности» показателей П1 ... П9 с позиций различных групп ЮиФЛ – таблица 1 («10» означает максимальную важность, а «0» – её отсутствие).

Таблица 1

**Оценка важности использования показателей, даваемых счетчиками,
различными группами ЮиФЛ при принятии решений по управлению сайтами**

Показатели (метрики)	Группы ЮиФЛ					
	<i>Г1</i>	<i>Г2</i>	<i>Г3</i>	<i>Г4</i>	<i>Г5</i>	<i>Г6</i>
<i>П1</i>	7–8	7–8	10	7	5–7	8–10
<i>П2</i>	9–10	9–10	8–10	8	7–9	10
<i>П3</i>	4–6	1–3	5–7	4–6	7–8	10
<i>П4</i>	4–6	3–5	9	7–8	6–8	6–8
<i>П5</i>	8	4–6	5–8	4–6	4–6	4–6
<i>П6а</i>	3–5	5–7	8	10	9	10
<i>П6б</i>	10	10	3–5	2–4	0	1–3
<i>П7</i>	6–8	5–7	10	8	10	10
<i>П8</i>	1–3	1–3	8	9	10	10
<i>П9</i>	10	10	10	10	10	10

Расшифровка обозначений групп ЮиФЛ [7]: (*Г1*) web-программисты; (*Г2*) web-дизайнеры, обеспечивающие создание статической и динамической графики сайтов, удобство восприятия их страниц; (*Г3*) контент-менеджеры, отвечающие за информационное наполнение сайтов; (*Г4*) владельцы/собственники сайтов; (*Г5*) специалисты-маркетологи, в т.ч. ориентированные на информационную поддержку продвижения товаров и услуг через Интернет; (*Г6*) специалисты по рекламе, сопровождающие сайты.

Характеристика функциональности основных бесплатных и платных счетчиков, используемых в России. Среди бесплатных счетчиков целесообразно выделить следующие: (Сч1) SimilarWeb (разработчик – компания SimilarWeb); Alexa (AlexaInternet, 2005 г.); (Сч2) GoogleAnalytics (Google, 2005 г.); (Сч3) Openstat, ранее SpyLog (OpenStatB.V., 2010 г.); (Сч4) LiveInternet (LiveInternet.Ru, 2003 г.); (Сч5) ЯндексМетрика (Яндекс, 2009 г.); (Сч6) Hotlog (ИнфоСтарз, 2001 г.).

Среди коммерческих проектов выделим (Сч11) Clicky (RoxrSoftware, 2006 г.); (Сч12) Woopra (Woopra, 2008 г.); (Сч13) GoSquared (GoSquared, 2006 г.); (Сч14) Gauges (FastestForward); (Сч15) Chartbeat (Chartbeat); (Сч16) StatCounter (StatCounter).

Для перечисленных выше счетчиков авторы сравнили их функциональность с разбивкой на ряд подгрупп: сводная статистика; анализ содержания и навигации; параметры веб-дизайна; анализ географии и поведения посетителей; анализ коммерческих показателей. Были также выделены некоторые дополнительные функции, которые присутствуют в ряде счетчиков: (Ф1) список страниц, ссылающихся на ресурс; (Ф2) список страниц, найденных

через ПоС; (Ф3) список ссылающихся на ресурс серверов; (Ф4) возможность определения поисковых роботов; (Ф5) определение страниц с единичным доступом (страницы с одномоментными адресами – для единовременного доступа к ним только один раз); (Ф6) определение страниц, к которым посетители не смогли получить доступ (404 Errors); (Ф7) история переходов по сайту (карта переходов); (Ф8) отображение показателей счетчика на сайте; (Ф9) инструмент «цели»; (Ф10) контроль проведения рекламных компаний; (Ф11) наличие персонализированных отчетов. Результаты сравнений счетчиков представлены в таблицах 2 ... 8 [17, 20]. При этом знак «+» означает наличие, а знак «–» – отсутствие метрики (М), показателя (П) или функции (Ф) в данном счетчике.

Таблица 2

Функциональные возможности отображения сводной (базовой) статистики по сайту

	Номера счетчиков											
	Сч1	Сч2	Сч3	Сч4	Сч5	Сч6	Сч11	Сч12	Сч13	Сч14	Сч15	Сч16
Тип счетчика	T1, T2a	T2a	T1, T2a	T1, T2a	T2a, T2в	T1, T2a	T2a, T26, T2в, T3	T2a, T26, T3	T2a, T26, T3	T2a, T26	T2a, T26	T2a, T26
Метрики / Показатели / Функции												
М1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
М2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
М10а	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
М10б	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
М10в	+	+	+	–	+	+	+	+	+	+	+	+
П3а	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
П3б	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
П3в	+	+	+	+	+	–	+	+	+	+	+	+
П3г	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
П3д	–	+	–	–	–	–	+	+	+	+	+	+
П7	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ф1	–	+	+	–	–	+	+	+	+	+	+	+
Ф2	–	+	+	–	–	–	+	+	+	+	+	+
Ф3	–	+	+	–	–	–	+	+	+	+	+	+
Ф4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Таблица 3

Функциональные возможности анализа содержания страниц и навигации по сайту

Метрики / Показатели / Функции	Номера счетчиков											
	Сч1	Сч2	Сч3	Сч4	Сч5	Сч6	Сч11	Сч12	Сч13	Сч14	Сч15	Сч16
Ф5	+	+	+	–	+	–	+	–	+	–	+	–
Ф6	+	+	+	–	–	–	+	+	+	+	+	+
Ф7	+	+	+	–	+	–	+	+	+	+	+	+
М7	+	+	+	–	+	+	+	+	+	+	+	+
М8	+	+	+	–	+	+	+	+	+	+	+	+
П4	+	+	+	–	+	+	+	+	+	+	+	+
П5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Таблица 4

Функциональные возможности анализа параметров веб-дизайна сайта

Метрики / Показатели / Функции	Номера счетчиков											
	Сч1	Сч2	Сч3	Сч4	Сч5	Сч6		Сч12	Сч13	Сч14	Сч15	Сч16
П662	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
П663	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
П664	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
П665	+	+	+	–	–	+	+	+	+	+	+	+
П666	+	+	+	–	–	–	+	+	+	+	+	+
П667	+	+	+	–	–	+	+	+	+	+	+	+
Ф8	–	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Таблица 5

Функциональные возможности анализа географии и поведения посетителей сайта

Метрики / Показатели / Функции	Номера счетчиков											
	Сч1	Сч2	Сч3	Сч4	Сч5	Сч6	Сч11	Сч12	Сч13	Сч14	Сч15	Сч16
М13а	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
М13б	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
М12	+	+	+	–	+	–	+	+	+	+	+	+
П6а1	–	+	–	+	+	–	–	+	–	–	–	–
П6а2	–	+	–	+	+	–	–	+	–	–	–	–
П6а3	–	+	–	–	+	–	–	+	–	–	–	–
П6а4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание. * – для России.

Таблица 6

Функциональные возможности анализа коммерческих показателей сайта

Метрики / Показатели / Функции	Номера счетчиков											
	Сч1	Сч2	Сч3	Сч4	Сч5	Сч6	Сч11	Сч12	Сч13	Сч14	Сч15	Сч16
П8	+	+	+	–	+	+	–	–	–	+	+	+
П9	+	+	+	–	+	+	+	+	+	+	+	+
Ф9	–	+	–	–	+	+	+	+	+	+	+	+
Ф10	–	+	+	–	+	–	+	+	+	–	–	–
Ф11	–	+	+	–	+	–	+	+	+	+	+	+

Таблица 7

Основные функциональные особенности бесплатных счетчиков

Счетчики	Особенности
Сч1	<u>Достоинства:</u> (а) приводится список ссылающихся сайтов, где указывается топ 10 по входящим ссылкам сайта; (б) есть список сайтов, которые пользователи посещали вместе (совместно) с анализируемым ресурсом; (в) есть список сайтов, наиболее похожих на анализируемый ресурс
Сч2	<u>Недостатки:</u> (а) невозможно отследить трафик в случае, если у пользователя отключены (не сохраняются) cookie файлы; (б) невозможно повторно обработать данные, если потерян профиль пользователя с настроенными фильтрами; (в) есть ограничения по количеству отчетов и «целей»

Сч3	<u>Достоинства:</u> (а) имеются суммарные статистические данные по сайтам с российской аудиторией (данные собираются на основе установленных счетчиков статистики OpenStat, а полученная информация отображается в отчете с именем «Тренды Рунета», находящемся в свободном доступе); (б) есть возможность установки разных счетчиков на один сайт или группу сайтов (можно вести общий учет статистики по всем доменам и поддоменам в группе); (в) благодаря возможности установки нескольких счетчиков на один сайт можно провести простое А/В тестирование (собрать необходимую информацию по независимым группам посетителей с разных страниц сайта и подтвердить или опровергнуть свои предположения); (г) есть возможность установки счетчика статистики путем запуска плагина
Сч4	<u>Достоинства:</u> (а) объединение всех сайтов в тематические группы, внутри которых составляются рейтинги сайтов по посещаемости <u>Недостатки:</u> (а) счетчик не осуществляет учет посетителей с отключенной поддержкой java-скриптов
Сч5	<u>Достоинства:</u> (а) система Вебвизор позволяет просматривать видео с действиями каждого посетителя на страницах сайта; (б) механизм «Анализ форм» (позволяет проанализировать эффективность форм на сайте) <u>Недостатки:</u> (а) недостаточно точная оценка входящего трафика; (б) невозможность настроить один счетчик для группы сайтов на поддоменах; (в) невозможность сохранять колонки в отчетах
Сч6	<u>Достоинства:</u> (а) возможность настройки оповещений о резких изменениях посещаемости сайта по заданным условиям

Таблица 8

Сравнение функциональности платных (коммерческих) счетчиков

Функции	Номера счетчиков					
	Сч11	Сч12	Сч13	Сч14	Сч15	Сч16
Подробная информация о каждом посетителе сайта	+	+	+	–	–	+
Наблюдение за каждым пользователем в реальном времени	+	+	+	+	–	–
Карта кликов пользователя	+	–	–	–	–	–
Отслеживание локального поиска	+	–	–	–	–	–
Динамические цели (не нужно определять цели заранее)	+	–	–	–	–	–
Опция IP-анонимайзер для использования в странах со строгими правилами конфиденциальности (например, в Германии)	+	–	+	–	–	–
Оповещения по электронной почте / мобильному телефону	+	+	+	–	+	–
Определение типов мобильных устройств посетителей сайтов	+	–	+	–	–	–
Возможность работать со счетчиком через iPhone	+	+	+	+	+	–
Выделенные версии счетчика для мобильных устройств	+	+	–	–	–	–
Наличие IP фильтров	+	+	+	+	–	+
Получение данных со счетчика в реальном времени	+	+	+	+	+	+
Плагины для работы со счетчиком	+	–	+	–	+	–
Получение статистики в виде RSS-лент*	+	–	–	–	–	–

Примечание. * – RSS (англ. Rich Site Summary – обогащённая сводка сайта) – семейство XML-форматов, предназначенных для описания лент новостей, анонсов статей, изменений в блогах и т.п. Информация из различных источников, представленная в формате RSS, может быть собрана, обработана и представлена пользователю в удобном для него виде специальными программами-агрегаторами или онлайн-сервисами.

Администраторы Web-сайтов выбирают счетчики, обладающие наиболее полным набором функциональных возможностей, необходимых для поддержки принятия решений конкретно поставленных задач. При этом учитываются также обзоры по счетчикам, доступные в Интернете; личный опыт использования тех или иных счетчиков; опыт знакомых администраторов других сайтов; стоимости коммерческих счетчиков.

При использовании нескольких счетчиков можно отслеживать различные метрики и показатели регионального трафика сайта с использованием персонализированных отчетов по различным сегментам (или фильтрам), реализованным в том или ином счетчике (рис. 6). В некоторых счетчиках (но их мало) можно также получать суммарные статистические данные по сайтам, использующим эти счетчики. Однако количество рассчитываемых (отображаемых) при этом метрик и показателей сильно ограничено.

Астраханская обл.	Вся аудитория Отказы, сумма	Вся аудитория Визиты, сумма	Мобильные пользователи Отказы, сумма	Мобильные пользователи Визиты, сумма
Всего	262 062 175	496 889 793	79 490 562	141 078 260
Астраханская обл.	723 502	1 324 105	138 066	234 436
Астрах	Вся аудитория Отказы, %, сумма	Вся аудитория Визиты, %, сумма	Мобильные пользователи Отказы, %, сумма	Мобильные пользователи Визиты, %, сумма
Всего	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %
Астраханская обл.	0,28 %	0,27 %	0,17 %	0,17 %
Астрах	Вся аудитория Отказы, показатель	Вся аудитория Визиты, сумма	Мобильные пользователи Отказы, показатель	Мобильные пользователи Визиты, сумма
Всего	52,74 %	496 889 793	56,35 %	141 078 260
Астраханская обл.	54,64 %	1 324 105	58,89 %	234 436

Рис. 6. Пример персонализации отчетов на примере счетчика OpenStat.

Регион, в котором находятся пользователи – Астраханская область; временной период «с 12.06.2015 по 12.07.2015» (они выступают в качестве фильтров). Названия столбцов в таблице соответствуют заданной авторами статьи выборке показателей из отчета «Тренды Рунета»

Некоторые вопросы информационной безопасности при использовании счетчиков посещаемости сайтов. В связи с использованием счетчиков различными организациями, включая органы государственного и муниципального управления (ОГМУ), целесообразно проанализировать также некоторые вопросы, связанные с информационной безопасностью (ИБ) сайтов. Согласно данным аналитического портала index.ru из 264 проанализированных сайтов ОГМУ счетчики «Яндекса» были на 52 %, Liveinternet – на 35 %, Google – на 21 % [19] (две последние позиции списка соответствуют зарубежным компаниям). В связи с этим отметим материал [15], согласно которому рассматривается целесообразность запрета на использование счетчиков, принадлежащих зарубежным компаниям, на официальных сайтах ОГМУ. Однако следует учесть, что в составе ряда Российских ИТ-компаний,

разрабатывающих или обеспечивающих работу отечественных счетчиков (например, того же Яндекса), присутствует достаточно много зарубежных акционеров.

В настоящее время существуют две противоположные точки зрения (позиции 1 и 2) по вопросам ИБ при использовании счетчиков посещаемости сайтов (табл. 9) [8, 15].

Таблица 9

Сравнение точек зрения по вопросам ИБ при использовании счетчиков

Утверждения	Позиция 1	Позиция 2
1	Утечка данных может происходить, если на страницах сайтов используются счетчики посещаемости от сторонних производителей.	Никакие персональные данные никуда не передаются, вся аналитика деперсонализирована и доступна только в обобщенном виде.
2	Счетчики потенциально могут собирать всю информацию со страниц сайтов.	Данные, передаваемые в систему статистики, строго ограничены и обычно не позволяют персонифицировать пользователя.
3	Персональные данные граждан оказываются доступными для сторонних организаций.	Вся информация, собираемая счетчиками, хранится на сервере в обезличенном виде. Установить по этим данным, кто именно заходит на сайт, невозможно. Сделать персональные данные общедоступными может только владелец ресурса (сайта), но не владелец счетчика.
4	Необходимо проверить защищенность данных граждан от несанкционированного сбора через интернет-счетчики, а также запретить использование на сайтах ОГиМУ счетчиков от компаний из недружественных к России стран.	Использование счетчиков – совершенно стандартная практика, которая позволяет лучше понимать интересы посетителей ресурса и подстраиваться под их нужды.

По информации, имеющейся у авторов статьи, Роскомнадзор, Минэкономразвития и прокуратура проводят некоторые проверки по вопросам, связанным с ИБ использования счетчиков (в т.ч. зарубежных разработчиков). Однако подробности пока не раскрываются.

С точки зрения ИБ предпочтение следует отдавать счетчикам с кодом, полностью размещаемым на страницах сайтов. Причины: этот код может быть полностью проверен системным администратором сайта; такие счетчики позволяют в большей степени контролировать объем информации отправляемый на сервер статистики путем ограничения количества функций и методов, вызываемых из библиотеки счетчика. Можно также вообще не размещать коды счетчиков на определенных страницах сайтов (например, на страницах с формами для ввода персональных данных пользователей). Отметим еще, что посетители сайтов часто используют персональные и корпоративные «файерволлы» (firewall) и анонимизаторы, которые не дают передавать cookies и другие необязательные данные запроса.

Итак, сделаем **выводы**. **1.** Применение СВА дает возможность оценки эффективности использования интернет-ресурсов как инструментов решения различных видов задач: информационных, технических, коммерческих и других. **2.** Основные задачи, решаемые с помощью СВА: общий анализ аудитории сайта; анализ его технологических параметров; индексация поисковыми роботами; оценка востребованности у посетителей данных, размещенных на интернет-ресурсе. **3.** На сегодня не существует единого средства, которое могло бы полноценно (комплексно) решать все перечисленные задачи. В зависимости от приоритетности (состава) задач, можно применять один или несколько типов СВА, в т.ч. один или большее количество счетчиков. **4.** Для подсчета количества посетителей обычно используются технологии, связанные с использованием «cookie». На сегодняшний день для большинства сайтов это наиболее эффективный способ отслеживать пользователей при каждом их

посещении сайта. **5.** Применимость зарубежных СВА в российских условиях ограничена в силу следующих причин: анализ поискового трафика требует, как минимум, поддержки кодировок русского языка и учета особенностей российских поисковых систем; для определения географии посетителей в СВА желательно иметь географическую базу данных по России - хотя бы с точностью до субъекта федерации. Таких данных в зарубежных СВА пока нет. **6.** Функциональные возможности СВА по анализу статистических данных по сайтам возрастают одновременно со стоимостью приобретения программных средств. Оптимальный выбор СВА или их совокупностей зависит от круга решаемых задач и бюджета организации. **7.** Оценка реальной востребованности информации на сайте без детального анализа его посещаемости, учета заинтересованных в информации посетителей практически невозможна. Это приводит к необходимости установки того или иного продвинутого решения (СВА), как правило, являющегося платным продуктом. **8.** Существует мнение, что счетчики могут представлять угрозу сохранности персональных данных пользователей сайтов. Однако уровни этих угроз можно значительно снизить за счет использования некоторых профилактических мер (например, применения анонимизаторов).

Список литературы

1. Бажанов Р. С. Выбор аналитических инструментов для анализа эффективности интернет проекта // Проблемы современной экономики : материалы III Международной научной конференции (г. Челябинск, декабрь 2013 г.). – Челябинск : Два комсомольца, 2013. – С. 75–78.
2. Бажанов Р. С. Ключевые показатели эффективности интернет проектов как основа измерений в веб аналитике / Р. С. Бажанов, С. В. Шайтура. – Москва : Московский государственный областной университет, 2013. – 226 с.
3. Брумштейн Ю. М. ИКТ-компетентность стран, регионов, организаций и физических лиц: системный анализ целей, направлений и методов оценки / Ю. М. Брумштейн, А. Б. Кузьмина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2. – С. 47–63.
4. Брумштейн Ю. М. Информационная безопасность сайтов высших учебных заведений: проблемы и решения / Ю. М. Брумштейн, А. А. Бондарев // Информационная безопасность регионов. – 2014. – № 1. – С. 38–47.
5. Брумштейн Ю. М. Научный имидж региональных вузов: общий анализ проблематики управления / Ю. М. Брумштейн, Л. В. Яковлева, А. Б. Кузьмина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 1. – С. 125–133.
6. Брумштейн Ю. М. Отражение научной деятельности региональных вузов на сайтах в Интернете: системный анализ вопросов информационной безопасности / Ю. М. Брумштейн, А. А. Бондарев, А. В. Федотова, М. В. Иванова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2. – С. 85–100.
7. Васьковский Е. Ю. Системный анализ вопросов, связанных с востребованностью информации на web-сайтах / Е. Ю. Васьковский, Ю. М. Брумштейн // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 1 (29). – С. 59–74.
8. Госдума просит Роскомнадзор проверить шпионские возможности Google // Известия. – Режим доступа: <http://izvestia.ru/news/586963> (дата обращения: 1.06.2015), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
9. Егорова И. Н. Исследование новейших веб-технологий и алгоритмов продвижения сайтов / И. Н. Егорова, Е. А. Бондаренко // Информационные технологии. – 2012. – Т. 6, № 2. – С. 63–66.
10. Клифтон Б. GoogleAnalytics для профессионалов : пер. с англ. / Б. Клифтон. – Москва : ООО «И.Д. Вильямс», 2013. – 400 с.
11. Кошик А. Веб-аналитика: анализ информации о посетителях веб-сайтов : пер. с англ. / А. Кошик. – Москва : ООО «И.Д. Вильямс», 2009. – 464 с.
12. Максимова И. Г. Инструменты для сбора и анализа статистической информации сайтов предприятий / И. Г. Максимова, К. С. Киреева // Молодежь и наука : сборник тезисов IX Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 350-летию со дня основания г. Красноярск. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2013.

13. Никулин Д. Н. Оценка эффективности интернет-рекламы с помощью систем веб-аналитики / Д. Н. Никулин, И. П. Савельева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2014. – Т. 8, № 3. – С. 99–105.
14. Растолкованный PageRank, или все, что вы всегда хотели знать о PageRank // Исследование и статистика. – Режим доступа: <http://digits.ru/articles/promotion/pagerank.html> (дата обращения: 1.06.2015), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
15. С официальных сайтов уберут иностранные счетчики посещаемости (Минэкономразвития подготовило проект приказа, запрещающего счетчики Google в госсекторе Рунета) // Известия. – Режим доступа: <http://izvestia.ru/news/588948> (дата обращения: 1.08.2015), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
16. Справочный центр Google Analytics. – Режим доступа: <https://support.google.com/analytics/?hl=ru#> (дата обращения: 1.06.2015), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
17. Шляхтина С. Обзор решений для анализа посещаемости сайта / С. Шляхтина // Компьютер Пресс. – 2007. – № 10. – С. 45–55.
18. Яндекс метрика. – Режим доступа: <http://help.yandex.ru/metrika> (дата обращения: 1.06.2015), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
19. Bounce rate demystified. – Available at: <https://blog.kissmetrics.com/bounce-rate/?wide=1> (accessed: 1.06.2015).
20. Clicky -VS- The Other Guys // Web Analytics Clickly. – Available at: <http://clicky.com/compare> (accessed: 1.06.2015).
21. Making it better. Usability lab. – Available at: <http://usabilitylab.ru/blog/conversion-3> (accessed: 1.06.2015).
22. Page L. The PageRank citation ranking: Bringing order to the web / L. Page, S. Brin, R. Motwani, T. Winograd. – 1999.
23. Ridings C. PageRank Explained or «Everything you've always wanted to know about PageRank». – 2001.

References

1. Bazhanov R. S. Vybor analiticheskikh instrumentov dlya analiza effektivnosti internet proekta [Selection of analytical tools for the analysis of the effectiveness of online project]. *Problemy sovremennoy ekonomiki : materialy III Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (g. Chelyabinsk, dekabr 2013 g.)* [Problems of Modern Economics. Proceedings of the III International Scientific Conference (g. Chelyabinsk, December 2013)], Chelyabinsk, Dva komsomoltsa Publ., 2013. pp. 75–78.
2. Bazhanov R. S., Shaytura S. V. Klyuchevye pokazateli effektivnosti internet projektov kak osnova izmereniy v veb analitike [Key performance indicators of Internet projects as a basis for measurement in web analytics], Moscow, Moscow Region State University Publ. House, 2013. 226 p.
3. Brumshteyn Yu. M., Kuzmina A. B. IKT-kompetentnost stran, regionov, organizatsiy i fizicheskikh lits: sistemnyy analiz tseley, napravleniy i metodov otsenki [ICT competence of countries, regions, organizations and individuals: systematic analysis of the objectives, directions and methods of assessment]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 2, pp. 47–63.
4. Brumshteyn Yu. M., Bondarev A. A. Informatsionnaya bezopasnost saytov vysshikh uchebnykh zavedeniy: problemy i resheniya [Information security sites of higher education institutions: problems and solutions]. *Informatsionnaya bezopasnost regionov* [Information Security of Regions.], 2014, no. 1, pp. 38–47.
5. Brumshteyn Yu. M., Yakovleva L. V., Kuzmina A. B. Nauchnyy imidzh regionalnykh vuzov: obshchiy analiz problematiki upravleniya [Science image regional universities: general analysis of governance issues]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013-, no. 1, pp. 125–133.
6. Brumshteyn Yu. M., Bondarev A. A., Fedotova A. V., Ivanova M. V. Otrazhenie nauchnoy deyatel'nosti regionalnykh vuzov na saytakh v Internete: sistemnyy analiz voprosov informatsionnoy bezopasnosti [Reflecting the scientific activities of the regional university to sites on the Internet: a systematic analysis of information security]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 2, pp. 85–100.

7. Vaskovskiy Ye. Yu., Brumshteyn Yu. M. Sistemnyiy analiz voprosov, svyazannykh s vostrebovannostyu informatsii na web-saytakh [System analysis of issues related to the demand for information on web-sites]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 1 (29), pp. 59–74.
8. Gosduma prosit Roskomnadzor proverit shpionskie vozmozhnosti Google [The State Duma asked Roskomnadzor to check the power of Google spy]. *Izvestiya* [News]. Available at: <http://izvestia.ru/news/586963> (accessed: 1.06.2015).
9. Yegorova I. N., Bondarenko Ye. A. Issledovanie noveyshikh veb-tekhnologiy i algoritmov prodvizheniya saytov [A study of the latest web technologies and algorithms for promotion of sites]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2012, vol. 6, no. 2, pp. 63–66.
10. Klifton B. *GoogleAnalytics dlya professionalov* [GoogleAnalytics for professionals], Moscow, ООО «I. D. Vilyams» Publ., 2013. 400 p.
11. Koshik A. *Veb-analitika: analiz informatsii o posetitelyakh veb-saytov* [Web Analytics: An analysis of information on the web site visitors], Moscow, ООО «I. D. Vilyams» Publ., 2009. 464 p.
12. Maksimova I. G., Kireeva K. S. Instrumenty dlya sbora i analiza statisticheskoy informatsii saytov predpriyatiy [Tools for collecting and analyzing statistical information sites of company]. *Molodezh i nauka : sbornik tezisev IX Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyaschennoy 350-letiyu so dnya osnovaniya g. Krasnoyarska* [Youth and Science. Proceedings of the IX All-Russian Scientific Conference with International Participation, dedicated to the 350th anniversary of the founding of the city of Krasnoyarsk], Krasnoyarsk, Sibertan Federal University Publ. House, 2013.
13. Nikulin D. N., Saveleva I. P. Otsenka effektivnosti internet-reklamy s pomoshchyu sistem veb-analitiki [Evaluating the effectiveness of online advertising through a system of Web Analytics]. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika i menedzhment* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management], vol. 8, no. 3, pp. 99–105.
14. Rastolkovannyi PageRank, ili vse, chto vy vseгда khoteli znat o PageRank [Explain PageRank, or everything you ever wanted to know about PageRank]. *Issledovanie i statistika* [Research and Statistics]. Available at: <http://digits.ru/articles/promotion/pagerank.html> (accessed: 1.06.2015).
15. S ofitsialnykh saytov uberut inostrannye schetchiki poseshchaemosti (Minekonomrazvitiya podgotovilo proekt prikaza, zapreshchayushchego schetchiki Google v gossektore Runeta) [From the official site will be removed foreign attendance counters (Ministry of Economic Development has prepared a draft order prohibiting counters Google's public sector Runet)]. *Izvestiya* [News]. Available at: <http://izvestia.ru/news/588948> (accessed: 1.08.2015).
16. *Spravochnyy tsentr Google Analytics* [Google Analytics Help Center]. Available at: <https://support.google.com/analytics/?hl=ru#> (accessed: 1.06.2015).
17. Shlyakhtina S. Obzor resheniy dlya analiza poseshchaemosti sayta [Review solutions for web site traffic analysis]. *Kompyuter Press* [Computer Press], 2007, no. 10, pp. 45–55.
18. *Yandex metrika* [Yandex Metric]. Available at: <http://help.yandex.ru/metrika> (accessed: 1.06.2015).
19. *Bounce rate demystified*. Available at: <https://blog.kissmetrics.com/bounce-rate/?wide=1> (accessed: 1.06.2015).
20. Clicky -VS- The Other Guys. *Web Analytics Clickly*. Available at: <http://clicky.com/compare> (accessed: 1.06.2015).
21. *Making it better. Usability lab*. Available at: <http://usabilitylab.ru/blog/conversion-3> (accessed: 1.06.2015).
22. Page L., Brin S., Motwani R., Winograd T. *The PageRank citation ranking: Bringing order to the web*, 1999.
23. Ridings C. *PageRank Explained or «Everything you've always wanted to know about PageRank»*, 2001.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

УДК 004.89.896

НЕЙРОЭВОЛЮЦИОННЫЙ МЕТОД ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Статья поступила в редакцию 10.07.2015, в окончательном варианте 25.08.2015.

Хлопкова Ольга Андреевна, аспирант, Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 119501, Российская Федерация, г. Москва, ул. Нежинская, 7, e-mail: ohlopkova@nifi.ru

В статье представлен адаптивный метод интеллектуализации принятия решений в условиях неопределенности, неполной информации и динамической среды. В отличие от существующих нейроэволюционных методов принятия решений, таких как GNARL, ENS3, NEAT (и его модификаций, в том числе HyperNEAT), предлагаемый метод применим для оптимизации как структуры, так и параметров нейросетей любой топологии. Он лишен типичных недостатков, связанных с использованием нейроэволюционного подхода: конкурирующих представлений; незащищенных инноваций; проблемы начального размера. Предлагаемый метод позволяет снизить риск преждевременной сходимости и «паралича» нейронной сети, обеспечивает исключение остановки вычислительного процесса на локальных оптимумах. Автором описаны основные аспекты предлагаемого метода: прямой способ генетического кодирования и определяемая им структура хранения данных; параметры хромосом; вид функции приспособленности; алгоритмы селекции, мутации и рекомбинирования. Дано теоретическое обоснование введения этапа локальной оптимизации, наделяющего метод свойствами меметичности. Приведены результаты успешного применения метода для решения классических нейроэволюционных задач, в том числе задач адаптивного управления, реализации логических функций, трудноформализуемых задач восстановления поврежденных данных. Эффективность метода доказана результатами его практического использования в задачах защиты информационной системы от DDoS-атак, рейтинговой оценки размещаемых в базе знаний материалов; оптимизации работы систем 3D-печати.

Ключевые слова: генетические алгоритмы, нейронные сети, искусственный интеллект, нейроэволюция, меметичные алгоритмы, системы поддержки принятия решений, неопределенность, эволюционные вычисления, гибридные интеллектуальные системы, TWEANN, COGANN, 3D-принтеры

NEUROEVOLUTIONAL METHOD OF DECISION MAKING INTELLECTUALIZATION IN CONDITIONS OF INDETERMINACY

Khlopkova Olga A., post-graduate student, Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics, 7 Nezhinskaya St., Moscow, 119501, Russian Federation, e-mail: ohlopkova@nifi.ru

This article presents the adaptive method of intellectualization of decision support systems under conditions of indeterminacy, incomplete information and dynamic environment. As distinct from existing neuroevolutional methods such as GNARL, ENS3, NEAT (and its modifications including HyperNEAT), the method is applicable for the optimization of both the structure and parameters of the neural networks of any topology. It is deprived of the main neuroevolution-related drawbacks such as competing conventions, unprotected innovations, initialization and topology minimization, topological innovations. This method reduces the risk of premature convergence, network paralysis and solves the local minima problem. This article describes the main aspects of the method: the scheme structure defined by the direct encoding, chromosomes parameters, fitness function definition and algorithms of selection, mutations and recombination. The article introduces the theoretical rationale for the memetic phase of the parameters and structure local tuning. The article gives examples of successful application of the method to classical neuroevolutional problems such as

adaptive control, constructing of logical functions, damaged data recovery. The method proved its efficiency in appliance to practical problems of information system protection from DDoS-attacks, rating calculation of materials in knowledge base and improvement of the 3D-printing systems.

Keywords: genetic algorithms, neural networks, artificial intelligence, neuroevolution, memetic algorithms, decision support systems, indeterminacy, evolutionary computation, hybrid intelligent systems, TWEANN, COGANN, 3D-printers

Введение. Методы нейроэволюции служат для самоорганизации искусственных систем, автоматизации решения оптимизационных задач и наделения программных комплексов принятия решений адаптивным поведением. Они нашли применение при разработке большого числа средств управления динамическими нелинейными системами в условиях неопределенности и наличия лишь ограниченной информации.

Самоорганизующиеся модули демонстрируют высокие показатели качества в системах принятия решений (СПР), оперирующих неполными, трудноформализуемыми и неточными данными. Нейроэволюционные методы принятия решений все чаще применяются в предметных областях, где отсутствует физическое или статистическое понимание поведения системы, наблюдается большой статистический разброс входных данных; нелинейность механизма их обобщения. Несмотря на активные исследования в рассматриваемой области, пока остается открытым вопрос создания эффективной искусственной нейронной сети (ИНС) с динамической структурой, обладающей высокими показателями точности вывода, скорости обучения и функционирования, надежности и масштабируемости.

В связи с этим целью данной статьи является разработка формализованного метода, лишенного основных недостатков, присущих большинству современных нейроэволюционных методов.

Общая характеристика структуры хранения данных, используемая в предлагаемом методе. Нейроэволюция – форма настройки нейросети с использованием эволюционных алгоритмов. Как показывает практика, эволюционные методы настройки топологии ИНС и ее параметров TWEANN [9] (Topology and Weight Evolving Artificial Neural Network) позволяют сократить количество примеров в обучающей выборке и количество нейронов сети, оптимизировать топологию. К основным проблемам, связанным с практическим применением COGANN (Combination Of Genetic Algorithms And Neural Networks, сочетание генетических алгоритмов и нейронных сетей) [9], относятся следующие: конкурирующие представления; незащищенные инновации; проблемы начального размера и топологических инноваций; преждевременной сходимости; «паралича» ИНС и необходимости «преодоления» локального оптимума [18].

Конкурирующие представления (проблема перестановок) – это проблема, связанная с отсутствием биекции «генотип – фенотип», при котором один и тот же фенотип топологически может быть представлен в генотипе несколькими способами. Применение оператора кроссинговера для двух схожих фенотипов с большой вероятностью генерирует поврежденную ИНС с повторяющимися или отсутствующими элементами.

Незащищенные инновации – это явление отсеивания в ходе нейроэволюции вариантов, которые являются удачными, но их первые несколько эпох демонстрируют низкую приспособленность из-за ненастроенных весовых коэффициентов и параметров функции активации.

Проблема начального размера и топологических инноваций во многих методиках возникает из-за того, что начальная популяция формируется набором случайных топологий. При этом затрачивается время на отсеивание заведомо нежизнеспособных особей, а сформированные популяции имеют тенденцию преждевременной сходимости к решениям, размер которых не оптимален. *Преждевременная сходимость* означает остановку генетическо-

го алгоритма до достижения им глобального оптимума. «Паралич» нейросети – неконтролируемый рост значений весовых коэффициентов в процессе обучения и, как следствие, активизация нейронов только при очень больших входных значениях.

Большинство существующих на данный момент алгоритмов применимы только для нейросетей определенного типа. Например, метод GNARL [13] работает только с рекуррентными ИНС. В методе ENS3 [9] заложены ограничения на вид функции активации. Метод HyperNEAT[15] не предназначен для реализации эволюции топологии.

Такая ситуация определяет целесообразность и востребованность разработки достаточно универсального метода, допускающего гибкую «адаптацию» к решаемым задачам. При этом эволюция архитектуры и топологии нейросети осуществляется на протяжении всего процесса ее функционирования. Направление эволюции зависит от изменений свойств динамически управляемого объекта: качественные и количественные изменения могут идти как по пути усложнения, так и упрощения. Экспоненциальное снижение быстродействия нейросети с ростом количества ее элементов препятствует широкому распространению больших нейросетей. Такие сети сложно проектировать и настраивать. Эволюционная оптимизация количества нейронов и слоев упрощает поиск компромисса между скоростью достижения результата и его точностью.

В качестве структуры хранения данных для генетического кодирования в предлагаемом методе был выбран список смежности. Размер занимаемой им памяти линейно зависит от количества нейронов (N) и количества синаптических связей между ними S – как $O(|N| + |S|)$. Компактность данной структуры открывает возможность оперирования топологией глубоких ИНС с экстремально большим, порядка десятков тысяч, количеством нейронов. Список смежности ставит в соответствие каждому i -ому проиндексированному нейрону список пар вида $\{s_{ij}, w_{ij}\}$, где s_{ij} – индекс нейрона, связанного синапсом с j -ым нейроном, а w_{ij} – вес этой связи. Для входных нейронов этот список пуст. Для каждого нейрона список смежности хранит также пороговое значение θ , вид и параметры функции активации f . Важным свойством описываемой структуры является избыточность. Помимо перечисленных параметров она содержит следующую информацию: IN_i – минимальное количество узлов ИНС, через которые должен пройти входной сигнал, чтобы достигнуть i -го нейрона; OUT_i – минимальное количество узлов ИНС, через которые должен пройти сигнал, сгенерированный i -ым нейроном, чтобы достигнуть выхода.

Хранение и пересчет этих параметров способствуют решению проблем *конкурирующих представлений* и *незащищенных инноваций*, свойственных схеме прямого кодирования. Использование прямого кодирования подразумевает фиксированное взаимно-однозначное соответствие между фенотипом, образующим структурные элементы ИНС, и соответствующими участками хромосомы. Биекция «фенотип – генотип» позволяет отслеживать изменения популяции и причины этих изменений; применять к хромосомам уже имеющийся аппарат генетического поиска. Из наиболее очевидных минусов такой схемы можно отметить зависимость длины генотипа от количества нейронов и связей. Следствием является низкая эффективность – за счет увеличения пространства поиска для больших и сверхбольших ИНС.

При косвенном кодировании в генотипе содержатся только правила построения фенотипа. Несмотря на свойственную косвенному кодированию компактность представления, в изложенном методе реализована схема прямого кодирования. Это обусловлено недостатками косвенного кодирования: низкой производительностью и медленной сходимостью; практической невозможностью отслеживания изменений генотипа, послуживших причинами заданных изменений фенотипа; ограничениями, накладываемыми на генетические операторы. Каждый i -ый элемент списка смежности имеет вид: $\{i, \{s_{i0}, w_{i0}\}, \dots, \{s_{iM}, w_{iM}\}, \theta, f_{type}, \{p_0, \dots, p_K\}, IN_i, OUT_i\}$.

Нейросети любой топологии и размерности кодируются при помощи данного универсального представления. На рисунке 1 приведен пример структуры простой рекуррентной ИНС с контекстом и единственным скрытым слоем.

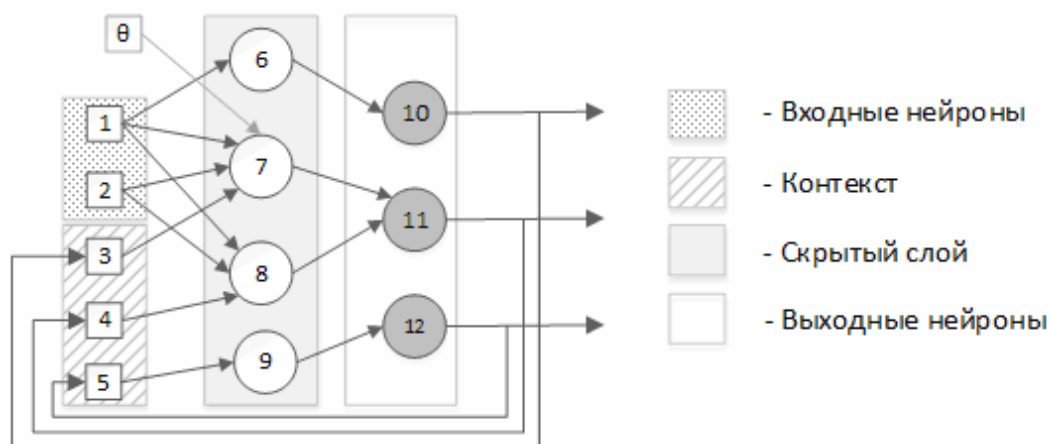


Рис. 1. Рекуррентная ИНС с единственным скрытым слоем

Структуре такой нейросети соответствует список смежности, представленный в таблице 1. Нейрону с индексом i сопоставлены вектор пар $\{s_{ij}, w_{ij}\}$ индексов и весовых коэффициентов, порог θ , вид функции активации f_{type} , вектор параметров $\bar{p}$, значения IN_i и OUT_i для расчета минимального расстояния до входа и выхода ИНС.

Таблица 1

Список смежности рекуррентной ИНС, представленной на рисунке 1

i	$\{s_{ij}, w_{ij}\}$	θ	f_{type}	$\bar{p}$	IN_i	OUT_i
1	—	0	mth	1,5; 3; 1,68; 2	0	2
2	—	0	mth	1,7; 2,5; 1,5; 2	0	2
3	{10; 0,45}	0	$sigm$	1,07	2	2
4	{11; 0,8}	0	$sigm$	2	2	2
5	{12; 0,91}	0	$sigm$	0,89	2	2
6	{1; 0,21}	0	th	2,01	1	1
7	{1; 0,5}, {2; 0,42}, {3; 0,7}	-0,3	th	1,68	1	1
8	{1; 0,1}, {2; 0,3}, {4; 0,8}	0	th	2	1	1
9	{5; 1}	0	th	2	1	1
10	{6; 0,98}	0	th	2	2	0
11	{7; 0,54}, {8; 0,5}	0	th	1,3	2	0
12	{9; 0,75}	0	th	1,3	2	0

Особенности реализации генетического алгоритма. Оператор кроссингвера (скрещивания) необходим для смешивания генетического материала хромосом-предков и формирования на его основе хромосомы-потомка. Так как хромосомы, подвергающиеся кроссингверу, предварительно проходят этап отбора, можно ожидать, что на каждой итерации алгоритма приспособленность хромосом-потомков возрастает. Кроме того, кроссингвер привносит в популяцию разнообразие, так как генерирует новые, ранее не встречавшиеся решения.

Пусть необходимо применить оператор одноточечного кроссинговера к скрытым слоям двух ИНС, изображенных на рисунке 2: $[4, 5, 6, 7] \times [7, 4, 5, 6]$. Одним из возможных результатов является комбинация $[4, 5, 5, 6]$, в которой недостает нейрона 7 и продублирован нейрон 5. То есть отсутствует один из функциональных компонентов ИНС. Данный пример иллюстрирует проблему *конкурирующих представлений*, приводящую к появлению в популяции нежизнеспособных особей и значительному снижению результативности работы нейроэволюционного алгоритма.

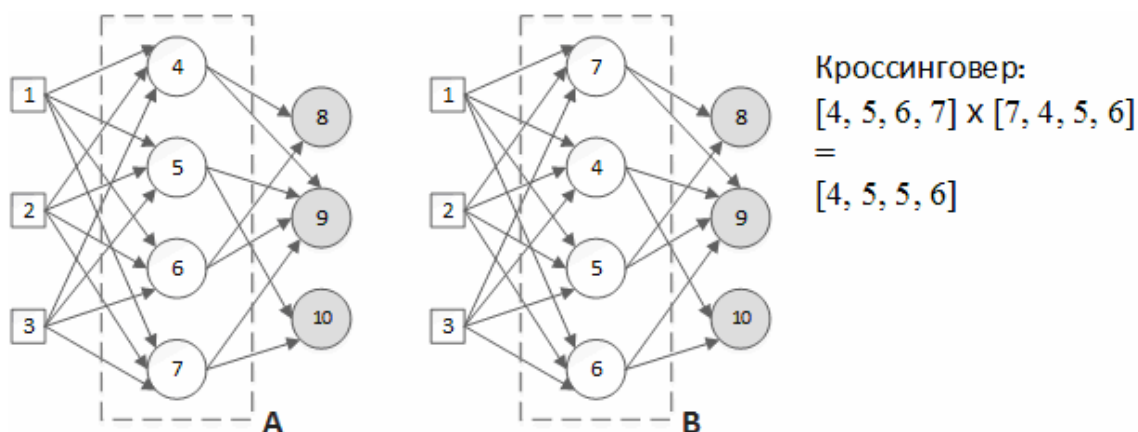


Рис. 2. Иллюстрация проблемы конкурирующих представлений

Индексация узлов ИНС и использование параметров IN_i и OUT_i позволяют успешно решить проблему *конкурирующих представлений*. Во-первых, новые узлы, добавляемые в ИНС операторами мутации и кроссинговера, обладают большими индексами, чем узлы, присутствовавшие в ИНС в предыдущее эпохи нейроэволюции. Во-вторых, наличие сведений о кратчайшем пути к входным и выходным узлам препятствует скрещиванию участков нейросети, несущих разную функциональную нагрузку. Например, становится невозможным кроссинговер между C -плоскостями и S -плоскостями неокогнитрона; между слоями свертки и подвыборки во сверточной ИНС или слоями параллельных подсчетов Сиамской ИНС [6].

Мутация в измененных за предыдущие эпохи участках ИНС является менее вероятной, чем в не эволюционировавших участках. Индексирование узлов снижает риск удаления из популяции новых элементов, что решает проблему *незащищенных инноваций*. На эффективность нейроэволюции непосредственно влияют подбор генетических операторов и вид функции приспособленности, описанные в рамках соответствующих этапов эволюционного алгоритма (рис. 3).

Рассмотрим эти этапы более подробно.

1. Инициализация. Формирование начальной популяции P^0 с достаточным разнообразием особей. Проблемы *начального размера* и *топологических инноваций* решаются ограничением на количество нейронов нейросетей нулевой эпохи. Для списка смежности реализована операция удаления нейронов. А функция приспособленности, накладывающая штраф на размер ИНС, гарантирует, что в ходе эволюции количество узлов нейросети не будет строго возрастающим.

2. Преобразование генотипа в фенотип: декодирование хромосом особей в множество ИНС.

3. Оценка приспособленности. Для функции приспособленности $F(x)$ в пространстве поиска X требуется найти такое значение аргумента x^* , при котором $F(x)$ достигнет своего

наибольшего значения: $x^* = \arg \max F(x), x \in X$. Функция приспособленности F_i особи i в эпоху t вычисляется по формуле:

$$F_i^t = T_i E_i^t N_i^t M_i^t (T_{\max} N_{\max}^t M_{\max}^t \rho_{\min}(i, j))^{-1},$$

где T_i – количество эпох эволюции данной особи; $T_{\max}$ – максимально возможное количество эпох; E_i^t – средняя квадратическая ошибка вывода нейросети i ; N_i^t – количество нейронов данной особи; $N_{\max}^t$ – максимальное количество нейронов особей эпохи t ; M_i^t – количество связей между нейронами данной особи; $M_{\max}^t$ – максимальное количество связей между нейронами особей (вместе с N_i^t параметры $N_{\max}^t$ и $M_{\max}^t$ формируют штраф на размер ИНС); $\rho_{\min}(i, j)$ – минимальное расстояние между i -ой хромосомой и другими хромосомами популяции (штраф для схожих генотипов).

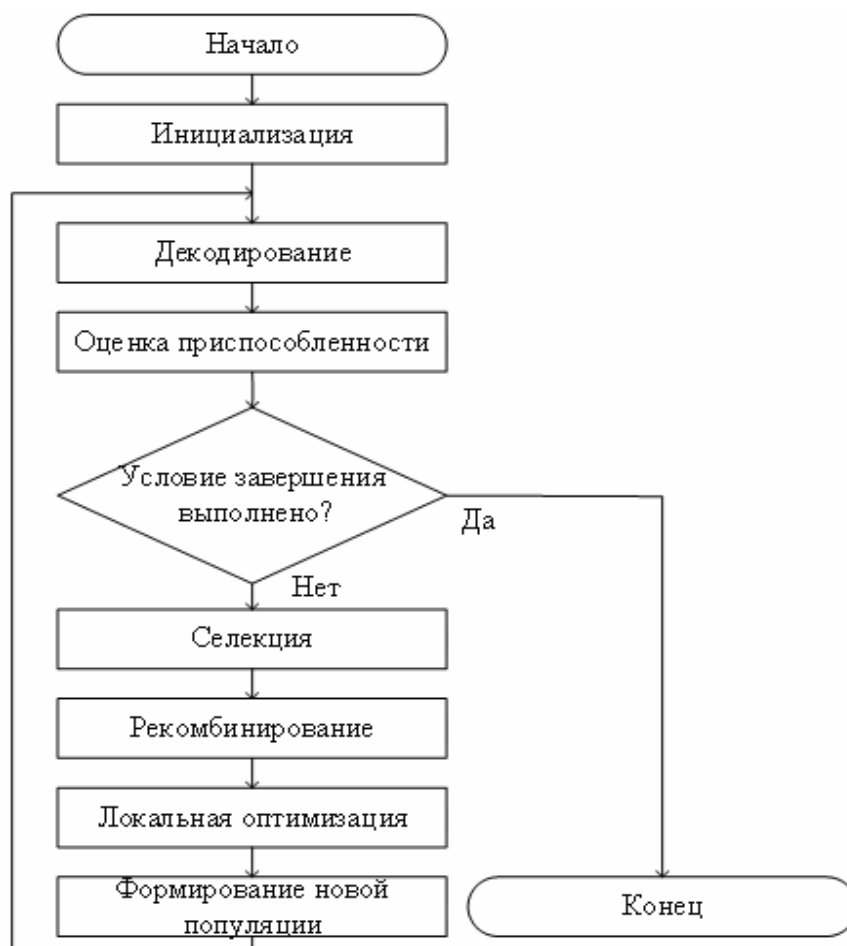


Рис. 3. Блок-схема организации процесса нейроэволюции

Для предотвращения преждевременной сходимости и ситуации, в которой средние и наилучшие особи формируют примерно одинаковое количество потомков. Значение F масштабируется по следующей формуле:

$$\tilde{F} = (F + F_{avg} - c\sigma)^{\vartheta},$$

где F_{avg} – средняя приспособленность популяции; $c = const \in [1, 5]$; σ – среднее квадратичное отклонение приспособленностей по популяции; $\vartheta = 1 + (2\tau^2 - 1)^{-1}$, здесь $\tau \in [-0.1, 0.5]$ – число, подбираемое с учетом специфики задачи.

4. Проверка условия завершения эволюции. Независимыми друг от друга условиями завершения могут быть следующие: по количеству эпох; по исчерпанию времени эволюции (или количества обращений к функции оптимизации); по достижению наилучшей комбинации генов; по выходу функции приспособленности на «плато», то есть по отсутствию ее изменения в течение заданного количества эпох. Если выполнено любое из этих условий, то алгоритм завершает работу. Иначе выполняется следующий шаг.

5. Селекция. Оператор отбора хромосом SL (*selection*) для новой популяции реализован вероятностным методом [9] в сочетании с методом «элит» [9]. Наиболее удачные особи заносятся в пул «хороших» решений, остальные выбираются для рекомбинирования с вероятностью P_{SL} :

$$P_{SL}(i) = F_i / (\sum_{j=1}^N F_j).$$

Пул «хороших» решений необходим для поддержания разнообразия популяции и предотвращения быстрой сходимости алгоритма к неоптимальному решению (локальному оптимуму). Хромосома для фенотипа p^* запоминается в пуле при выполнении условий:

$$(\forall p \in P)((\rho(p, p^*) = \rho_{\max}) \cap (F(p^*) \in F^*) \cup (F(p^*) = F_{\max})),$$

где $\rho_{\max}$ – максимальное в данную эпоху расстояние между особями; $F_{\max}$ – максимальная приспособленность.

6. Рекомбинирование – применение генетических операторов (кроссинговера и мутации) к отобраным на предыдущем шаге особям.

Кроссинговер CR (*crossingover*) – генетический оператор, влияющий на размер популяции. Автором используется *многоточечный кроссинговер* [9]. В общем случае для D точек пересечения результатом скрещивания особей $p_i^t = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, $p_j^t = \{b_1, b_2, \dots, b_n\} \in P^t$ эпохи t станут два генотипа последующей популяции $t+1$:

$$p_i^{t+1} = \{a_1, \dots, a_{d_1}, b_{d_1+1}, \dots, b_{d_2}, a_{d_2+1}, \dots, a_{d_D}, \dots\},$$

$$p_j^{t+1} = \{b_1, \dots, b_{d_1}, a_{d_1+1}, \dots, a_{d_2}, b_{d_2+1}, \dots, b_{d_D}, \dots\} \in P^{t+1}.$$

Точки пересечения $d_k, k \in [1, D]$ выбираются случайным образом.

Мутация (*mutation*) MT – диссипативный компонент эволюции, «выводящий» популяцию из локальных экстремумов, привносящий разнообразие и новую информацию в генофонд.

Мутация оперирует отдельными генами особи, среди которых есть числовые и номинальные признаки. Оператор MT реализует следующие функции: добавление (последовательное либо параллельное) или удаление нейрона; добавление или удаление связи между нейронами; изменение параметров нейрона (значения порога θ , вида функции активации $f(S)$ и ее параметров). Вероятность мутации отдельного гена $P(g_i)$ эпохи t рассчитывается следующим образом:

$$P(g_i) = (\alpha \cdot e^{\gamma} (\beta L)^{-1})^{0.5} N^{-1},$$

где $\alpha, \beta, \gamma = const$; L – длина хромосомы; N – размер популяции.

Выбор формулы данного вида обусловлен тем, что для эффективной эволюции вероятность мутации должна зависеть от размера популяции обратно пропорционально. Одной из основных целей оператора мутации является поддержание разнообразия особей. Однако при этом на маленьких популяциях частые мутации негативно сказываются на сходимости к оптимуму.

Хромосомы большой длины обеспечивают вариативность популяции. Поэтому вероятность мутации тем выше, чем меньше параметров содержит хромосома. Параметры α, β, γ последней формулы выбираются до начала эволюции и необходимы для тонкой настройки процесса мутации.

7. Локальная оптимизация. Данный этап наделяет алгоритм свойствами меметичности [10, 22] и обосновывает целесообразность использования прямого метода кодирования хромосом.

Преимуществами эволюционной настройки параметров ИНС являются следующие: независимость от архитектуры нейросети и характеристик функций активации; отсутствие необходимости в применении обучающей выборке. При использовании эволюционного алгоритма необходимо подобрать адекватную оценку качества работы ИНС, подходящую для любой особи в популяции.

Этап локальной оптимизации состоит из следующих шагов: эволюционная донастройка весов и параметров функций активации ИНС популяции; пересчет функций приспособленности; возвращение к предыдущим значениям параметров в случае снижения приспособленности.

Эти шаги проиллюстрированы блок-схемой на рисунке 4.



Рис. 4. Блок-схема этапа локальной оптимизации

8. Генерирование новой популяции P^{t+1} и переход на новую эпоху эволюции $t+1$ (шаг 2 по схеме на рис. 3):

$$P^{t+1} = MT \cdot CR \cdot SL(P^t, F^t).$$

Результаты тестирования предлагаемого метода. Описанный метод, с одной стороны, способен рационально исследовать пространство поиска и избегать остановки на локальных экстремумах; с другой – эффективно использовать найденные «хорошие» решения и на их основе постепенно улучшать результаты.

В соответствии с теоремой схем [11, 21] применение оператора мутации лишь в редких случаях снижает приспособленность представлений меньшего порядка, а кроссинговер редко снижает приспособленность представлений с меньшей определяющей длиной. Эти факторы влияют на вероятность применения мутации и кроссинговера.

Описанные операторы селекции и рекомбинирования в совокупности с функцией приспособленности и пулом «хороших» особей предназначены для самоадаптации алгоритма к уровню сложности задачи.

Можно утверждать, что описанный метод обладает требуемыми для практического применения качествами. Эмпирически это подтверждается тестированием на разнотипных классических нейроэволюционных задачах, среди которых были задачи адаптивного управления; реализация логических функций; трудноформализуемые задачи восстановления поврежденных данных.

В качестве задачи адаптивного управления была выбрана задача об «обратном маятнике» теории автоматического управления. Обратный маятник имеет центр масс выше своей точки опоры и находится на конце жесткого стержня. Точка опоры кданного стержня закреплена на тележке.

В начальный момент времени маятник отклоняется на заданный угол от положения равновесия. Задача заключается в установлении устойчивого состояния маятника путем перемещения тележки некоторым усилием. При этом следует избегать концов отрезка, по которому может перемещаться тележка.

Было рассмотрено три варианта системы стабилизации (табл. 2).

1) классическая формулировка задачи. Один обратный маятник, тележка с которым перемещается по заданному отрезку. Для усложнения задачи на вход системы управления подавалась информация о текущем угле балансируемого маятника, но не о его угловой скорости;

2) двойной обратный маятник. Тележка с двумя обратными маятниками, закрепленными на стержнях различной длины;

3) обратный маятник на плоскости. Задача, в которой тележка перемещается не по прямой, а в двумерном пространстве.

Для проверки эффективности предложенной нейроэволюционной модели в качестве классификатора линейно-неразделимых образов [15] была использована функция XOR, являющаяся частным случаем задачи о классификации точек единичного гиперкуба. Хотя сама по себе реализация логических функций при помощи ИНС считается тривиальной задачей, она была выбрана для тестирования нейроэволюционной системы по двум соображениям. (1) Проверка оптимизации параметров: весовых коэффициентов, вида функций активации и пороговых значений. Реализация функции XOR наглядно продемонстрировала точность настройки весовых коэффициентов и оптимальность выбора в качестве функции активации пороговой функции. (2) Проверка оптимальности структуры ИНС. Для успешного решения задачи XOR многослойный персептрон должен иметь два входа, скрытый слой из четырех нейронов и один выход. Сгенерированная в ходе нейроэволюции ИНС обладает данной архитектурой. Это является доказательством эффективности процесса организации эволюции и правильности подобранных генетических операторов.

Задачи восстановления поврежденных данных (зашумленных сигналов, поврежденных изображений) за счет слабой формализуемости являются весьма показательными при испытании нейроэволюционных моделей. В качестве такой задачи было выбрано восстановление поврежденного изображения размера не более $R \times C$, в котором $X\%$ пикселей неизвестны.

Процесс восстановления осуществляется следующим образом: на вход обученной ИНС подается поврежденное изображение, $X\%$ пикселей которого повреждены. После этого на выходе ИНС формируется восстановленный образ. В нем $X\%$ пикселей замещены значениями весов соответствующих нейронов.

Результаты решения приведенных тестовых задач при помощи разработанного метода и методов, указанных в первом разделе, представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Сравнение эффективности нейроэволюционных методов
для различных типов задач**

Задача Метод	Количество эпох/неудач				
	Обратный маятник	Двойной обратный маятник	Обратный маятник на плоскости	XOR	Восстановление изображения
Предложенный метод	2/0	25/1	37/2	11/0	146/2
CE [11]	5/0	150/14	230/20	19/0	441/4
CNE [11]	4/0	800/30	1312/27	31/2	659/0
DXNN [17]	3/0	614/28	802/12	9/0	235/0
EANT [14]	7/0	975/14	1040/1	14/0	148/23
ENS3 [8]	8/0	741/16	1021/5	15/1	360/0
EPNet [20]	3/0	543/20	717/45	10/0	152/0
ESP [20]	2/0	19/1	33/2	17/1	554/0
GNARL [7]	4/0	591/13	719/34	16/0	408/7
ICONE [12]	6/0	903/6	1452/14	12/0	415/0
NEAT [8]	6/0	24/1	79/1	8/0	210/0
SANE [18]	11/0	63/3	104/3	9/0	276/4

Применение разработанного метода к некоторым практически важным задачам. Эффективность и надежность предлагаемого метода доказаны применением к ряду практически важных задач: защита информационной системы (ИС) от DDoS-атак; рейтинговая оценка размещаемых в базе знаний материалов [3, 5]; диагностика систем 3D-печати [19].

Рассмотрим сначала использование предлагаемого метода для защиты ИС, состоящей из трех основных компонентов: базы данных; сервисов, инкапсулирующих логику обработки данных; корпоративного портала. Через корпоративный портал пользователи получают доступ к виртуальным средам для работы над проектами и поручениями, к методам аналитической обработки информации и данным, соответствующим агрегируемому в хранилище материалов (архив). С целью защиты данного портала был реализован классификатор для выявления DDoS-атак. В качестве обучающей выборки для классификатора были использованы файлы логов веб-запросов и находящиеся в открытом доступе базы сетевых атак (securelist.ru). Было сформировано 14 входных параметров для анализа.

1. HTTP-метод запроса, принимающий одно из значений, определенных протоколом – GET, HEAD, POST, PUT и т.д.
2. URI запрашиваемого ресурса в стартовой строке запроса.
3. Версия протокола. Например, HTTP/1.1.
4. Url источника запроса – определяется по значению заголовка referer.
5. User-Agent – информация о клиентском приложении, обрабатываемая специальным парсером для разбиения на отдельные признаки.
6. Корректность заголовков. Значение данного двоичного параметра формируется парсером заголовков.
7. Код состояния сервера – статус сервера в ответе на запрос клиента. Особый интерес представляют следующие значения статуса: 403 – forbidden, 404 – not found, 503 – service unavailable.
8. Ip-адрес клиента. Параметр необходим для фильтрации запросов во время DDoS-атаки, в том числе по первому октету Ip, определяющему RIR (регионального интернет регистратора).
9. Cookie: name=value – строка в ответе на присланный сервером куки (добавленный в HTTP-заголовок или установленный сценарием JavaScript).
10. Ответ клиента на сценарий JavaScript.
11. Ответ клиента на Flash-контент, отправленный сервером.
12. Время поступления запроса. Параметр был добавлен для снижения риска ошибок второго рода: вероятность запроса от легитимного клиента на корпоративный портал в нерабочее время ниже, чем атакующего хоста.
13. Время, прошедшее между двумя запросами клиента. Параметр позволяет блокировать хосты, отправляющие большое количество запросов за короткий промежуток времени.
14. Количество подключений клиента. Учет данного параметра при фильтрации клиентов повышает вероятность блокирования клиентов со статическим Ip, но оказывается полезным для фильтрации атакующих хостов, использующих прокси.

Из данных параметров был сформирован входной вектор ИНС, каждый элемент которого проходил предобработку. Для адаптации диапазона значений переменной и достижения однородности интерпретации входных параметров нейросети компоненты вектора были масштабированы. Исходные значения многих параметров варьируются в большом диапазоне, и работа ИНС с такими данными является некорректной. Поэтому такие значения проходили процедуру нормализации и приводились к одному диапазону. Данный этап предобработки данных позволяет сделать множество параметров пригодными к сравнению между собой.

В процессе нейроэволюции количество параметров было сокращено до 11 (параметры с номерами 2, 3, 5 были отброшены как обладающие низкой значимостью). В 17-ую эпоху эволюции в сетях прямого распространения были сформированы обратные связи и контекст. Таким образом, в ходе нейроэволюции была оптимизирована структура ИНС.

Рекуррентная ИНС показала наилучшие результаты со следующей структурой: входной слой, контекст, первый скрытый слой из 31 нейрона, второй скрытый слой из 14 нейронов, выходной слой (2 нейрона, на выход которых поступает на контекст). Описанная ИНС имеет два выхода: нет DDoS атаки на конкретном обращении к ИС; есть атака.

Архитектура с единственным нейроном в выходном слое могла бы быть потенциально возможной альтернативной данной классификационной нейросети. Значения непрерывной выходной переменной такой регрессионной ИНС могли бы интерпретироваться как «вероятность атаки низкая или отсутствует», «средняя вероятность атаки» и соответственно «высокая вероятность». Представляется, что данная альтернатива могла бы быть полезна в случае последующего анализа решений ИНС модератором.

Накопленная статистика свидетельствует, что при работе сервера в штатном режиме количество пользовательских запросов варьируется в районе сотен запросов в секунду. А во время DDoS-атаки средней силы оно возрастает на два–три порядка. Внедрение данного классификатора в ИС позволило значительно снизить риски отказа серверов из-за DDoS-атак: классификатор способен с вероятностью 99,892 % избежать ошибок первого и второго рода при распознавании (дифференциации) легитимных пользователей и атакующих машин.

Данная оценка формировалась в течение восемнадцати месяцев по результатам обработки данных о злонамеренных и тестовых DDoS-атаках. Тестовые атаки организовывались с целью оценивания работоспособности классификатора и закрепления навыков сотрудников информационного отдела по оперативной обработке критических ситуаций.

Второй областью для практического применения описанного метода является его использование в качестве сервиса для рейтинговой оценки материалов, размещаемых в виртуальной среде для работы над научными проектами, и принятия решения об их дальнейшей обработке. Потребность в данном сервисе обусловлена необходимостью автоматического управления контентом виртуальной среды. Каждому размещаемому в ней материалу сопоставлен набор разнотипных параметров, среди которых следующие: автор, категория, теги, результаты согласования, дата обновления, количество просмотров, комментарии пользователей, оценки модераторов.

Множество входных нейронов ИНС было поставлено в соответствие данным параметрам. После порядка 900 эпох эволюции точность нейросетевого вывода стала достаточной для верификации и последующего внедрения ИНС в слой бизнес-логики сервиса обработки контента. Наилучшее решение было представлено нейросетью прямого распространения, состоящей из пяти слоев. Наличие трех выходов позволило при помощи ИНС одновременно решать несколько задач: расчет непосредственно рейтинговой оценки; принятие решений о перенесении материала в архив, отдельную рубрику или закрытое хранилище.

Таким образом, нейровэволюционная система была интегрирована на корпоративный портал государственного бюджетного учреждения для автоматизации следующих процессов:

- 1) сбор и копирование в архив тех материалов, которые обладают высокими показателями качества (востребованности);
- 2) ранжирование и рубрикация материалов для их быстрого и результативного поиска.
- 3) отсев в закрытое хранилище материалов, не востребованных для дальнейшей работы над проектом.

Внедрение сервиса позволило распределить нагрузку на сервера (за счет структуризации материалов по отдельным библиотекам документов) и повысить качество работы сотрудников в виртуальной среде (за счет сокращения времени на поиск необходимой информации).

Сервис способствует также накоплению статистики с целью выявления наиболее востребованной информации, модификации состава и структуры информации на портале.

Третья область применения изложенного метода – это оптимизация конструкции пластиковых элементов 3D-принтеров в рамках открытого RepRap-сообщества. Проект RepRap (Replicating Rapid Prototyper, самовоспроизводящийся механизм для быстрого прототипирования) был организован для конструирования и распространения 3D-принтеров с открытыми спецификациями и общедоступными наработками.

Под самовоспроизведением понимается возможность изготовления на принтере всех пластиковых элементов его конструкции для сборки точной копии. В качестве материалов для печати чаще всего используются такие термопластики, как ABS (акрилонитрилбутадиенстирол), PLA (полилактид), TPE (термопластичный эластомер). Реже применяются дюропластики, силиконы и другие, менее доступные конечному пользователю материалы.

Процесс изготовления детали состоит из трех ключевых шагов: создание 3D-модели, слайсинг (преобразование модели в g-код для принтера) и непосредственно печать. Большинство существующих и распространяемых в RepRap-сообществе деталей на текущее время имеет ряд существенных недостатков: неоправданно высокую материалоемкость, неоптимальную конфигурацию и недостаточную прочность.

В связи с этим было принято решение о разработке новых версий деталей для оптимизации принтеров Prusa поколения i3. В качестве инструмента оптимизации выступает описанный нейроэволюционный метод: было сгенерировано поколение сетей, имеющих архитектурное сходство с сетями Хопфилда [16].

При наличии множества обратных связей в процессе функционирования динамика такой сети конвергирует к положению равновесия. Это позволяет использовать ИНС для решения задачи оптимизации: максимизации прочности детали при минимизации материалоемкости и отсутствии «поддержки» конструкции для предотвращения деформации во время печати стенок детали, имеющих угол наклона более 70° .

На рисунке 5 представлены исходная деталь для закрепления мотора оси «X» до оптимизации (слева) и после оптимизации (справа) для наглядной демонстрации возможностей метода.

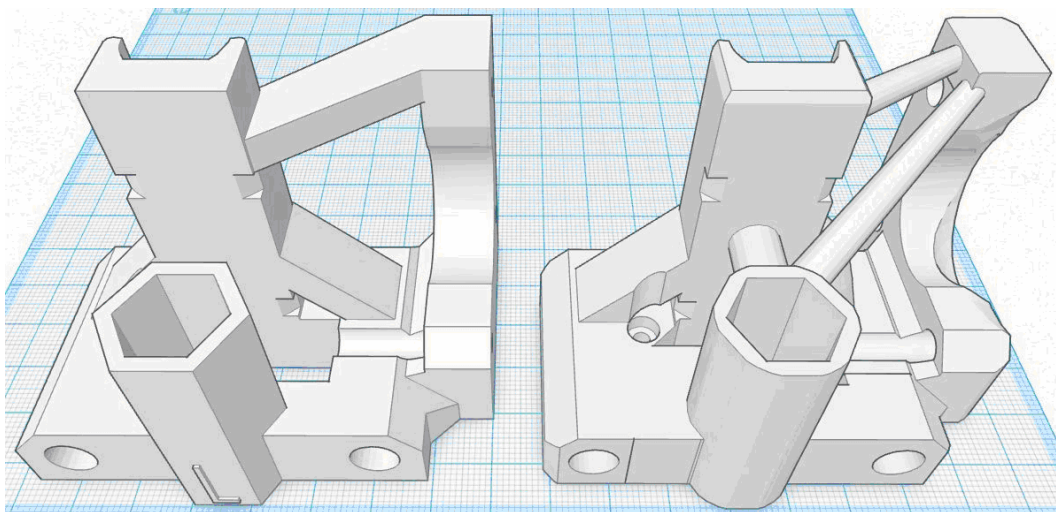


Рис. 5. Сравнение конструкции детали 3D-принтера Prusa до и после оптимизации

При помощи данной ИНС были спроектированы новые версии для 11-ти из 15-ти деталей принтера Prusa i3. Экономия филамента при их распечатывании достигла 27 % по сравнению с исходными образцами.

После распечатывания с теми же параметрами печати, что и у образцов (заполнение типа «honeycomb 50 %», пластик ABS), они были использованы как элементы конструкции оптимизированной версии 3D-принтера. За четыре месяца работы принтер показал лучшее качество печати изделий за счет уменьшения вибраций и большую износоустойчивость по сравнению с неоптимизированной версией.

Таким образом, нейроэволюционная система продемонстрировала точность в задачах многокритериальной оценки и адаптируемость к новым наборам данных в тестовых и практических областях применения. Она показала отличные результаты на этапах тестирования, валидации и эксплуатации.

Выводы. Подводя итоги, можно отметить, что предложенный метод подтвердил свою эффективность для построения широкого класса интеллектуальных систем принятия решений и управления динамическими объектами. При изменении задач управления или свойств управляемого объекта исходная топология нейросети может оказаться не оптимальной. Поэтому для корректного функционирования в нестационарной окружающей среде ИНС должна быть реконфигурирована. В соответствии с требованиями к устойчивости нейросетевого вывода метод позволяет оптимизировать не только параметры нейронов, но и перестраивать саму нейросетевую структуру.

Поскольку сложности при выборе топологии зачастую препятствуют применению ИНС на практике, то адаптивная самонастраивающаяся система способна упростить и в определенной степени автоматизировать процесс настройки и обучения ИНС, повысить ее универсальность.

Помимо практического применения, метод представляет интерес в области теоретических исследований – описанные в данной статье генетические операторы применительно к нейронным сетям предполагают возможность комбинирования нескольких ИНС в одну с сохранением их «жизнеспособности». Благодаря этому становится возможной генерация «нестандартных», нерегулярных топологий и гибридных ИНС.

Список литературы

1. Брумштейн Ю. М. Анализ моделей и методов выбора оптимальных совокупностей решений для задач планирования в условиях ресурсных ограничений и рисков / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Тарков, И. А. Дюдилов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3. – С. 69–180.
2. Зунг Н. Т. Распознавание объектов в системе технического зрения мобильного робота: использование библиотеки FLANN и алгоритма SURF / Н. Т. Зунг, И. А. Щербатов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 4. – С. 65–76.
3. Комлева Н. В. Инновационная информационная среда для обогащения качества образования / Н. В. Комлева, Л. А. Данченко, Т. М. Гулая // Инст. Дж. Форсайта и инновационной политики. – 2010. – № 6. – С. 257.
4. Лукьянов Н. Д. Параметрическая оптимизация автоматических систем стабилизации с помощью генетического алгоритма : автореф. дис. ... канд. техн. / Н. Д. Лукьянов. – Иркутск : Иркутский государственный университет путей сообщения, 2014. – 138 с.
5. Хлопкова О. А. Обработка контента в информационных средах на основе нейро-нечеткой модели принятия решений / О. А. Хлопкова, Н. В. Комлева // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. – 2013. – № 5. – С. 188–192.
6. Bromley J. Signature verification using a “siamese” time delay neural network / J. Bromley, I. Guyon, Y. LeCun, E. Sackinger, R. Shah // International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence. – 1993. – № 7. – P. 739–744.
7. Cheetam A. Binary (presence-absence) similarity coefficients / A. Cheetam, J. Hazel // Paleontology. – 1969. – Vol. 43, № 5. – P. 1130–1136.
8. Chen X. A Multi-Facet Survey on Memetic Computation / X. Chen, Ye.-S. Ong, M.-H. Lim, K. C. Tan // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 2011. – Vol. 15, № 5. – P. 591–607.
9. Clune J. On the performance of indirect encoding across the continuum of regularity / J. Clune, K. O. Stanley, R. T. Pennock // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 2011. – Vol. 15, № 3. – P. 346–367.
10. Del Moral P. On Adaptive Resampling Procedures for Sequential Monte Carlo Methods / P. Del Moral, A. Doucet, A. Jasra // Bernoulli Society for Mathematical Statistics and Probability. – 2012. – Vol. 18, no. 1. – P. 252–278.
11. Fulcher J. Advances in Applied Artificial Intelligence / J. Fulcher. – Hershey : Idea Group Publishing, 2006. – 325 p.

12. Gauci S. Generating Large-Scale Neural Networks Through Discovering Geometric Regularities / S. Gauci // Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO-2007). – New York : ACM, 2007. – P. 997–1004.
13. Gruau F. Neural network synthesis using cellular encoding and the genetic algorithm. – France : Ecole Normale Supérieure de Lyon, 1994. – 183 p.
14. Karkavitsas G. Automatic Music Genre Classification Using Hybrid Genetic Algorithms / G. Karkavitsas, G. Tsihrintzis. – Springer : Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services, 2011. – P. 323–335.
15. Liles W. Introduction to Schema Theory: a survey lecture of pessimistic & exact schema theory / W. Liles, P. Wiegand, G. Mason. – University EC lab Activities, 2002. – 114 p.
16. Moriarty D. E. Forming neural networks through efficient and adaptive coevolution / D. E. Moriarty, R. Miikkulainen // Evolutionary Computation. – 1997. – № 5. – P. 373–399.
17. Pasemann F. Balancing rotators with evolved neurocontroller / F. Pasemann, U. Dieckmann. – Leipzig : Max-Planck-Institute for Mathematic in Sciences, 2007. – 36 p.
18. Rempis C. Evolving Complex Neuro-Controllers with Interactively Constrained Neuro-Evolution / Ch. Rempis. – Osnabrück University, 2012. – 240 p.
19. Salam A. Low-cost 3D Printing for Science, Education and Sustainable Development / A. Salam. – 2013. – 192 p.
20. Sher G. Handbook of Neuroevolution Through Erlang / G. Sher. – Springer Verlag, 2012. – 92 p.
21. Siebel N. Evolutionary reinforcement learning of artificial neural networks / N. Siebel, G. Sommer // International Journal of Hybrid Intelligent Systems. – 2007. – № 4 (3). – P. 171–183.

References

1. Brumshteyn Yu. M., Tarkov D. A., Dyudikov I. A. Analiz modeley i metodov vybora optimalnykh sovokupnostey resheniy dlya zadach planirovaniya v usloviyakh resursnykh ogranicheniy i riskov [The models and methods analysis of optimum choice for decisions sets in conditions of resources restrictions and risks]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 3, pp. 169–180.
2. Zung N. T., Shherbatov I. A. Raspoznavanie obektov v sisteme tekhnicheskogo zreniya mobilnogo robota: ispolzovanie biblioteki FLANN i algoritma SURF [Object recognition in machine vision system of mobile robot: the using of library “FLANN” and algorithm “SURF”]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 4, pp. 65–76.
3. Komleva N., Danchenok L., Gulaya T. Innovatsionnaya informatsionnaya sreda dlya obogashcheniya kachestva obrazovaniya [Innovative information environment for enriching education quality]. *Inst. Dzh. Forsayta i innovatsionnoy politiki* [Intst. J. Foresight and Innovation Policy], 2010, no. 6, p. 257.
4. Lukyanov N. *Parametricheskaya optimizatsiya avtomaticheskikh sistem stabilizatsii s pomoshchyu geneticheskogo algoritma* [Parametric optimization of automatic stabilization systems using genetic algorithm], Irkutsk, Irkutsk State University of Railway Transport Publ. House, 2014. 138 p.
5. Khlopko O. A., Komleva N. V. *Obrabotka kontenta v informatsionnykh sredakh na osnove neyro-nechetkoy modeli prinyatiya resheniy* [Content management in information environments based on neuro-fuzzy of decision-making]. *Ekonomika, statistika i informatika. Vestnik UMO* [Economics, Statistics and Informatics. Bulletin of the UMO], 2013, no. 5, pp. 188–192.
6. Bromley J., Guyon I., LeCun Y., Sackinger E., Shah R. Signature verification using a “siamese” time delay neural network. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 1993, no. 7, pp. 739–744.
7. Cheetam A., Hazel J. Binary (presence-absence) similarity coefficients. *Paleontology*, 1969, vol. 43, no. 5, pp. 1130–1136.
8. Chen X., Ong Ye.-S., Lim M.-H., Tan K. C. A Multi-Facet Survey on Memetic Computation. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2011, vol. 15, no. 5, pp. 591–607.
9. Clune J., Stanley K. O., Pennock R. T. On the performance of indirect encoding across the continuum of regularity. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2011, vol. 15, no. 3, pp. 346–367.
10. Del Moral P., Doucet A., Jasra A. On Adaptive Resampling Procedures for Sequential Monte Carlo Methods. *Bernoulli Society for Mathematical Statistics and Probabilit*, 2012, vol. 18, no. 1, pp. 252–278.
11. Fulcher J. *Advances in Applied Artificial Intelligence*, Hershey, Idea Group Publishing, 2006. 325 p.

12. Gauci S. Generating Large-Scale Neural Networks Through Discovering Geometric Regularities. *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO-2007)*, New York, ACM Publ., 2007, pp. 997–1004.
13. Gruau F. *Neural network synthesis using cellular encoding and the genetic algorithm*, France, Ecole Normale Supérieure de Lyon Publ. House, 1994. 183 p.
14. Karkavitsas G., Tsihrantzis G. *Automatic Music Genre Classification Using Hybrid Genetic Algorithms*, Springer, Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services Publ. House, 2011, pp. 323–335.
15. Liles W., Wiegand P., Mason G. *Introduction to Schema Theory: a survey lecture of pessimistic & exact schema theory*, University EC lab Activities Publ. House, 2002. 114 p.
16. Moriarty D. E., Miikkulainen R. Forming neural networks through efficient and adaptive coevolution. *Evolutionary Computation*, 1997, no. 5, pp. 373–399.
17. Pasemann F., Dieckmann U. *Balancing rotators with evolved neurocontroller*, Leipzig, Max-Planck-Institute for Mathematics in Sciences Publ. House, 2007. 36 p.
18. Rempis C. *Evolving Complex Neuro-Controllers with Interactively Constrained Neuro-Evolution*, Osnabrück University Publ. House, 2012. 240 p.
19. Salam A. *Low-cost 3D Printing for Science, Education and Sustainable Development*, 2013. 192 p.
20. Sher G. *Handbook of Neuroevolution Through Erlang*, Springer Verlag, 2012. 92 p.
21. Siebel N., Sommer G. Evolutionary reinforcement learning of artificial neural networks. *International Journal of Hybrid Intelligent Systems*, 2007, no. 4 (3), pp. 171–183.

УДК 004.652

**АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ
АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА
ДЛЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
РАЗНОРОДНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ¹**

Статья поступила в редакцию 20.08.2015, в окончательном варианте 14.09.2015.

Аминеv Дмитрий Андреевич, кандидат технических наук, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, Российская Федерация, г. Москва, ул. Мясницкая, 20, e-mail: aminev.d.a@yandex.ru

Кокин Николай Николаевич, аспирант, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, Российская Федерация, г. Москва, ул. Мясницкая, 20, e-mail: nikolay.kokin@mail.ru

Увайсов Сайгид Увайсович, доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, Российская Федерация, г. Москва, ул. Мясницкая, 20, e-mail: uvaysov@yandex.ru

Тихменев Александр Николаевич, кандидат технических наук, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, Российская Федерация, г. Москва, ул. Мясницкая, 20, e-mail: alextikhmenev@gmail.com

Рассмотрены принципы диагностического моделирования физических процессов в электронных схемах; основные причины преждевременных отказов электронных средств (ЭС); их неудовлетворительной надежности. Выявлена необходимость создания информационно-логической модели для исследований вариантов организации потоков данных при диагностическом моделировании разнородных физических процессов в ЭС. Предложена архитектура информационной системы диагностического моделирования ЭС. Ее особенностью является комплексный подход к моделированию

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-07-00414 «Информационная система диагностического моделирования физических процессов в электронных схемах»).

различных видов неисправностей в ЭС с учетом влияния разнородных физических процессов. Система моделирования позволяет учесть не только механические, тепловые, электромагнитные и аэродинамические воздействия, но их взаимное влияние, в том числе такие эффекты: изменение механических свойств материалов под воздействием температурных полей; разогрев проводников под воздействием электромагнитных полей и т.д. Разработан алгоритм формирования данных при диагностическом моделировании. Он опирается на создание базы измерительной информации, формирующейся в процессе экспериментальных исследований с одновременной поддержкой моделирования разнородных физических процессов. Рассмотрен пример диагностического моделирования печатного узла в рамках разработанной системы.

Ключевые слова: электронные схемы, печатные узлы, надежность, физические процессы, диагностическое моделирование, алгоритмы, температурные поля, механические свойства материалов, разогрев проводников, информационная система

**ANALYSIS OF CONSTRUCTION PRINCIPLES
OF HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX
FOR DIAGNOSTIC SIMULATION
HETEROGENEOUS PHYSICAL PROCESSES
IN ELECTRONICS**

Aminev Dmitriy A., Ph.D. (Engineering), National Research University Higher School of Economics, 20 Myasnitskaya St., Moscow, 101000, Russian Federation, e-mail: aminev.d.a@yandex.ru
Kokin Nikolay N., post-graduate student, National Research University Higher School of Economics, 20 Myasnitskaya St., Moscow, 101000, Russian Federation, e-mail: nikolay.kokin@mail.ru
Uvaysov Saygid U., D.Sc. (Engineering), Professor, National Research University Higher School of Economics, 101000, Russian Federation, Moscow, 20 Myasnitskaya St., e-mail: uvaysov@yandex.ru
Tikhmenev Aleksandr N., Ph.D. (Engineering), National Research University Higher School of Economics, 20 Myasnitskaya St., Moscow, 101000, Russian Federation, e-mail: alextikhmenev@gmail.com

The principles of diagnostic modeling of physical processes in the electronic circuits and the main causes of premature failures and poor reliability of electronic equipment are reviewed. The necessity of creation of information and logical model for investigations of options to manage the flow of data in the diagnostic modeling of heterogeneous physical processes. The architecture of the information system diagnostic modeling feature is the integrated approach to the modeling of different types of fault in an electronic medium with the influence of diverse physical processes. The modeling system includes not only the mechanical, thermal, electromagnetic and aerodynamic effects, but their mutual influence, including the change of mechanical properties of materials under the influence of temperature fields; heating the conductors under the influence of electromagnetic fields, etc. An algorithm for the formation of diagnostic data modeling, which is based on the creation of the database measurement information emerging in the course of experimental studies with simultaneous support of heterogeneous modeling of physical processes. An algorithm for the formation of diagnostic data modeling is developed. It relies on the creation of the database measurement information emerging in the course of experimental studies with simultaneous support of heterogeneous modeling of physical processes. An example of a diagnostic fashion-PCA-regulation within the developed system is reviewed.

Keywords: electronic circuits, printed circuit assemblies, reliability, physical processes, diagnostical modeling, algorithms, temperature field, mechanical properties of materials, heating conductors, information system

Введение. Информатизация различных процессов в современном обществе делает все более актуальной проблему обеспечения надежности аппаратных и программных средств. Основной причиной преждевременных отказов и неудовлетворительной надежности электронных средств (ЭС) считается наличие в них скрытых дефектов [12, 18]. Выявление и идентификацию неисправностей в ЭС целесообразно осуществлять на основе результатов диагностического моделирования (ДМ). Оно может выполняться, в частности, для печатного

узла с рядом внесенных «виртуальных» или реальных неисправностей и имитацией воздействия окружающей среды (вибрации, повышенная температура, влажность и т.д.). Однако вопросы управления потоками данных при ДМ рассмотрены недостаточно полно в существующих публикациях. Поэтому целью данной работы является создание информационно-логической модели (ИЛМ) для проведения исследований вариантов организации потоков данных при ДМ ЭС при наличии в них разнородных физических процессов [1, 13].

Общая характеристика содержания разработки. Для выявления и идентификации неисправностей на основе ДМ физических процессов, протекающих в ЭС, в рамках гранта 14-07-00414 РФФИ разрабатывается автоматизированная информационная система (АИС). В ней математическое моделирование электрических процессов в ЭС производится с учетом рабочих температур комплектующих элементов. Это обеспечивает высокую достоверность результатов автоматизированного диагностирования [9]. Моделирование может осуществляться в статическом режиме; в частотной и временной областях – для контроля состояния параметров не только активных и пассивных, но и реактивных элементов. В процессе проектирования ЭС в рамках реализации CALS-технологии моделирующая система позволяет обеспечить контролепригодность устройства с заданной глубиной и требуемой полнотой диагностирования [10]. Заметим, что разработанная система позволяет смоделировать «отказ» работоспособности компонента без учета его «пограничных» состояний – т.е. когда элемент еще работает, но его характеристики значительно изменились по сравнению с первоначальными (паспортными).

Система объединяет на единой информационной платформе различные подсистемы автоматизированного моделирования физических процессов, а комплексный характер анализа получаемых данных повышает эффективность диагностирования [8]. Обмен данными между подсистемами АИС осуществляется с помощью информационных потоков, причем данные предварительно конвертируются в необходимые форматы [2, 3]. При ДМ работы ЭС возможен учет результатов математического моделирования статических и других режимов электрических схем, тепловых и механических процессов, происходящих в ЭС; взаимовлияния этих процессов. Информация, полученная по результатам ДМ, позволяет определить изменения в функционировании ЭС, связанные с наличием моделируемых дефектов; выявить возможные цепочки (сочетания) неисправностей; оптимизировать расположение контрольных точек для проведения измерений физических параметров.

Характеристика экспериментальной установки. Основное назначение стендового оборудования заключается в воспроизведении условий функционирования печатного узла и имитации воздействий на исследуемый образец совокупности разнородных физических полей.

Примером такой экспериментальной установки может являться стендовый комплекс TV51110 компании Zetlab. Он позволяет делать следующее: воспроизводить гармоническую и случайную вибрационную нагрузку; осуществлять контроль виброускорений в режиме реального времени для компонентов печатного узла; производить бесконтактные измерения температуры объектов, размещенных на печатном узле; формировать гармоническую вибрацию от 2 до 7000 Гц с ускорением до 45 g. В стендах компании Zetlab используются бесконтактные средства измерения – тепловизоры или пирометры. Информационный интерфейс стенда с внешней средой обеспечивается применением аналогово-цифровых преобразователей – с возможностью считывания быстротекущих процессов, организацией многоканальной записи данных и результатов их математического анализа.

Для проведения теплового контроля можно применять бюджетный тепловизор TESTO 875-2i со следующими характеристиками: разрешение матрицы 160 × 120 пикселей; чувствительность 50 мК при +30 °С; переключаемые диапазоны измерений от –30 до +100 °С и от 0 до +350 °С с точностью ±2 °С или ±2 % от измеренного значения. Такой тепловизор позволяет на коротком расстоянии оценивать температурный режим компонентов исследуемого печатного узла.

Экспериментальная установка на основе описанных вибростенда и тепловизора полноценно обеспечит диагностическое моделирование в области механического и температурного анализа печатных узлов.

Информационно-логическая модель системы ДМ. Для рассматриваемой системы ДМ ИЛМ показывает логические взаимосвязи и отображает информационные потоки между экспериментальной установкой имитационного моделирования (рис. 1б) и программным комплексом математического моделирования разнородных физических процессов (рис. 1а) [7].

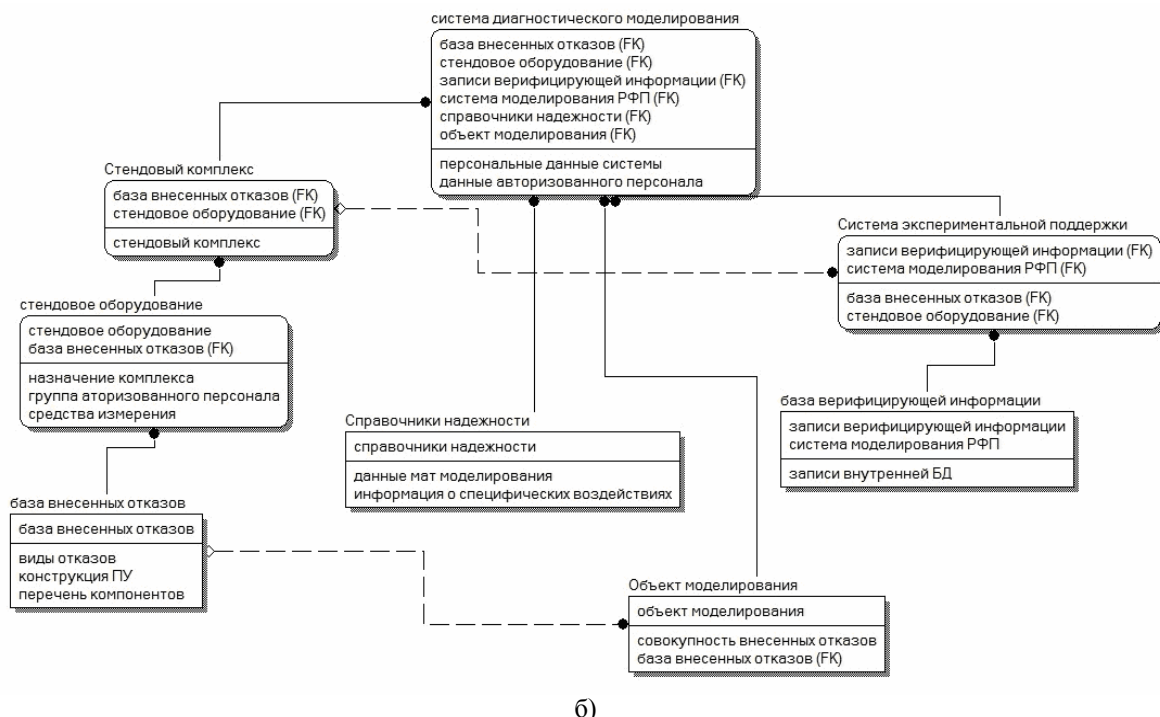
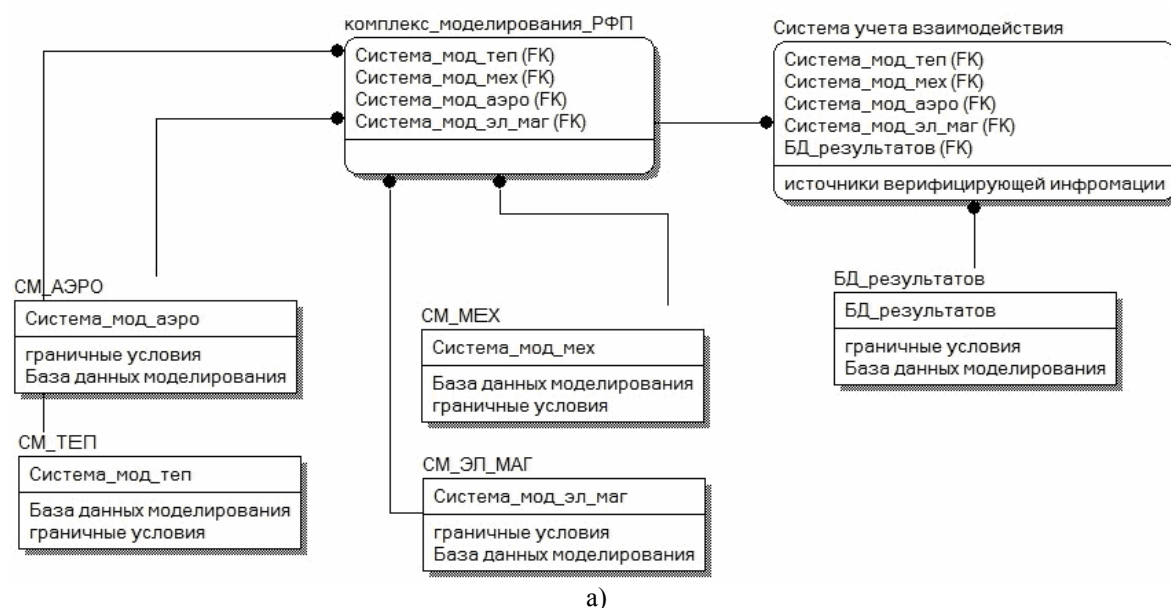


Рис. 1. Информационно-логическая модель системы ДМ

Состав объектов инфологической модели [4] на глобальном уровне определяется характером взаимодействия между информацией, получаемой в ходе эксперимента, имитирующего воздействие условий окружающей среды на диагностируемый печатный узел и информации, полученной на основе математического моделирования. Проводится сбор экспериментальной информации о воздействии разнородных физических полей на исследуемый объект. Затем уточняются созданные на первом этапе математические модели с учетом полученной при эксперименте информации [5].

Информационные потоки [11], возникающие при взаимодействии составляющих частей ИЛМ, в первую очередь предназначены для сравнения различных компонентов измерительной информации (массива измерений и контролируемых параметров окружающей среды и характеристики воздействий различной природы). Точность информации, представленной в потоках, исходящих из части экспериментальной установки, завязана на точность средств измерения и наличие случайных погрешностей в системе. Объем получаемой информации связан, в первую очередь, с количеством датчиков и частотой отсчетов контролируемых параметров. Система моделирования разнородных физических процессов и описанный выше стендовый комплекс ДМ предназначены в основном для оценки характеристик установившихся (стационарных) состояний исследуемых объектов. Поэтому количество информации, контролируемой в единицу времени, невелико. Однако в случае моделирования быстротекущих динамических воздействий объем информации будет значительно большим.

Технологии проведения диагностического моделирования. Система ДМ опирается на использование стендовых комплексов и измерительную аппаратуру, с которой данные передаются в базу измерительной информации. База пополняется в процессе проведения эксперимента (рис. 2) [6]. Среди блоков общей инфологической модели [14] стендового комплекса следует особо выделить следующие группы данных: состав испытательного и измерительного оборудования, входящего в конкретный стендовый комплекс; авторизованный персонал с допуском к проведению исследований; функциональное назначение комплекса по диагностированию воздействия физических полей определенной природы. Информация о результатах испытаний передается в базу данных, хранимую на стендовой персональной ЭВМ. На основе этой информации производится количественная оценка параметров надежности исследуемых узлов.

При этом к комплексу ДМ подключены справочники надёжности. Они могут дополняться информацией об условиях функционирования отдельных компонентов исследуемого печатного узла из системы моделирования разнородных физических процессов или данными, связанными со специфическими условиями функционирования радиоэлектронной аппаратуры (например, информацией о присутствии радиационного излучения, его интенсивности и пр.). Сам эксперимент строится на основе базы данных о внесенных в систему отказах для проведения ДМ.

Часть ИЛМ, соответствующая реализации методов математического моделирования разнородных физических процессов, является источником информации о предполагаемых физических параметрах, с определенной долей точности описывающих состояние диагностируемого узла – с учетом внесенных «виртуальных» неисправностей и отказов ЭС. В ИЛМ реализован вызов (ввод) информационных потоков от программ моделирования тепловых, механических, электромагнитных и аэродинамических процессов, связанных с функционированием ЭС. При этом представленная структура ИЛМ предполагает гибкость системы в плане добавления новых источников информации и проведения моделирования взаимодействия разнородных физических процессов. В ИЛМ реализуется ввод полученной путем математического моделирования информации в единую базу данных с возможностью её использования на различных этапах: анализа экспериментальной информации; верификации моделей физических процессов в исследуемых объектах; учета взаимодействия разнородных физических процессов. В дальнейшем полученный «комплекс информации» используется для оценки свойств тестируемых печатных узлов и проведения ДМ с учетом внедренных (внесенных) в ЭС отказов [17, 20].

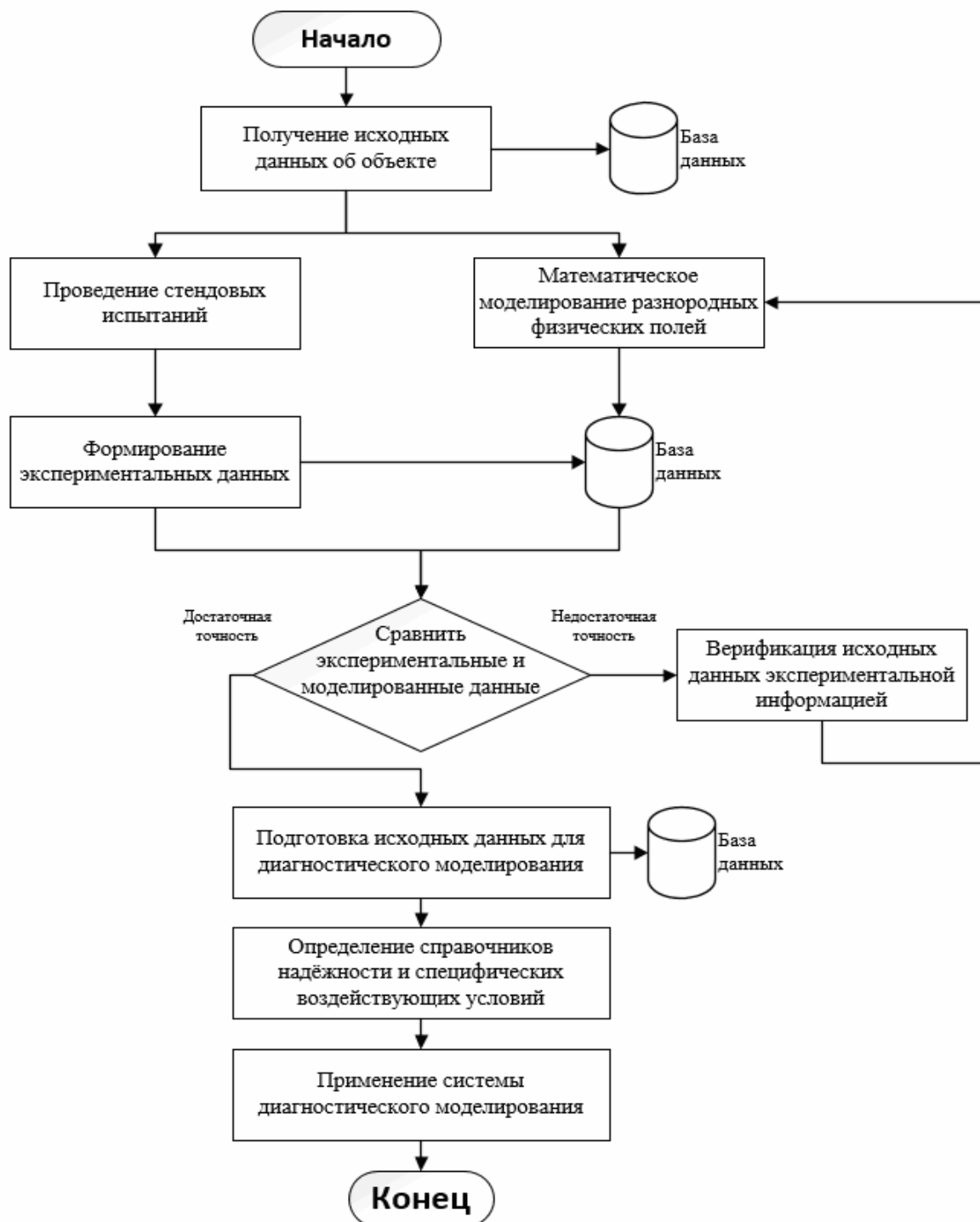


Рис. 2. Блок-схема алгоритма формирования данных при ДМ

Алгоритм (рис. 3) формирования данных при ДМ опирается на создание базы измерительной информации, возникающей в процессе экспериментальных исследований – с одновременной поддержкой моделирования разнородных физических процессов. Первым эта-

пом становится формирование исходной информации о печатном узле и планируемых экспериментальных исследованиях его функционирования с организацией массивов данных, описывающих варианты воздействий. Физические процессы, выбираемые в качестве основных, определяются исходя из целей экспериментального исследования, технических возможностей стендового оборудования, назначения диагностируемой радиоэлектронной аппаратуры. Например, печатные узлы радиоэлектронной аппаратуры космического назначения, работающей в условиях вакуума, важно диагностировать на тепловой режим функционирования. Поскольку из возможных способов отвода тепловой энергии присутствуют только кондуктивный и лучистый теплообмен (конвективного нет). Дополнительные исследования направлены на обеспечение механической устойчивости конструкции к воздействию вибрационных и ударных нагрузок в процессе вывода космического аппарата на орбиту. При этом блоки радиоэлектронной аппаратуры проектируются с учетом использования средств электромагнитной и радиационной защиты. Следовательно, печатный узел не будет испытывать дополнительных нагрузок, связанных с указанными воздействиями.

Алгоритм делится на две взаимосвязанные логические ветви: моделирования разнородных физических процессов средствами математического моделирования; экспериментальной оценки состояния исследуемого объекта [16], его параметров. При проведении математического моделирования производится оценка выходной информации на предмет соответствия физике рассматриваемых процессов и адекватности представлений о функционировании исследуемого объекта – в том числе при наличии отказов отдельных элементов. При неудовлетворительной точности модель дополняется информацией, получаемой в ходе экспериментальных исследований, и производится её уточнение – совместно с включением в модель факторов влияния разнородных физических процессов. В случае удовлетворительной оценки точности выходной информации от смоделированного ЭС происходит перенос полученных данных в систему ДМ – в специально создаваемый массив динамической памяти. При этом система дополняется информацией о надежности [15, 19] радиоэлектронных компонентов исследуемого печатного узла и информацией о специфических условиях окружающей среды, влияющих или могущих повлиять на работоспособность компонентов.

Пример использования диагностического моделирования ЭС при наличии отказов. В качестве объекта для исследования был выбран стабилизатор напряжения, представляющий собой печатную плату размерами 45 x 45 x 1,5 мм с размещенными на ней электрорадиоэлементами (рис. 3).

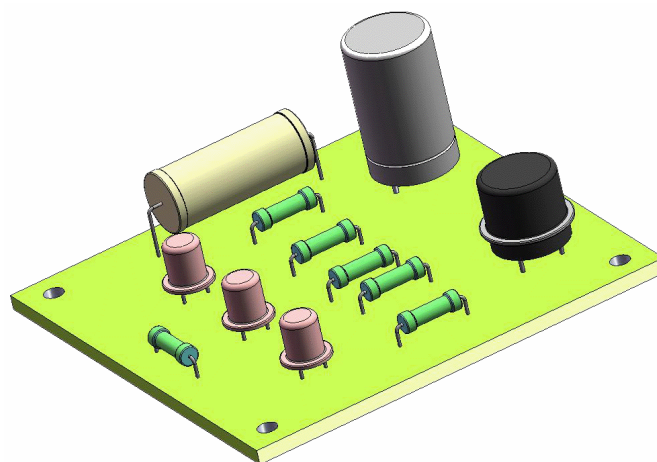


Рис. 3. Трехмерная модель линейного стабилизатора напряжения

Для проведения теплового диагностического моделирования (рис. 4) формируется перечень неисправностей, которые дополняются дефектами, не выявляемыми однозначно электрическим методом диагностирования. Кроме того, назначаются контрольные точки, в качестве которых выбираются поверхности корпусов электрорадиоэлементов. Проводя анализ полей значений (например, температур), полученных при математическом моделировании, определяют каким образом наиболее рационально сформировать тестовые воздействия и выбрать контрольные точки. Это позволит, выявить весь возможный спектр неисправностей ЭС с использованием методов электрического, теплового и механического диагностирования.

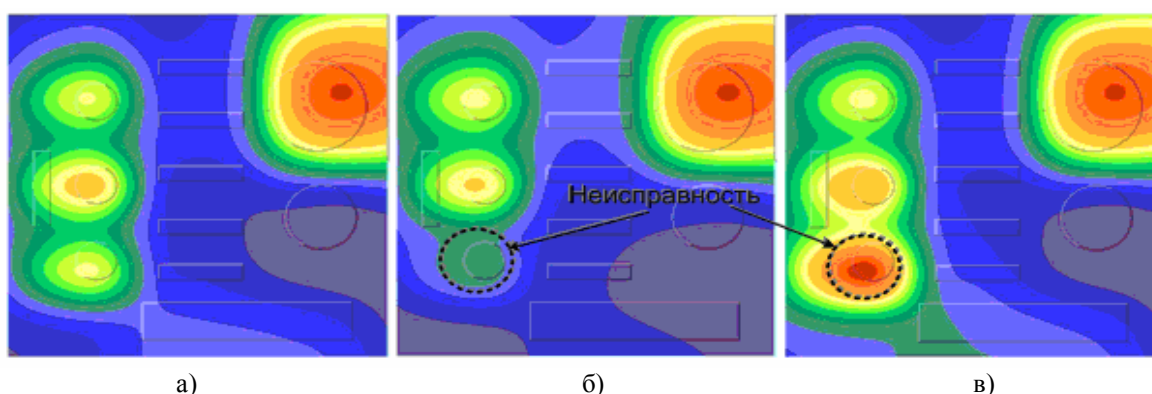


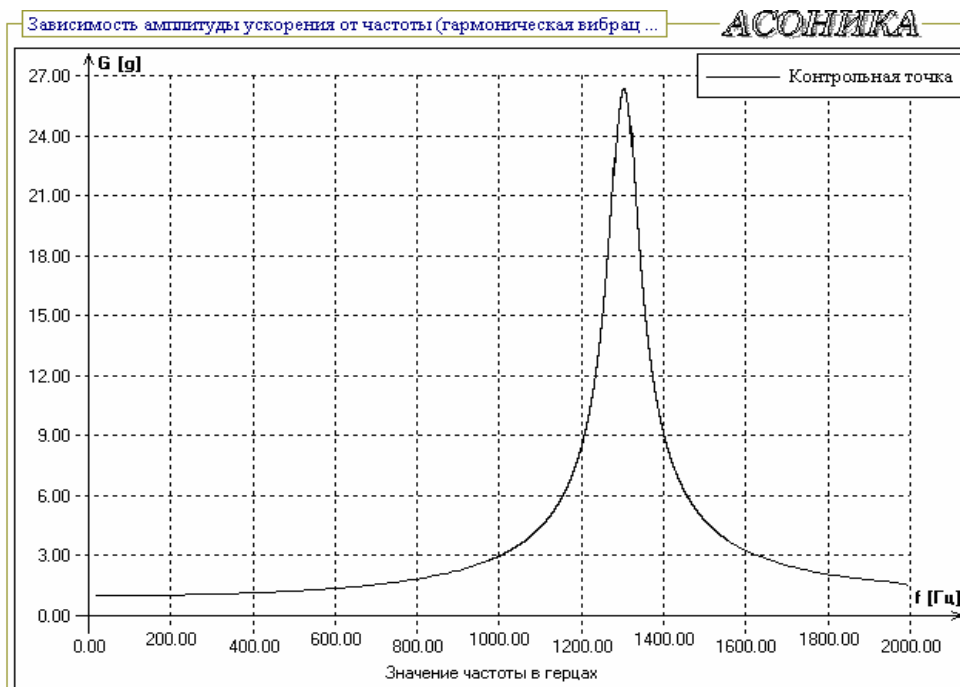
Рис. 4. Пример результатов диагностического моделирования тепловых процессов в печатном узле линейного стабилизатора напряжения (более «теплые» цвета соответствуют более высоким температурам): «а» – работоспособный печатный узел без дефектов и неисправностей; «б» – отказ резистора с увеличением его сопротивления; «в» – плохое крепление транзистора к печатному узлу

Из рисунка 4б видно, что отказ резистора привел к снижению тепловыделения транзистора, а отсутствие контакта транзистора с ПП (рис. 4в) – к повышению его температуры.

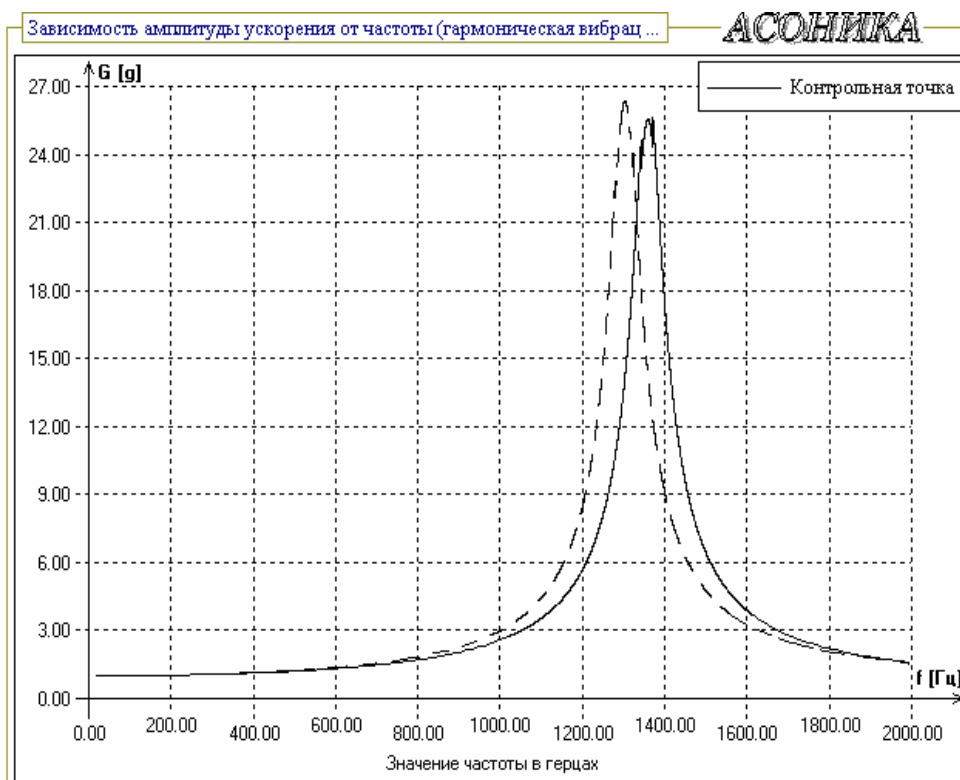
В качестве моделируемых механических дефектов были выбраны следующие: отличие массы транзистора от номинального паспортного значения, например заводской брак; отсутствие точки крепления печатной платы к стойкам блока радиоэлектронной аппаратуры; изменение изгибной жесткости печатной платы, например за счет возможной ошибки в расположении и диаметре отверстий под выводы радиоэлектронных компонентов; отсутствие сопротивления вследствие механического повреждения печатного узла при сохранении работоспособности ЭС.

Результатом такого моделирования является информация об изменении амплитудно-частотной характеристики ЭС, связанной с внесенными в рассматриваемую систему изменениями (дефектами) (рис. 5).

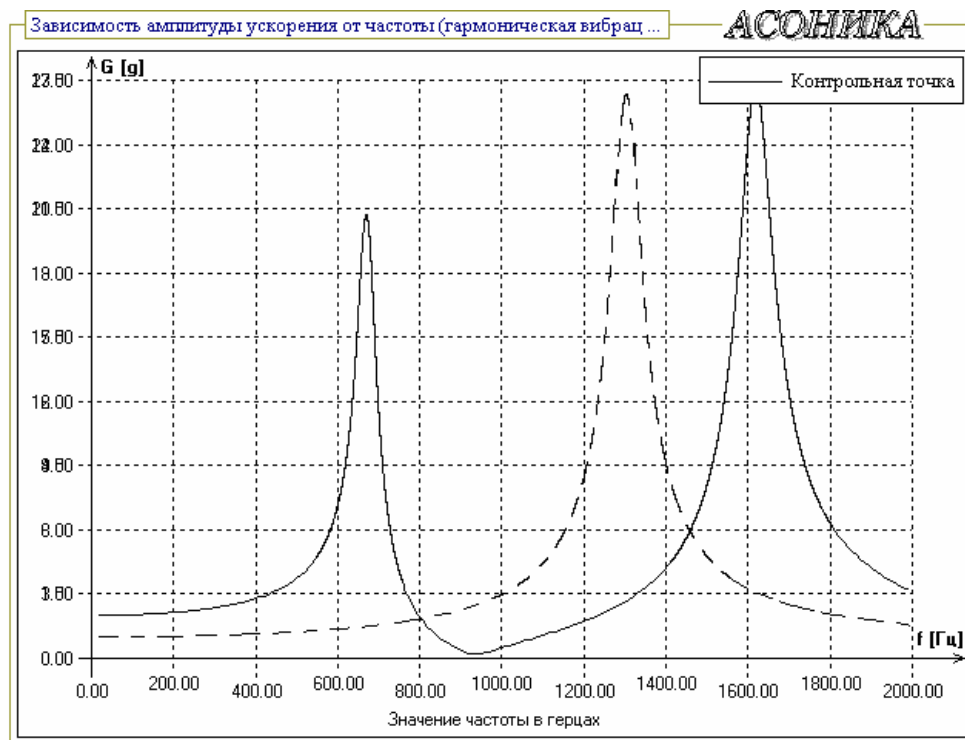
Таким образом, ДМ разнородных физических процессов печатного узла линейного стабилизатора напряжения включает в себя формирование списка неисправностей, который является перечнем дефектов, наиболее характерных для данного вида проектируемого изделия. Назначение контрольных точек выполняется на основе перечня возможных дефектов, а также результатов, полученных с использованием математической модели для ЭС без дефектов. Контрольные точки выбираются таким образом, чтобы «охватить» наибольшее количество возможных неисправностей. При этом в первую очередь в качестве контрольных точек используются выходные разъемы ЭС. Это позволяет избежать разборки ЭС, т.е. выполнить его неразрушающий контроль (диагностику).



а)



б)



в)

Рис. 5. Пример результатов диагностического моделирования механических процессов в печатном узле линейного стабилизатора напряжения (сплошная линия – узел без дефектов, пунктирная – с указанными ниже дефектами): «а» – АЧХ без отказов и неисправностей; «б» – отличие массы транзистора от номинальной; «в» – отсутствие точки крепления печатного узла к стойкам в радиоэлектронном блоке.

Итак, сделаем **выводы**.

1. Предложенная ИЛМ может быть эффективным базисом при создании системы ДМ разнородных физических процессов в ЭС. Особенно важно учитывать (использовать) эту ИЛМ при реализации вариантов организации потоков данных.

2. По результатам работы различных ИАС формируется информационная диагностическая база, которая на последующих стадиях жизненного цикла ЭС позволяет автоматизировать процесс мониторинга и оценки технического состояния устройств.

Список литературы

1. Абрамешин А. Е. Комплексное прогнозирование надежности цифровых электронных модулей на стадии проектирования с учетом физической составляющей отказа / А. Е. Абрамешин, С. Н. Полесский // Технологии электромагнитной совместимости. – 2012. – № 4 (43). – С. 51–57.
2. Аминев Д. А. Анализ и классификация методов преобразования потоков цифровых данных для высокоскоростных систем обработки и регистрации / Д. А. Аминев, А. В. Кондрашов // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. – Москва, 2012. – С. 37–41.
3. Аминев Д. А. Анализ технических достижений в решении проблемы регистрации информационных потоков / Д. А. Аминев, С. У. Увайсов, А. В. Кондрашов // Проблемы охраны и защиты интеллектуальной собственности в различных отраслях промышленности, науки, образования и медицины в условиях вступления России в ВТО : труды Международной конференции. – Тольятти, 2012.
4. Бойко В. В. Проектирование информационной базы автоматизированной системы на основе СУБД / В. В. Бойко, В. М. Савинков. – Москва : Финансы и статистика, 1982. – 174 с.

5. Брумштейн Ю. М. Функционально-стоимостные характеристики медицинских информационных систем: опыт системного анализа / Ю. М. Брумштейн, О. В. Сивер, А. Б. Кузьмина // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 4, ч. 2. – Режим доступа: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/6_brumshteyn_siver_kuzmina.pdf_cfd2053d22.pdf (дата обращения: 20.03.2015), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
6. Брумштейн Ю. М. Анализ моделей и методов выбора оптимальных совокупностей решений для задач планирования в условиях ресурсных ограничений и рисков / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Тарков, И. А. Дюдилов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3. – С. 169–179.
7. Вейнеров О. М. Проектирование баз данных САПР / О. М. Вейнеров, Э. Н. Самохвалов. – Москва : Высшая школа, 1990. – 144 с.
8. Воловикова Е. В. Диагностика аналоговых схем с учетом тепловых режимов электрорадиоэлементов / Е. В. Воловикова, В. В. Воловиков, С. У. Увайсов // Качество. Инновации. Образование. – 2009. – № 3. – С. 23–28.
9. Воловикова Е. В. Метод диагностирования радиоэлектронных устройств на основе комплексного электротеплового моделирования / Е. В. Воловикова, С. У. Увайсов // Информационные технологии. – 2009. – № 10. – С. 57–61.
10. Иванов И. А. Обеспечение контролепригодности радиоэлектронных средств в рамках CALS-технологий / И. А. Иванов, С. У. Увайсов // Качество. Инновации. Образование. – 2011. – № 1. – С. 43–46.
11. Когаловский М. Р. Технология баз данных на персональных ЭВМ / М. Р. Когаловский. – Москва : Финансы и статистика, 1992. – 224 с.
12. Полесский С. Н. Комплексная модель надежности программных и технических средств на этапах жизненного цикла / С. Н. Полесский // Современные проблемы радиоэлектроники. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2012. – С. 244–249.
13. Увайсов С. У. Программный комплекс моделирования физических процессов при автоматизированном проектировании источников вторичного электропитания для сложных бортовых систем / С. У. Увайсов, Ю. Н. Кофанов, С. Ю. Сотникова // Динамика сложных систем. – 2012. – № 3. – С. 80–84.
14. Bubenko L. A. Research Directions in Conceptual specification development / L. A. Bubenko, B. Wrangler // Conceptual Modeling, Database and CASE, An integrated view of information Systems Development. – John Wiley and Sons Inc., 1992.
15. Goble W. M. Evaluating Control Systems Reliability / W. M. Goble // Techniques and Applications. – NC : Raleigh, ISA, 1992.
16. Lazzaroni M. Reliability engineering: basic concepts and applications in ICT / M. Lazzaroni, L. Cristaldi, L. Peretto, P. Rinaldi, M. Catelani. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.
17. Liu J. A divide and conquer approach to anomaly detection, localization and diagnosis / J. Liu, D. Djurdjanovic, K. A. Marko, J. Ni // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2009. – Vol. 23, issue 8. – P. 2488–2499.
18. Polesskiy S. N. Development of the method of prediction parameter of reliability chemical current sources operating in a “session” mode / S. N. Polesskiy, M. A. Artyukhova // Reliability: Theory & Applications. – 2012. – Vol. 7, № 4. – P. 90–101.
19. Smith S. E. Fault Coverage in Plant Protection Systems / S. E. Smith // ISA Transactions. – 1991. – Vol. 30, № 1.
20. Vachtsevanos G. Intelligent fault diagnosis and prognosis for engineering systems / G. Vachtsevanos, F. L. Lewis, M. Roemer, A. Hess, B. Wu. – 1st ed. – Hoboken (NJ) : John Wiley & Sons, Inc., 2006.

References

1. Abrameshin A. Ye., Polesskiy S. N. Kompleksnoe prognozirovanie nadezhnosti tsifrovyykh elektronnykh moduley na stadii proektirovaniya s uchetom fizicheskoy sostavlyayushchey otказа [Integrated forecasting reliability of digital electronic modules in the design stage, taking into account the physical component failure]. *Tekhnologii elektromagnitnoy sovместимости* [Technologies of Electromagnetic Compatibility], 2012, no. 4 (43), pp. 51–57.

2. Aminev D. A., Kondrashov A. V. Analiz i klassifikatsiya metodov preobrazovaniya potokov tsifrovyykh dannykh dlya vysokoskorostnykh sistem obrabotki i registratsii [Analysis and classification of digital data streams transforming methods for high speed processing and registration systems]. *Sistemy i sredstva svyazi, televideniya i radioveshchaniya* [Systems and Communications, Television and Radio Broadcasting], Moscow, 2012, pp. 37–41.

3. Aminev D. A., Uvaysov S. U., Kondrashov A. V. Analiz tekhnicheskikh dostizheniy v reshenii problemy registratsii informatsionnykh potokov [Analysis of technical achievements for problem decision of information streams registration]. *Problemy okhrany i zashchity intellektualnoy sobstvennosti v razlichnykh otraslyakh promyshlennosti, nauki, obrazovaniya i meditsiny v usloviyakh vstupleniya Rossii v VTO : trudy mezhdunarodnoy konferentsii* [Problems of Protection of Intellectual Property in Various Sectors of Industry, Science, Education and Medicine in the Conditions of Russia's Accession to the WTO. Proceedings of the International Conference], Tolyatti, 2012.

4. Boyko V. V., Savinkov V. M. *Proektirovanie informatsionnoy bazy avtomatizirovannoy sistemy na osnove SUBD* [Design of the knowledge base of automated systems based on databases], Moscow, Finansy i statistika Publ., 1982. 174 p.

5. Brumshteyn Yu. M., Siver O. V., Kuzmina A. B. Funktsionalno-stoimostnye kharakteristiki meditsinskikh informatsionnykh sistem: opyt sistemnogo analiza [Functional and cost characteristics of medical information systems: experience of system analysis]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 2014, no. 4, part 2. Available at: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/6_brumshteyn_siver_kuzmina.pdf_cfd2053d22.pdf (accessed: 20.03.2015).

6. Brumshteyn Yu. M., Tarkov D. A., Dyudikov I. A. Analiz modeley i metodov vybora optimalnykh sovokupnostey resheniy dlya zadach planirovaniya v usloviyakh resursnykh ogranicheniy i riskov [Analysis of the models and methods of selection of optimum set of solutions for the problems of planning in terms of resource constraints and risks]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 3, pp.169–179.

7. Veynerov O. M., Samokhvalov Ye. N. *Proektirovanie baz dannykh SAPR* [Database Design CAD], Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990. 144 p.

8. Volovikova Ye.V., Volovikov V. V., Uvaysov S. U. Diagnostika analogovykh skhem s uchetom teplovykh rezhimov elektroradioelementov [Diagnosis of analog circuits taking into account the thermal conditions of electronic components]. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie* [Quality. Education. Innovation], 2009, no. 3, pp. 23–28.

9. Volovikova Ye. V., Uvaysov S. U. Metod diagnostirovaniya radioelektronnykh ustroystv na osnove kompleksnogo elektroteplovogo modelirovaniya [The method of diagnosing electronic devices in an integrated electro-thermal modeling]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technology], 2009, no. 10, pp. 57–61.

10. Ivanov I. A., Uvaysov S. U. Obespechenie kontroleprigodnosti radioelektronnykh sredstv v ramkakh CALS-tekhnologii [Ensuring controllability of electronic means in the framework of CALS-technologies]. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie* [Quality. Education. Innovation], 2011, no. 1, pp. 43–46.

11. Kogalovskiy M. R. *Tekhnologiya baz dannykh na personalnykh EVM* [Database technology on PCs], Moscow, Finansy i statistika Publ., 1992. 224 p.

12. Polesskiy S. N. Kompleksnaya model nadezhnosti programmnykh i tekhnicheskikh sredstv na etapakh zhiznennogo tsikla [Integrated model of reliability of software and hardware in the lifecycle]. *Sovremennyye problemy radioelektroniki* [Modern Problems of Radio Electronics], Krasnoyarsk, Siberial Federal University Publ. House, 2012, pp. 244–249.

13. Uvaysov S. U., Kofanov Yu. N., Sotnikova S. Yu. Programmnyy kompleks modelirovaniya fizicheskikh protsessov pri avtomatizirovannom proektirovanii istochnikov vtorichnogo elektropitaniya dlya slozhnykh bortovykh sistem [The program complex of modeling of physical processes in the computer-aided design of the secondary power source for complex airborne systems]. *Dinamika slozhnykh sistem* [Dynamics of Complex Systems], 2012, no. 3, pp. 80–84.

14. Bubenko L. A., Wrangler B. Research Directions in Conceptual specification development. *Conceptual Modeling, Database and CASE, An integrated view of information Systems Development*, John Wiley and Sons Inc. Publ., 1992.

15. Goble W. M. Evaluating Control Systems Reliability. *Techniques and Applications*, NC, Raleigh, ISA Publ., 1992.
16. Lazzaroni M., Cristaldi L., Peretto L., Rinaldi P., Catelani. M. *Reliability engineering: basic concepts and applications in ICT*, Springer–Verlag Berlin Heidelberg, 2011.
17. Liu J., Djurdjanovic D., Marko K. A., Ni J. A divide and conquer approach to anomaly detection, localization and diagnosis. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2009, vol. 23, issue 8, pp. 2488–2499.
18. Poleskiy S. N., Artyukhova M. A. Development of the method of prediction parameter of reliability chemical current sources operating in a “session” mode. *Reliability: Theory & Applications*, 2012, vol. 7, no. 4, pp. 90–101.
19. Smith S. E. Fault Coverage in Plant Protection Systems. *ISA Transactions*, 1991, vol. 30, no. 1.
20. Vachtsevanos G., Lewis F. L., Roemer M., Hess A., Wu B. *Intelligent fault diagnosis and prognosis for engineering systems*, 1st ed. Hoboken (NJ), John Wiley & Sons, Inc. Publ., 2006.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 681.3.01

ПОДСИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФОРМИРОВАНИЯ ВХОДНЫХ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗДАНИЕМ

Статья поступила в редакцию 22.07.2015, в окончательном варианте 22.08.2015.

Нгуен Суан Мань, аспирант, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, e-mail: trungmanh82@gmail.com

Попов Георгий Александрович, доктор технических наук, профессор, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, e-mail: popov@astu.org

Кучин Иван Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, начальник Управления информационных систем и технологий, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, e-mail: kuchin@astu.org

Проблема повышения комфортности пребывания людей в жилых и офисных зданиях становится всё более значимой ввиду роста требований населения и государственных стандартов к качеству жизни и условиям среды жизнедеятельности; появления наряду с существующими угрозами ряда их новых видов (например, возможностей террористических актов); освоением новых территорий, неблагоприятных для проживания и труда людей. Эффективность производственной деятельности, качество бытовых условий, положительные эффекты от рекреаций определяются в значительной мере уровнями комфортности пребывания людей в зданиях. Полноценное решение этой задачи невозможно без учета всех факторов, способных оказать влияние на процесс функционирования интеллектуального здания. То есть такого интеллектуального здания, которое будет «подстраиваться» под нужды людей с учетом влияния параметров окружающей среды и ресурсов, которые могут быть использованы для управления. Общее число возможных каналов воздействия на интеллектуальное здание – более двухсот. Поэтому авторами была поставлена задача формирования отдельных подсистем, отвечающих за сбор и регистрацию всех данных, связанных с факторами влияния. Выявлены семь источников получения исходных данных и сформирована диаграмма потока данных для системы управления процессом их сбора и регистрации. Разработана общая технология функционирования подсистемы управления сбором данных, включающая иерархизацию структуры потока по пяти уровням и общую структуру алгоритма функционирования подсистем сбора и регистрации данных. Рассмотрена также задача сбора данных по деформационным изменениям в несущих элементах здания. Выделены четыре состояния, описывающих разные стадии деформационных изменений. Приведена общая схема технологии контроля целостности здания.

Ключевые слова: интеллектуальное здание, сбор и регистрация данных, источник входных данных, система управления, иерархическая структура передачи данных, физический уровень, канальный уровень, транспортный уровень, прикладной уровень, пользовательский уровень, факторы влияния, механические воздействия, контроль за деформациями в здании

MANAGEMENT SUBSYSTEM PROCESSES OF FORMATION INPUT PASSED TO THE IP-SYSTEM OFFICE BUILDING

Nguyen Xuan Manh, post-graduate student, Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: trungmanh82@gmail.com

Popov Georgiy A., D.Sc. (Engineering), Professor, Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: popov@astu.org

Kuchin Ivan Yu., C.Sc. (Engineering), Associate Professor, Head of Management Information System and Technology, Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: kuchin@astu.org

The problem of raising the amenities people in residential and office buildings has become increasingly important in view of the growing demands of the population and your country of governmental systems, the quality of life, along with the emergence of a number of new threats to existing threats such as terrorist attacks, as well as the development of new areas for little comfort human habitation. A complete solution of this problem is impossible without taking into account all factors that could affect the functioning of the intelligent building process. That this issue is devoted to this article. The paper indicated that the total number of possible channels of influence on intelligent building more than two hundred. Therefore, the task of forming the individual subsystems responsible for the collection and recording of all data associated with the factors of influence. Identified seven sources of input data and generated a flow diagram of melon to the process control system data acquisition. Formed general technology operation management subsystem data collection, including data flow hierarchization of five levels and the general structure of the algorithm operation data acquisition subsystem. We also consider the task of collecting data on the deformation changes in the bearing elements of the building. Highlighted four states describing the different stages of deformation changes, provides an overview of the technology management control over the integrity of the building.

Keywords: intelligent building, data acquisition, source of data input, control system, hierarchical structure of the data, physical layer, link layer, transport layer, application layer, user level, influencing factors, mechanical effects, control of deformations in the building

Введение. Подавляющая часть населения в городах большую часть времени проводит в зданиях, в других помещениях, на охраняемых территориях. Условия пребывания людей на таких объектах значительно влияют на качество жизни населения [2]. В рабочее время места пребывания людей – это офисы, производственные помещения, учебные аудитории, территории организаций и др. Во вне рабочее время – это жилые дома, спортивные объекты, сооружения культурно-массового назначения, клубы и пр. Наблюдается тенденция укрупнения зданий, формирования из них офисных, жилых, торгово-развлекательных, образовательных, лечебно-диагностических и других комплексов с общими системами инженерного обеспечения, температурой и влажностью воздуха, управления физической и криминальной безопасностью.

Рост этажности зданий в городах приводит к усложнению систем инженерного обеспечения их деятельности; усиливает важность решения задач отслеживания деформаций строительных конструкций; требует реализации превентивных мер борьбы с потенциальными террористическими угрозами для физических лиц и организаций, находящихся в зданиях.

Поэтому задачи создания максимального комфорта, безопасности и удобства пребывания людей на перечисленных объектах являются актуальными. В частности, в рабочих помещениях необходимо обеспечить условия для эффективной работы персонала. В учебных аудиториях температурно-влажностный режим и другие параметры должны способствовать эффективному проведению образовательного процесса. В жилом доме люди должны иметь возможность расслабиться, приятно проводить время и чувствовать себя в безопасности. Наиболее эффективным способом решения перечисленных задач в настоящее время является формирование и внедрение интеллектуальных систем управления (ИСУ) зданиями, обеспечивающих полный и непрерывный контроль всех аспектов их функционирования; текущих состояний всех конструктивных элементов. Кроме того, ИСУ могут обеспечивать и повышение энергоэффективности использования зданий.

Системы контроля зданий и территорий, включая их охрану, существуют с незапамятных времен. Однако ранее подобные системы были очень дорогими и потому встречались достаточно редко. Достижения научно-технического прогресса (прежде всего в сфере микроэлектроники, информационных технологий) позволили автоматизировать многие функции, которые необходимо решать в рамках реализации ИСУ зданиями. Это, в свою очередь, привело к существенному снижению себестоимости таких систем. Как следствие, по крайней мере, отдельные элементы ИСУ получают все большее распространение в практике проектирования зданий, управления их функционированием. Например, системы видеонаблюдения в крупных городах стали массовыми. Они применяются уже не только в производственных и офисных зданиях, но и в ряде жилых – в т.ч. для организации видеонаблюдения за окружающей территорией. Дальнейшее развитие информационных технологий и снижение стоимости аппаратно-программных средств, вероятно, сделает использование этих систем повсеместным. Кроме того, в будущем, возможно, эти системы станут более интеллектуальными за счет использования программных средств распознавания изображений, включая перемещающиеся объекты.

Ранее в работе [3] авторы поставили задачу рассмотреть здание вместе с зоной контроля и ИСУ как комплексную социотехническую систему (СТС), гармонично объединяющую воедино само здание, всех физических лиц (и, возможно, организации), находящихся в нем. Были сформулированы требования к указанной СТС; приведена общая схема управления с перечислением всех необходимых подсистем. Описаны факторы, которые потенциально могут влиять на процесс функционирования интеллектуального здания (ИЗ) как СТС. Формирование технологий функционирования отдельных подсистем и ИСУ здания в целом является одним из необходимых продолжений указанной работы. Опубликованных работ по формированию ИСУ зданием сейчас уже достаточно много – укажем, в частности на [1, 5, 10, 13, 15]. Однако вопросам анализа и построения подсистем сбора исходных данных в таких ИСУ уделено недостаточное внимание. Поэтому целью данной статьи является анализ подсистемы сбора и регистрации данных, вопросов интеграции этой подсистемы в ИСУ зданием.

Общая схема управления процессом сбора и накопления входных данных. Процесс сбора и накопления данных можно разбить на ряд относительно независимых этапов: а) непосредственно сбор первичных данных с помощью различных технических и программно-аппаратных средств, а также из субъективных источников; б) отображение данных; в) регистрация (фиксация) данных на носителях информации; г) анализ данных по критериям полноты, адекватности, непротиворечивости, актуальности, своевременности, безопасности, доверия и др.; д) передача полученных и, возможно, проанализированных данных в соответствующие функциональные подсистемы, центральный блок контроля / управления; е) оценка данных, принятие и реализация адекватных решений – при выявлении нарушений хотя бы по одному из предусмотренных критериев оценки ситуации.

Одним из наиболее важных является этап непосредственного сбора первичных данных. Общая схема формирования потока входных данных приведена на рисунке 1. При этом выделено семь возможных источников входных (первичных) данных.

Рассмотрим эти источники подробнее.

1. Датчики и датчиковые устройства – последние представляют собой комплексы, включающие более одного датчика. На основе них осуществляется сбор данных по всем техническим элементам системы жизнеобеспечения здания (в частности, водо- и энергоснабжения, коммунальным услугам), по многим элементам системы безопасности. Данный источник данных является основным для обеспечения эффективного функционирования ИСУ зданием (ИСУЗ).

2. Система видеонаблюдения, являющаяся одним из основных источников информации для службы безопасности. Эта система позволяет также вести мониторинг за многими элементами системы жизнеобеспечения ИЗ, состояние которых может быть идентифицировано на основе результатов визуального наблюдения.

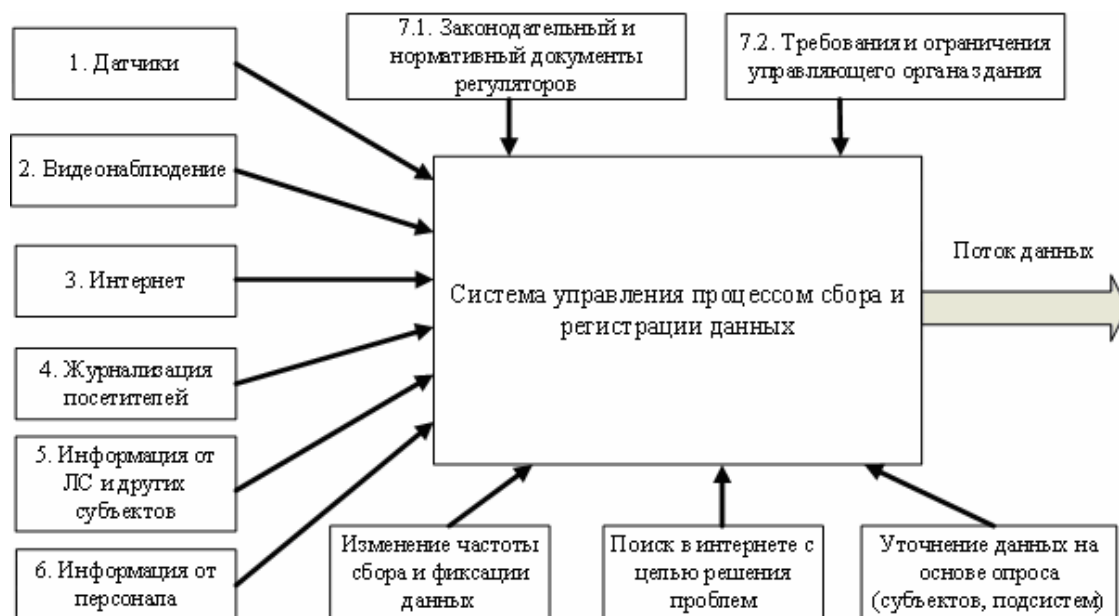


Рис. 1. Источники входных данных систем управления зданием

3. Интернет – как источник информации, позволяющий, прежде всего, помочь в нахождении возможных вариантов решения различных проблем, а также в получении информации о различных физических лицах, находящихся или попавших в сферу решения профессиональных задач подсистемы обеспечения безопасности ИСУЗ.

4. Журнал событий (в бумажной или электронной формах) – в нем должны фиксироваться все сколько-нибудь значимые события в зоне контроля ИСУЗ. На основе анализа этого журнала можно выявить возможные события, проблемы, неприятности, угрозы, тенденции, а также спрогнозировать для различных ситуаций возможные состояния всей системы, включающей само здание со всей зоной контроля и ИСУЗ.

5. Информация от легитимных субъектов (ЛС), находящихся в зоне контроля ИСУЗ на законных основаниях – жильцов дома, посетителей, арендаторов, сотрудников и т.п. Эта информация может быть получена, в том числе и с помощью опроса персонала ИСУЗ (руководства ИСУЗ, служб безопасности и жизнеобеспечения) в отношении указанных ЛС. Использование такой информации может способствовать обеспечению более адекватной и оперативной работы ИСУЗ.

6. Информация от персонала ИСУЗ, в том числе и субъективного характера, касающаяся всех аспектов функционирования собственно ИСУЗ. Такая информация позволяет выявить потенциальные и реальные проблемы, которые с помощью других источников данных пока не могут быть выявлены (зафиксированы).

7. Законодательные и нормативные документы, регламентирующие деятельность ИСУЗ в целом; работу отдельных ее подсистем – включая подсистему сбора и обработки данных (ПССиПД). В группе 7 обычно выделяют две подгруппы: 7.1. – законодательные и нормативные требования / ограничения различных государственных регуляторов (в частности, санитарно-эпидемиологической службы, служб пожарной и экологической безопасности, министерства внутренних дел России, Роскомнадзора и др.); 7.2. – решения, нормативные требования и ограничения управляющего органа здания (или комплекса зданий), его менеджеров.

По мнению авторов, эти семь направлений не дублируют друг друга, отвечают требованиям «необходимости и достаточности».

Одна из основных функций ПССиПД – обеспечение бесперебойного, надежного и адекватного функционирования всех перечисленных выше источников данных – в этом состоит ее регулятивная функция. Однако ограничение ПССиПД лишь задачами регулятивного характера может оказаться недостаточным в условиях возникновения нестандартных и в особенности аварийных и чрезвычайных ситуаций. Причина – в подобных случаях могут потребоваться более адаптивные действия и, в частности, более частый сбор данных (например, при возникновении пожара); поиск дополнительной информации из других (внешних) источников – например, при возникновении опасности возможных противоправных действий. Это добавляет к регулятивным функциям ПССиПД еще и функции управления.

Поэтому на схеме, представленной на рисунке 1, приведены также возможные управляющие воздействия в рамках ПССиПД: а) управление частотой сбора и фиксации данных, а также их предварительной обработки – с учетом условий функционирования отдельных датчиков (например, при повышенной температуре, высокой влажности); б) поиск и активизация дополнительных источников опроса (субъектов, информационных систем); в) поиск ответов и решений по возникшим проблемам в глобальных сетях – с использованием стандартных и расширенных средств поисковых систем, специализированных сайтов и пр.

Отметим, что потенциально данные с каждого датчика могут собираться с достаточно высокой частотой. Это будет приводить к большим объемам накопления информации и, возможно, ее обработки в онлайн-режиме. Однако, если ситуация относительно стабильна, то при этом вычислительные ресурсы будут использоваться не эффективно, а накопленная информация в основном будет невостребованной (в силу избыточности). И, наоборот, – при быстрых изменениях ситуации, а также при возникновении нештатных ситуаций частота сбора данных должна увеличиваться. Это делает целесообразным динамическое управление частотой сбора данных [14] – с учетом важности конкретных процессов или событий.

Характеристика технологии функционирования подсистемы управления сбором данных. Основной («центральный») блок на рисунке 1 – «Система управления процессом сбора и подготовки исходных данных» (СУПСД). Рассмотрим технологию его функционирования более подробно.

Вначале выберем общую концепцию функционирования СУПСД. В [12] семиуровневая модель OSI (Open Systems Interconnection) взаимодействия открытых систем принята в качестве базовой. Основной недостаток такого решения: логистика процесса передачи данных не вполне адекватно отображает логику функционирования СУПСД. В частности, не обосновано отнесение отдельных блоков и подсистем к соответствующим уровням модели. Поэтому авторами предлагается модифицировать указанную концепцию с целью обеспечения **большого уровня адекватности** по отношению к логике построения СУПСД. Целесообразно выделить **пять уровней** взаимодействия в рамках рассматриваемой СУПСД (рис. 2).

1. Физический уровень, на котором происходит передача по отдельному каналу (то есть между двумя соседними узлами ИСУЗ) сигналов, несущих информацию в виде электромагнитных (в том числе световых) волн [16, 18]. Основные задачи данного уровня: а) обеспечить своевременную и без искажений доставку данных нужному адресату; б) динамически адаптировать процесс передачи к параметрам линии передачи и оконечного оборудования на приемной стороне; в) при возникновении проблем в процессе передачи по каналу – передать сообщение о невозможности передачи сигнала на второй иерархический уровень (с указанием возможных причин нарушения процесса передачи).

Основные классы аппаратных средств в составе СУПСД, работающие на физическом уровне: к1) преобразователи сигналов разных типов (АЦП/ЦАП-преобразователи, модуляторы, кодировщики и др.); к2) технические средства обеспечения безопасности и надежности передачи данных; к3) средства передачи видео- и аудиосигналов. Передаваемые сигналы предполагаются структурированными в соответствии с требованиями протоколов связи (например, ВАСnet). Это позволяет реализовать связи с физическими устройствами [17].



Рис. 2. Иерархическая структура передачи данных в ИСУЗ

ВАСnet представляет собой специализированный протокол передачи данных для автоматизации зданий и управляющих сетей. Его главный приоритет сосредоточен на уровне прикладной задачи [4]. Этим протоколом регламентируется следующее: параметры электрических сигналов; система адресации; способы сетевого доступа (Master-Slave, Peer-to-Peer); процедуры проверки ошибок; процедуры управления потоком (Flow control); последовательность сообщений; система сегментации; наличие контрольных точек; формат представления (упаковки, шифрования); формат сообщений.

2. Канальный уровень, на котором реализуются задачи управления конкретным каналом [19]: а) контроль реальных параметров процесса передачи данных на их соответствие требованиям и ограничениям регламента передачи; б) принятие и реализация решений при возникновении в процессе передачи сбоев, отказов, потерь пакетов и других нестандартных событий, и ситуаций; в) обеспечение безопасности передачи данных. На этом уровне находится физическое оборудование, связанное с реализацией концепции ИЗ.

Основные классы программно-аппаратных средств в составе СУПСД, работающие на канальном уровне: к1) датчики и датчиковые устройства, связанные с деятельностью всех подсистем ИСУЗ, включая подсистемы жизнеобеспечения и безопасности; к2) микроконтроллеры на оконечных узлах СУПСД; к3) преобразователи видео- и аудиосигналов. Передача данных происходит на основе протоколов канального уровня [6]. Наиболее известные из них следующие: ARCnet, ATM, CAN (Controller Area Network), Ethernet, FDDI (Fiber Distributed Data Interface), PPP (Point-to-Point Protocol), PPPoE (Point-to-Point Protocol over Ethernet).

3. Транспортный уровень – отвечает за все проблемы, связанные с процессом передачи данных между различными узлами ИСУЗ [20, 22]. В отличие от семиуровневой модели OSI, где за проблемы передачи данных по сети отвечают два уровня – сетевой и транспортный, в данной модели достаточно ограничиться лишь одним уровнем – ввиду существенно более простых задач сетевого обмена данными. Более того, в системах контроля за процессом сбора и регистрации данных этот уровень неактуален. Поскольку в системах контроля топологическая структура сети передачи фиксирована для каждого типа данных и не предполагает наличия механизмов вмешательства в этот процесс передачи. В то же время в СУПСД данный уровень играет важную роль, поскольку при управлении он отвечает за правильную доставку адресату управляющих воздействий на него. На данном уровне уже становится возможным ввести в ИСУЗ всю информацию о здании, оборудовании, приборах, датчиках. Поэтому данный уровень позволяет сформировать всю онтологию технической составляющей ИЗ, включая установку всех подчиненных отношений (отношения «ведущий-ведомый») и причинно-следственных связей, которые могут существовать между техническими элементами ИСУЗ. На данном уровне решаются все основные задачи контроля и управления ИЗ в рамках ИСУЗ.

Основные задачи данного уровня: а) определить маршрут своевременной и без искажений доставки управляющего воздействия конкретному адресату – простейшая задача маршрутизации; б) при отсутствии возможности передачи данных провести анализ ситуации с выявлением возможных причин нарушения процесса передачи, выработать и реализовать решения в отношении дальнейших действий; в) журнализация (протоколирование) всех событий и ситуаций; г) реализация задач контроля и управления за состоянием и режимами работы оборудования и технических средств со стороны ИСУЗ.

Основные классы программно-аппаратных средств в составе СУПСД, используемые на транспортном уровне: к1) концентраторы и маршрутизаторы; к2) разветвители; к3) все технические средства, относящиеся к интеллектуальным блокам ИСУЗ. Данные должны передаваться на основе специальных протоколов. Эти протоколы должны представлять собой комбинированные упрощенные варианты протоколов транспортного и сетевого уровней семиуровневой модели.

4. Прикладной уровень, который отвечает за организацию взаимодействия ЛС или программно-аппаратных систем в составе ИСУЗ с другими программно-аппаратными средствами и другими субъектами в рамках ИСУЗ. Данный и следующий уровни являются особенно важными при внедрении программных систем, нацеленных на реализацию ИСУЗ как СТС [21]. При сравнении с семиуровневой моделью отметим, что на данном уровне решаются задачи, соответствующие представительному и прикладному уровням семиуровневой модели: а) создание безопасного и надежного канала для общения между абонентами; б) создание общей среды для общения сторон, поскольку операционные среды у разных субъектов и на разных программно-аппаратных устройствах могут быть различны – начиная от персональных компьютеров и кончая телефонными аппаратами; в) решение всех стандартных и нестандартных проблем, возникающих в процессе общения. Основные классы программных средств в составе СУПСД, используемые на прикладном уровне: к1) драйверы устройств; к2) конверторы потоков данных и информации; к3) программные средства обеспечения информационной безопасности в процессе общения сторон.

5. Пользовательский уровень – на нем происходит взаимодействие и общение всех субъектов друг с другом; с различными программными системами на односторонней или многосторонней основе. Поскольку программное обеспечение у разных пользователей обычно разное, то возникают проблемы конвертации данных из одного формата в другой [23]. Предлагается создать единую платформу (например, на сервере ИСУЗ), которая бы являлась общим промежуточным буфером для всех взаимодействующих сторон. На этой платформе

могли бы быть эффективно решены все проблемы организации взаимодействия и поддержки сторон; представлен необходимый сервис для реализации взаимодействия. В частности, на этой платформе удобно решать вопросы обеспечения надежности обмена данными информационной безопасности, конвертации форматов данных. Основные задачи, решаемые на данном уровне: а) организация взаимодействия всех субъектов между собой в режиме реального времени путем создания общей защищенной среды; б) предоставление необходимых данных, справочной, документальной, пояснительной информации; в) ведение всех деловых контактов, включая обеспечение работы различных служб, комиссий, расчетов по дому; г) создание единой локальной среды общения (типа социальной сети) в рамках данного здания; д) поддержка возможностей для ЛС удаленного доступа.

По соображениям информационной безопасности передача данных с одного уровня на другой должна осуществляться только между соседними уровнями (контроль безопасности передачи для соседних уровней проводить существенно проще, чем между удаленным уровнями). Указанные требования должны быть реализованы во всех протоколах.

Опишем теперь общую технологию функционирования СУПСД (рис. 3, 4). Поскольку рассматриваемая система должна реализовывать также и функции управления процессом сбора исходных данных, то необходимо, чтобы используемые датчики были способны реагировать на управляющие воздействия. То есть как минимум они должны быть адресными. Более того, предлагается (в меру имеющихся финансовых возможностей) использовать «интеллектуальные датчики», которые имеют большой набор управляемых параметров.

Для повышения эффективности управления процессом сбора данных целесообразно разбить все датчики на группы (по территориальному местоположению, по функциональному назначению и т.п.) и датчики каждой из групп подключить к микроконтроллерам (МК). Они должны осуществлять отдельные функции контроля и управления для соответствующей группы датчиков – в частности, контроль за состоянием датчиков (по всей совокупности эксплуатационных и пользовательских характеристик). Кроме того, при возникновении отклонений параметров датчиков от их регламентных состояний программное обеспечение МК должно немедленно информировать об этом диспетчерский центр ИСУЗ. Помимо этого, управляющие воздействия из центра управления ИСУЗ применительно к конкретному датчику или совокупности датчиков целесообразно также передавать через МК. Поскольку от них в центре управления может быть получена полная информация по доставке и фактической реализации управляющего воздействия. Отметим, что для повышения скорости обмена, все МК передают данные через общую шину.

Процесс сбора и обработки данных осуществляется непрерывно (циклически) и может быть частично или полностью остановлен только при непосредственном управляющем воздействии из центра управления ИСУЗ или при фактическом разрушении ИСУЗ. Это отражено в блоках 21, 22, 23 рисунка 4.

Непосредственно процесс сбора данных из первичных источников, которые перечислены в первом разделе настоящей статьи, представлен на рисунке 3 блоками 0, 2, 5. Затем происходит регистрация данных (блок 1 на рис. 3), где все полученные данные в соответствии с принятыми для каждого их типа форматами размещаются в оперативной памяти. Далее в ней происходит анализ данных по двум группам требований (блоки 3, 4): (А) на соответствие всем требованиям и ограничениям, которые диктуются нормативными документами разных уровней, паспортными ограничениями соответствующих датчиков, либо находятся в противоречии с другими полученными данными; (Б) на наличие признаков нетиповой ситуации – в том числе предаварийной, аварийной или чрезвычайной.

Если указанных проблем нет, то обработка данных продолжается в соответствии с принятой технологией (блоки 8–13): анализ изменения поступающих данных и ситуации во времени (блоки 8, 9); передача данных в соответствующие функциональные блоки (блок 10)

и в центр управления ИСУЗ (блок 11). Там они размещаются для регламентного накопления и хранения, проверки данных, имеющихся в накопителях, на предмет их устаревания. Если данные перестали быть актуальными (блок 12), то они передаются в «блок архивации» для долговременного хранения. Затем процедура сбора и регистрации данных возвращается к началу – для реализации следующего цикла своей работы.

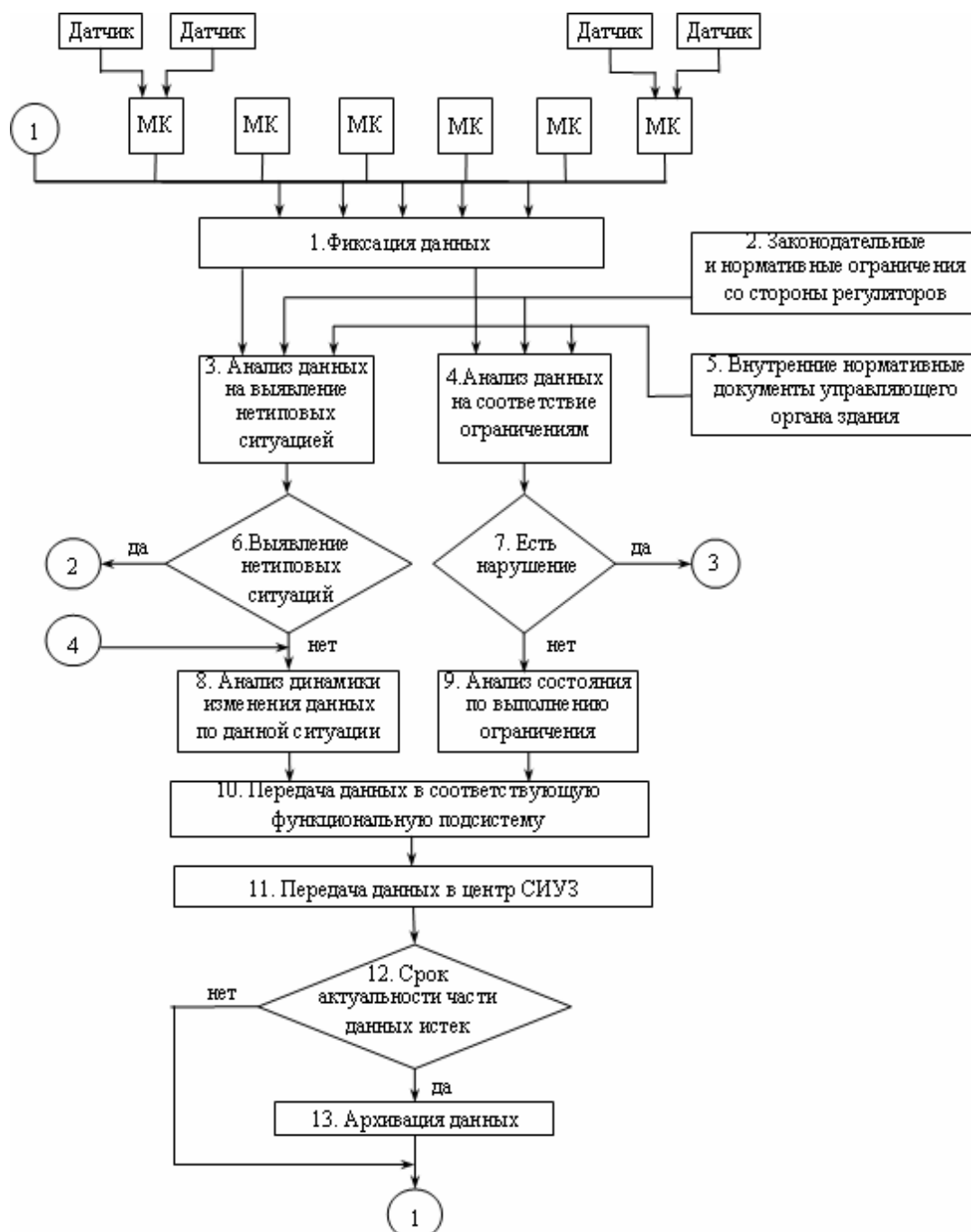


Рис. 3. Общая схема функционирования подсистемы управления сбором и регистрацией данных (МК – микроконтроллеры)

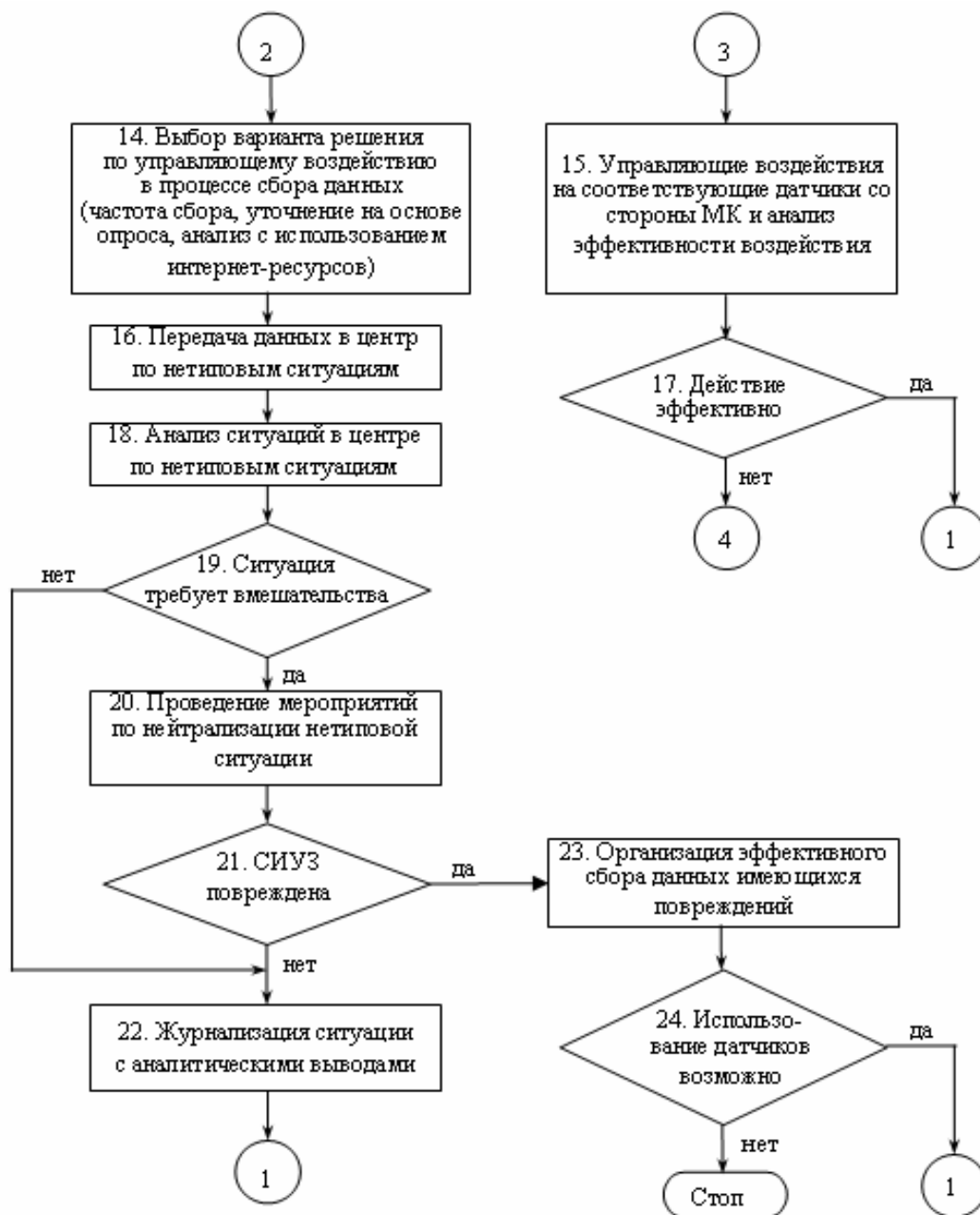


Рис. 4. Общая схема функционирования подсистемы управления сбором и регистрацией данных (фрагмент 2)

В случае, если нарушается хотя бы одно из указанных выше двух групп условий (например, ситуация становится нетиповой), то система реализует определенный набор управляющих воздействий (блоки 14–23). Выбираются управляющие воздействия на соответствующие датчики (блоки 14, 16, 18), в т.ч. приводящие к изменению частоты сбора данных; осуществляется поиск возможных решений по внешним источникам данных; проводится поиск решений по аналогичным ситуациям, уже встречавшимся ранее при эксплуатации ИЗ. Если положение не удастся нормализовать в приемлемые сроки (блок 19), то вся информация по

ситуации передается в «центр управления», в котором предусмотрена специальная служба по действиям в нетиповых ситуациях (блок 20). Эта служба выбирает варианты решений; руководит их реализацией; при необходимости оповещает всех субъектов о возникшей ситуации.

Если и эта служба оказалась неспособной исправить ситуацию, то возникает опасность возможного повреждения и даже разрушения ИСУЗ или ее части (блоки 21, 23, 24). В свою очередь, это может привести к полной или частичной остановке работы СУПСД.

При нарушении регламентных ограничений по данным система управления пытается, прежде всего, путем диагностирования соответствующих датчиков выявить возможное нарушение адекватной работы отдельных из них (блок 15) – в частности, возможный отказ или выход из строя этих датчиков. Соответственно осуществляется принятие решений в отношении их дальнейшей эксплуатации с последующей реализацией. Если же проведенные мероприятия не привели к восстановлению адекватной работы датчиков (блок 17), то ситуация переводится в категорию нетиповых отклонений и обрабатывается как нетиповая ситуация по описанной выше технологии.

Рассмотрим пример реализации управляющих воздействий со стороны СУПСД. Пусть возникновение пожара (очага возгорания) в здании является нетиповой ситуацией. В этом случае данные от извещателей пожарной сигнализации поступают в блок 1 и затем, в соответствии с описанной технологией, доходят до блоков 3, 14. С них данные (сигнал) передаются в центр управления ИСУЗ. При необходимости (в зависимости от масштабов возгорания) формируются команды на включение световых, звуковых и речевых оповещателей в зоне возгорания. Непосредственно СУПСД параллельно формирует управляющие сигналы для исполнения другими системами, входящими в СУПСД, по следующему алгоритму.

1. Система телевизионного наблюдения «направляет» ближайшие видеокамеры на очаг возгорания и присваивает этим видеокамерам высший приоритет, обеспечивая тем самым непрерывное поступление с них видеоданных из зоны возгорания. На мониторе наблюдения формируются укрупненные изображения с этих видеокамер. Система видеофиксации переходит в режим приоритетной записи изображений из зоны возгорания.

2. Система управления микроклиматом выключает приточную систему вентиляции, обслуживающую данную зону, чтобы предотвратить поступление свежего воздуха (содержащего кислород) к очагу возгорания. Для удаления дыма из коридоров, холлов, лестниц (вдоль маршрутов эвакуации) включается соответствующая подсистема дымоудаления (открываются заслонки, включаются вентиляторы, обслуживающие вытяжную систему).

3. Включается система автоматического пожаротушения, если отдельные помещения или здание в целом оборудовано такой системой.

4. Система управления электроснабжением отключает цепи электропитания от оборудования и осветительных устройств вблизи зоны пожара.

5. Система управления освещением включает аварийное освещение.

6. Система управления доступом разблокирует двери (например, оборудованные кодовыми замками) для беспрепятственной эвакуации людей.

7. Система голосового оповещения включает голосовые оповещения в соответствующих частях здания.

8. Система управления лифтами спускает их на первый этаж и т.д.

Одновременно сигнал о наличии очага возгорания поступает в единый диспетчерский центр ИСУЗ на автоматизированное рабочее место оператора. На мониторе АРМ появляется графическая и текстовая информация о пожаре и месте его возникновения. Оператор имеет возможность проконтролировать работу системы автоматики. При необходимости продублировать ее, подключить (вызвать) пожарные подразделения МЧС для борьбы с пожаром.

Перечисленный набор действий может быть эффективно и согласованно реализован только, если все перечисленные подсистемы (пожарной сигнализации, управления освещени-

ем, микроклиматом, доступом, электроснабжением, лифтами и др.) находятся под управлением единого центра – ИСУЗ. Таким образом, включение всех систем здания в единую систему управления порождает новое качество – интегрированность. При этом интегрированная система благодаря наличию единой платформы (концепции и технологии) управления приобретает новые свойства, отсутствующие у составляющих подсистем (синергетический эффект).

Описанная технология работы СУПСД позволяет на более качественном уровне решать многие важные задачи, связанные с функционированием здания и обеспечением комфортности и безопасности пребывания всех ЛС в нем [21]. Практическая реализация приведенной технологии, как это видно из приведенного примера, требует дальнейшей детализации этой схемы. По относительно типовым ситуациям, в том числе и аварийного характера (например, хищение или повреждение отдельных датчиков), СУПСД может «решать вопросы» в рамках своих полномочий. Однако, как было показано выше, при серьезных отклонениях в показаниях датчиков от нормальных значений, решение должно приниматься в центре управления ИСУЗ. Примерами таких ситуаций могут быть пожары, наводнения, разрушение несущих конструкций здания либо фундамента, выход из строя систем отопления в период зимних холодов и др. В последующем разделе более подробно рассматривается одна из подобных ситуаций.

Методы сбора входных данных по конструктивным элементам здания. Среди всех чрезвычайных происшествий наиболее опасными являются такие, которые могут привести к уничтожению (разрушению) зданий: различные стихийные бедствия (наводнения, землетрясения, ураганы, смерчи и др.); техногенные катастрофы (пожары, взрывы, химические, биологические или радиоактивные выбросы и др.); террористические акты. Особенно важен контроль за теми угрозами, которые могут привести к разрушению части или всего здания: землетрясениями, провалами грунта, на котором стоит здание; перегрузкой здания дополнительными конструкциями, снежным покровом с толщиной выше проектной; уничтожением части несущих конструкций здания в результате несанкционированных перепланировок отдельных помещений; взрывами бытового газа; разрушением элементов здания в результате отсутствия должного инженерного контроля за их состоянием; террористическими актами. Во всех этих случаях часто гибнут люди, уничтожаются большие материальные ценности, в ряде случаев безвозвратно теряются информационные ресурсы. Хотя доля подобных происшествий относительно невелика, но их негативные последствия могут быть весьма значительными.

Основным техническим показателем, который сопровождает любые из описанных типов разрушений, являются деформации строительных конструкций зданий – в особенности на стыках конструктивных элементов. Поэтому одним из возможных методов противодействия угрозам разрушения зданий, а также минимизации возможных последствий таких разрушений является обеспечение непрерывного контроля за несущими элементами зданий и стыками между ними – в том числе за трещинами в стенах, зазорами между элементами фундаментов. Кроме того, в качестве превентивной процедуры целесообразно контролировать также нагрузку на базовые элементы здания: фундамент, несущие балки и опоры. Таким образом, в СУПСРД необходимо наличие подсистемы, контролирующей состояние несущих инженерных конструкций здания. Такая система мониторинга должна включать датчиковые системы контроля за деформациями в несущих конструкциях, а также за величинами напряжений и давлений на базовые конструкции здания. По данной проблеме научные исследования ведутся давно (см. анализ вопроса в [11]), в частности, для контроля за процессами деформации в зданиях имеется серия патентов [7–9].

Рассмотрим общую технологию функционирования службы контроля за механическим состоянием несущих конструкций здания. Как было указано выше, контроль и управление за нештатными ситуациями, связанными с несущими конструкциями здания, осуществляется не-

посредственно в центре управления ИСУЗ. Предполагается, что для повышения эффективности контроля и управления за нетиповыми ситуациями в центре имеется специальная служба – центр по нетиповым ситуациям в ИСУЗ. Общая схема функционирования такого центра применительно к механическому состоянию несущих конструкций здания приведена на рисунке 5.

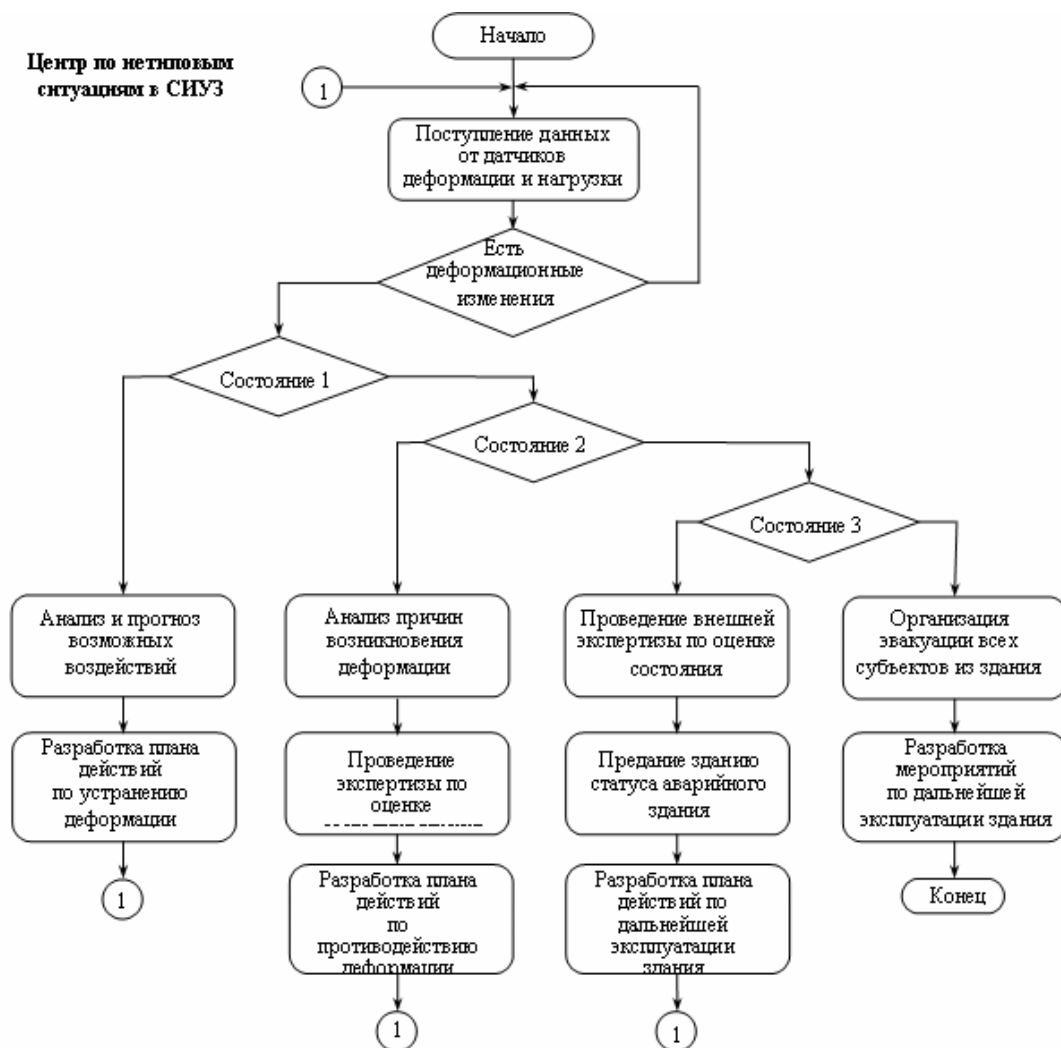


Рис. 5. Общая схема управления процессом контроля целостности здания в ИСУЗ

Данные в этот центр поступают из СУПСРД. В отношении контроля механического состояния несущих конструкций и стыков между ними наибольший интерес представляют данные от датчиков, связанных с оценками степени деформации несущих конструкций здания. При этом выделяют следующие пять основных состояний здания по уровню деформационных изменений: (0) деформационных изменений – нет; (1) появились относительно небольшие трещины и деформации в несущих конструкциях здания; (2) появились трещины и деформации в несущих конструкциях здания и в их стыках; (3) появились трещины и зазоры в стыках несущих конструкций и в самих конструкциях; (4) величины отдельных зазоров и деформаций больше допустимых пределов.

В зависимости от выявленного состояния здания, соответствующего состояниям 1 ... 4 используются соответствующие управляющие воздействия (рис. 5): анализ и проведение

экспертизы с последующей разработкой планов мероприятий и их реализацией; присвоение зданию статуса аварийного – с проведением всей последующей совокупности мероприятий, предусмотренных законом; срочная эвакуация или срочное выселение всех людей из здания.

Приведенная общая схема действий в случае ее полной реализации позволит контролировать текущее состояние зданий по показателям деформации его конструкций; выявлять деформационные изменения на ранних стадиях их возникновения; оценивать динамику изменения деформационных явлений во времени; прогнозировать возможные дальнейшие изменения в деформационных явлениях в зданиях; создавать инструментарий для выявления возможных причин возникновения деформаций и выбора методов борьбы с ними.

Итак, в данной работе получены следующие результаты.

1. Сформирована общая схема для системы управления процессом сбора и регистрации данных в составе ИСУ зданием. Эта система позволяет повысить уровень адаптивности управления по отношению к различным воздействиям; улучшить комфортность и безопасность пребывания людей в зданиях.

2. Построена иерархическая структура передачи данных в системе управления процессом сбора и регистрации данных. Такая структура позволяет обеспечить более высокий уровень безопасности передаваемых данных – за счет выбора для каждого типа данных наиболее приемлемых уровней передачи.

3. Разработана общая схема технологии функционирования подсистемы управления процессом сбора и регистрации данных в составе ИСУЗ. Это обеспечивает условия для повышения эффективности функционирования системы управления за счет внедрения средств автоматизации.

4. Разработана структура службы автоматизированного контроля и управления за механическими деформациями в конструктивных элементах, прежде всего, в его несущих конструкциях. Функционирование такой службы позволит повысить эффективность контроля за деформационными явлениями в зданиях, создать условия для раннего выявления и противодействия этим явлениям.

Список литературы

1. Батырканов Ж. И. Использование фрейм-модели представления знаний в системе управления предприятием / Ж. И. Батырканов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 1. – С. 100–112.
2. Брумштейн Ю. М. Субъективные и объективные оценки качества жизни населения в регионах: анализ факторов влияния и возможностей управления / Ю. М. Брумштейн // TOUR-XXI: Модернизация образования в туризме и академическая Мобильность – международный опыт. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2011. – Т. 2. – С. 59–63.
3. Коробейников О. П. Мониторинг технического состояния зданий, сооружений и инженерных систем / О. П. Коробейников, А. И. Панин, Э. И. Гусев, И. В. Трубина. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2011. – 42 с.
4. Кремлев А. С. Проектирование систем интеллектуального управления домашней автоматикой. Элементы теории и практикум / А. С. Кремлев, А. В. Титов, А. Н. Щукин. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2014. – 96 с.
5. Нгуен Суан Мань. Подсистема сбора и подготовки исходных данных в составе систем интеллектуального управления зданием / Нгуен Суан Мань, Г. А. Попов, Е. И. Сироткина // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2015. – № 3. – С. 20–27.
6. Неугодинов А. П. Концепция мониторинга строительных конструкций на базе волоконно-оптических датчиков / А. П. Неугодинов, И. В. Рубцов, Ф. А. Егоров и другие // Новый уральский строитель. – 2004. – № 10. – С. 42–44.
7. Патент 2282142 Российская Федерация, МПК G01B 11/16, G01D 5/353. Волоконно-оптический датчик деформации / М. Я. Яковлев, В. Н. Цуканов; заявитель и патентообладатель ЗАО ЦНТИТ «Техномаш-ВОС». – № 2004138476/28; заявл. 28.12.04; опубл. 20.08.06, Бюл. № 23. – 10 с.

8. Патент 2393431 Российская Федерация, МПК G01D 5/35, G01K 11/32, G01L 11/02. Волоконно-оптический датчик деформации / М. Е. Веряскин; заявитель и патентообладатель М. Е. Веряскин. – № 2009113976/28; заявл. 13.04.09; опубл. 27.06.10, Бюл. № 18. – 10 с.
9. Патент 2533742 Российская Федерация, G01N 3/12. Способ определения давления на грунт основания фундамента здания или сооружения, находящегося в эксплуатации / В. С. Уткин; Е. А. Шепелина; заявитель и патентообладатель Вологодский государственный университет. – № 2013130641/28; заявл. 03.07.13; опубл. 20.11.14, Бюл. № 32. – 9 с.
10. Савочкин А. Е. Алгоритмизация работы системы мониторинга и контроля для решения задач идентификации степени повреждения технически сложных объектов / А. Е. Савочкин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2. – С. 23–35.
11. Система контроля состояния элементов конструкции и инженерных систем высотного здания // Научно-производственное предприятие «Конус». – Режим доступа: http://www.memscous.com/cat_services_31.html, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
12. Agüero J. Energy management based on productiveness concept / J. Agüero, F. Rodríguez, A. Giménez // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – Vol. 22, issue C. – P. 92–100.
13. Dalia K. Data analysis in the intelligent building environment / K. Dalia, P. Tomas, K. Adam, S. Sirgilijus // International Journal of Computer Science and Applications. – 2014. – Vol. 11, № 1. – P. 1–17.
14. Gerasimos G. Rigatos. Modelling and Control for Intelligent Industrial Systems: Adaptive Algorithms in Robotics and Industrial Engineering / Gerasimos G. Rigatos. – Springer : Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – 409 p.
15. Kai-Yuan Cai. Intelligent building systems / Kai-Yuan Cai. – China : Beijing University of Aeronautics Beijing. – 167 p.
16. Khaled Sherbini. Overview of intelligent architecture / Khaled Sherbini, Robert Krawczek // e-Design in Architecture KFUPM : 1st ASCAAD International Conference. – Dhahran, Saudi Arabia, December 2004. – P. 137–152.
17. María del Mar Castilla. Comfort Control in Buildings / María del Mar Castilla, José Domingo Álvarez, Francisco Rodríguez, Manuel Berenguel. – Springer-Verlag London, 2014. – 257 p.
18. Oldewurtel F. Building control and storage management with dynamic tariffs for shaping demand response / F. Oldewurtel, A. Ulbig, M. Morari, G. Andersson // 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe). – Europe, Manchester, UK, 2011. – P. 1–8.
19. Scherer H. F. Efficient building energy management using distributed model predictive control / H. F. Scherer, M. Pasamontes, J. L. Guzmán, J. D. Álvarez, E. Camponogara, J. E. Normey-Rico // Journal of Process Control. – June 2014. – Vol. 24, issue 6. – P. 740–749.
20. Shengwei Wang. Intelligent Buildings and Building Automation / Shengwei Wang. – New York : 270 Madison Avenue, 2009. – 260 p.
21. So A. T. P. Building automation systems on the interne / A. T. P. So, W. L. Chan, W. L. Tse // Facilities. – 1997. – Vol. 15, no. 5/6. – P. 125–133.
22. Vrettos E. Predictive control of buildings for demand response with dynamic day-ahead and real-time prices / E. Vrettos, K. Lai, F. Oldewurtel, G. Andersson // Proceedings of the European Control Conference. – Zürich, Switzerland, July 17–19, 2013. – P. 2527–2534.
23. WONG Kwok Wai Johnny. Development of Selection Evaluation and System Intelligence Analytic Models for the Intelligent Building Control Systems / WONG Kwok Wai Johnny. – Hong Kong Polytechnic University, 2007. – 414 p.

References

1. Batyrkanov Zh. I. Ispolzovanie freymovo-produktsionnoy modeli predstavleniya znaniy v sisteme upravleniya predpriyatiem [Using the framing - production system in the enterprise management system]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 1, pp. 100–112.
2. Brumshteyn Ju. M. Subektivnye i obektivnye otsenki kachestva zhizni naseleniya v regionakh: analiz faktorov vliyaniya i vozmozhnostey upravleniya [Subjective and objective evaluation of the quality of life in regions: analysis of the influence factors and management capabilities]. *TOUR-XXI: Modernizatsiya obrazovaniya v turizme i akademicheskaya Mobilnost – mezhdunarodnyy opyt* [TOUR-XXI: Modernization

of Education in the Tourism and Academic Mobility – International Experience], Astrakhan, Astrakhan University Publ. House, 2011, vol. 2, pp. 59–63.

3. Korobeynikov O. P., Panin A. I., Gusev Ye. I., Trubina I. V. *Monitoring tehnikeskogo sostoyaniya zdaniy, sooruzheniy i inzhenernykh sistem* [Monitoring of technical condition of buildings and engineering systems], Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Construction Publ. House, 2011. 42 p.

4. Kremlev A. S., Titov A. V., Shchukin A. N. *Proektirovanie sistem intellektualnogo upravleniya domashney avtomatikoy. Elementy teorii i praktikum* [Design of intelligent control home automation. Elements of the theory and practical work], Saint Petersburg, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics Publ. House, 2014. 96 p.

5. Nguyen Xuan Manh, Popov G.A., Sirotkina Ye. I. *Podsystema sbora i podgotovki iskhodnykh dannyykh v sostave sistem intellektualnogo upravleniya zdaniem* [Subsystem of data collection and data preparation as part of intelligent building management]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Facilities and Informatics], 2015, no. 3, pp. 20–27.

6. Neugodnikov A. P., Rubtsov I. V., Yegorov F. A. *Kontseptsiya monitoringa stroitelnykh konstruktov na baze volokonno-opticheskikh datchikov* [The concept of monitoring of building structures based on fiber-optic sensors]. *Novyy uralskiy stroitel* [New Urals Builder], 2004, no. 10, pp. 42–44.

7. Yakovlev M. Ya., Tsukanov V. N. Patent RF, no. 2282142. IPC G01B 11/16, G01D 5/353. Fiber-optic strain sensor. Applicant and patentee Company TSNTIT "Tekhnomash-BOC. No. 2004138476/28, appl. 28.12.04, publ. 20.08.06, Bul. no. 23. 10 p.

8. Veryaskin M. Ye. Patent RF, no. 2393431. IPC G01D 5/35, G01K 11/32, G01L 11/02. Fiber-optic strain sensor. No. 2009113976/28, appl. 13.04.09, publ. 27.06.10, Bul. no. 18. 10 p.

9. Utkin V. S., Shepelina Ye. A. Patent RF, no. 2533742. G01N 3/12. A method of determining the ground pressure of the foundation base on the building or structure in service. Applicant and patentee Vologda State University. No. 2013130641/28, appl. 03/07/13, publ. 11.20.14, Bul. no. 32. 9 p.

10. Savochkin A. Ye. *Algoritmizatsiya raboty sistemy monitoringa i kontrolya dlya resheniya zadach identifikatsii stepeni povrezhdeniya tekhnicheskikh slozhnykh obektov* [Algorithmization operation of monitoring and control system to solve the problems of identification of the damage extent of technically complex objects]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 2, pp. 23–35.

11. *Sistema kontrolya sostoyaniya elementov konstruktivnykh i inzhenernykh sistem vysokonogogo zdaniya* [The monitoring system of structural elements and engineering systems of high-rise buildings]. *Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie "Konus"* [Scientific and Production Enterprise "Conus"]. Available at: http://www.memsconus.com/cat_services_31.html.

12. Agüero J., Rodríguez F., Giménez A. Energy management based on productiveness concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, vol. 22, issue C, pp. 92–100.

13. Dalia K., Tomas P., Adam K., Sirgilijus S. Data analysis in the intelligent building environment. *International Journal of Computer Science and Applications*, 2014, vol. 11, no. 1, pp. 1–17.

14. Gerasimos G. Rigatos. *Modelling and Control for Intelligent Industrial Systems: Adaptive Algorithms in Robotics and Industrial Engineering*, Springer, Verlag Berlin Heidelberg Publ., 2011. 409 p.

15. Kai-Yuan Cai. *Intelligent building systems*. China, Beijing University of Aeronautics Beijing Publ. House. 167 p.

16. Khaled Sherbini, Robert Krawczek. Overview of intelligent architecture. *e-Design in Architecture KFUPM. 1st ASCAAD International Conference*, Dhahran, Saudi Arabia, December 2004, pp. 137–152.

17. María del Mar Castilla, José Domingo Álvarez, Francisco Rodríguez, Manuel Berenguel. *Comfort Control in Buildings*, Springer-Verlag London, 2014. 257 p.

18. Oldewurtel F., Ulbig A., Morari M., Andersson G. Building control and storage management with dynamic tariffs for shaping demand response. *2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe)*, Europe, Manchester, UK, 2011, pp. 1–8.

19. Scherer H. F., Pasamontes M., Guzmán J. L., Álvarez J. D., Camponogara E., Normey-Rico J. E. Efficient building energy management using distributed model predictive control. *Journal of Process Control*, June 2014, vol. 24, issue 6, pp. 740–749.

20. Shengwei Wang. *Intelligent Buildings and Building Automation*, New York, 270 Madison Avenue Publ., 2009. 260 p.
21. So A. T. P., Chan W. L., Tse W. L. Building automation systems on the internet. *Facilities*, 1997, vol. 15, no. 5/6, pp. 125–133.
22. Vrettos E., Lai K., Oldewurtel F., Andersson G. Predictive control of buildings for demand response with dynamic day-ahead and real-time prices. *Proceedings of the European Control Conference*, Zürich, Switzerland, July 17–19, 2013, pp. 2527–2534.
23. WONG Kwok Wai Johnny. *Development of Selection Evaluation and System Intelligence Analytic Models for the Intelligent Building Control Systems*, Hong Kong Polytechnic University Publ. House, 2007. 414 p.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К УЛУЧШЕНИЮ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Статья поступила в редакцию 27.07.2015, в окончательном варианте 12.09.2015

Вишневский Александр Анатольевич, аспирант, Уфимский государственный авиационный технический университет, 450000, Российская Федерация, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12, e-mail: host_of_peace@list.ru

Ясовеев Васих Хаматович, доктор технических наук, профессор, Уфимский государственный авиационный технический университет, 450000, Российская Федерация, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12, e-mail: yasov@mail.ru

Рассмотрены возможности и особенности использования интеллектуального подхода к улучшению метрологических характеристик при проектировании волоконно-оптических датчиков давления и температуры для использования в нефтегазовой сфере. Выделены функции метрологического самоконтроля таких устройств, позволяющие минимизировать погрешности при измерениях. Установлено, что по сравнению с электронными устройствами (электронными датчиками), волоконно-оптические датчики могут иметь погрешности, определяемые случайными бросками параметров. Кроме того, выявлено, что эти погрешности не связаны ни с аддитивными, ни с мультипликативными законами взаимодействия других видов погрешностей. Они определяются технологическими факторами добычи углеводородов (нахождение пределов давлений во внутрискважинной зоне в расчетных пределах, отсутствие трения с абразивными материалами). Более того, эти погрешности (ошибки) не зависят от конструкции и технологии изготовления датчиков. По результатам анализа мировой практики подтверждена целесообразность интеллектуального подхода к разработке методик контроля и управления системами с электроцентробежными насосными агрегатами на основе использования волоконно-оптических датчиков.

Ключевые слова: искусственный интеллект, метрологические характеристики, волоконно-оптические системы, погрешности, метрологический самоконтроль, ранги приоритетов источников погрешностей, случайные броски параметров, самотермокомпенсация

INTELLIGENT APPROACH TO IMPROVE METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF OPTICAL FIBER SYSTEMS OF PRESSURE AND TEMPERATURE MEASUREMENT, INTENDED FOR THE OIL AND GAS INDUSTRY

Vishnevskiy Aleksandr A., post-graduate student, Ufa State Aviation Technical University, 12 Karl Marks St., Ufa, Republic of Bashkortostan, 450000, Russian Federation, e-mail: host_of_peace@list.ru

Yasoveev Vasikh Kh., D.Sc. (Engineering), Ufa State Aviation Technical University, 12 Karl Marks St., Ufa, Republic of Bashkortostan, 450000, Russian Federation, e-mail: yasov@mail.ru

Considered possibilities and features intelligent approach to improving the metrological characteristics of the design of the fiber-optic pressure and temperature sensors for use in the oil and gas sector. Scroll to the metrological self-control such devices allow to minimize errors in the measurements. It is found that compared with the electronic devices (electronic sensors), fiber optic sensors may be errors determined randomly throws parameters. In addition, it found that these errors are not linked to the additive or the multiplicative interaction of the laws of other types of errors – they are determined by technological factors hydrocarbon production (finding the limits of the pressure in the borehole in the area within the settlement, there is no friction with abrasive materials). Moreover, these errors (errors) do not depend on the design and technology of the sensors. According to the analysis of world practice confirmed the feasibility of the intellectual approach to the development of techniques for monitoring and control systems to the electric-pump units through the use of fiber optic sensors.

Keywords: artificial intelligence, metrological characteristics, fiber-optic systems, errors, metrological self-control, error sources priorities rank, random parameter shots, temperature self-compensation

Использование волоконно-оптических датчиков (ВОД) в рамках эксплуатации различных информационно-измерительных систем имеет ряд преимуществ перед другими типами датчиков. Однако для получения правильных результатов необходим корректный учет особенностей ВОД. Особенно перспективным можно считать использование ВОД, относящихся к классу интеллектуальных (способных самостоятельно подстраиваться под изменяющиеся условия систем). Однако эти вопросы в существующих публикациях отражены слабо. Поэтому целью данной статьи была попытка устранить данный пробел.

Волоконно-оптический датчик с самокалибровкой. При рассмотрении вопроса интеллектуализации каких бы то ни было датчиков важно понимать различие термина «адаптивность» и «интеллектуальность». Для этого создана классификация, основанная на возможности изменений параметров и /или алгоритмов работы в процессе эксплуатации:

1) адаптивный режим означает, что параметры и / или алгоритмы работы датчиков в процессе эксплуатации могут изменяться в зависимости от сигналов, поступающих от находящихся в нем преобразователей;

2) «константный» режим – параметры и/ или алгоритмы работы датчиков в процессе эксплуатации не могут изменяться.

Согласно [5] интеллектуальный датчик – это адаптивный датчик с функцией метрологического самоконтроля, который вносит в метрологические характеристики датчика методы и средства обеспечения проверки достоверности измерительной информации, полученной от собственных чувствительных элементов (ЧЭ). В частности, использование методов и средств метрологического самоконтроля при разработке структуры волоконно-оптических интерферометров Фабри-Перо (ВОИФП) обеспечивает уникальную способность самокалибровки устройств. Это позволяет отнести их к классу интеллектуальных датчиков (рис. 1). Функциональная схема такого датчика приведена на рисунке 2.

Расстояние между ЧЭ и трансивером может достигать 3 км при условии применения оптического кабеля. Это практически позволяет отказаться от импульсных трубок для монтажа приборов измерения давления.

Температурная зависимость длины резонаторной полости такого датчика выражается формулой [3]:

$$\Delta G = (\alpha_0 L_0 - \alpha_1 L_1 - \alpha_2 L_2) \Delta T, \quad (1)$$

где ΔT – изменение температуры; $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ – коэффициенты температурного расширения соответственно кварцевых стекол капиллярной оболочки, входного и выходного волокон; L_0, L_1, L_2 – длины измерительной полости датчика, входного и выходного оптических волокон интерферометра.

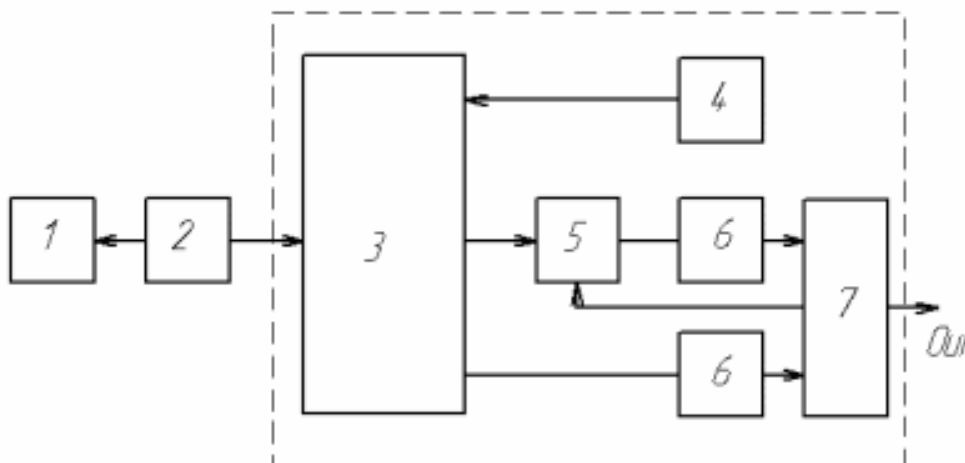


Рис. 1. Структурная схема интеллектуального датчика давления.
 Обозначения: 1 – ВОИФП; 2 – оптический кабель; 3 – оптический разветвитель;
 4 – светоизлучающий диод; 5 – перестраиваемый спектральный оптический фильтр;
 6 – фотодетектор; 7 – микроконвертер / микроконтроллер

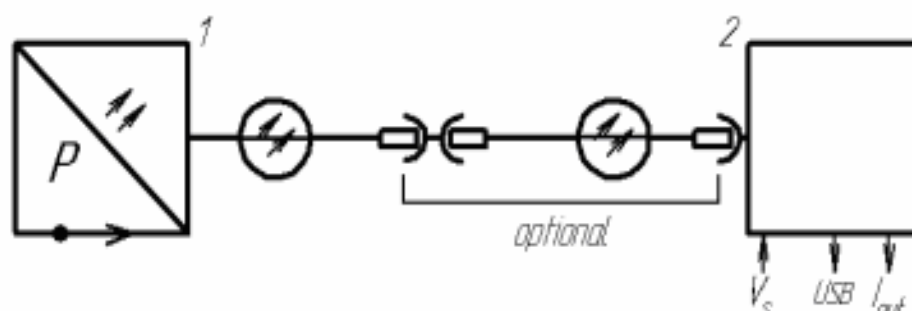


Рис. 2. Функциональная схема интеллектуального датчика давления.
 Обозначения: 1 – ЧЭ; 2 – оптико-электронный блок передатчика;
 Vs – напряжение питания электронной части; I_{out} – сигнальный выход;
 optional – оптический кабель (при необходимости увеличения расстояния между ЧЭ и трансивером)

Для того, чтобы температурную погрешность свести к минимуму, необходимо подобрать такие значения α_0 , α_1 , α_2 , L_1 , чтобы выражение в скобках формулы (1) было практически равно нулю, т.е.:

$$\alpha_0 L_0 - \alpha_1 L_1 - \alpha_2 L_2 = 0.$$

На рисунке 3 приведены градуировочные характеристики ВОД давления с самокомпенсацией для рабочих температур 24 °C и 250 °C [3].

При изменении температуры измеряемой среды (ΔT) длина полости резонатора Фабри-Перо в соответствии с формулой (1) изменится на величину, которая будет ниже предела чувствительности. Поэтому влияние температуры на погрешность измерения ВОИФП ничтожно (два графика на рис. 3 фактически слились в один). Термокомпенсация обеспечивается практически во всем рабочем диапазоне температур – об этом говорит строго линейный характер графиков по рисунку 3.

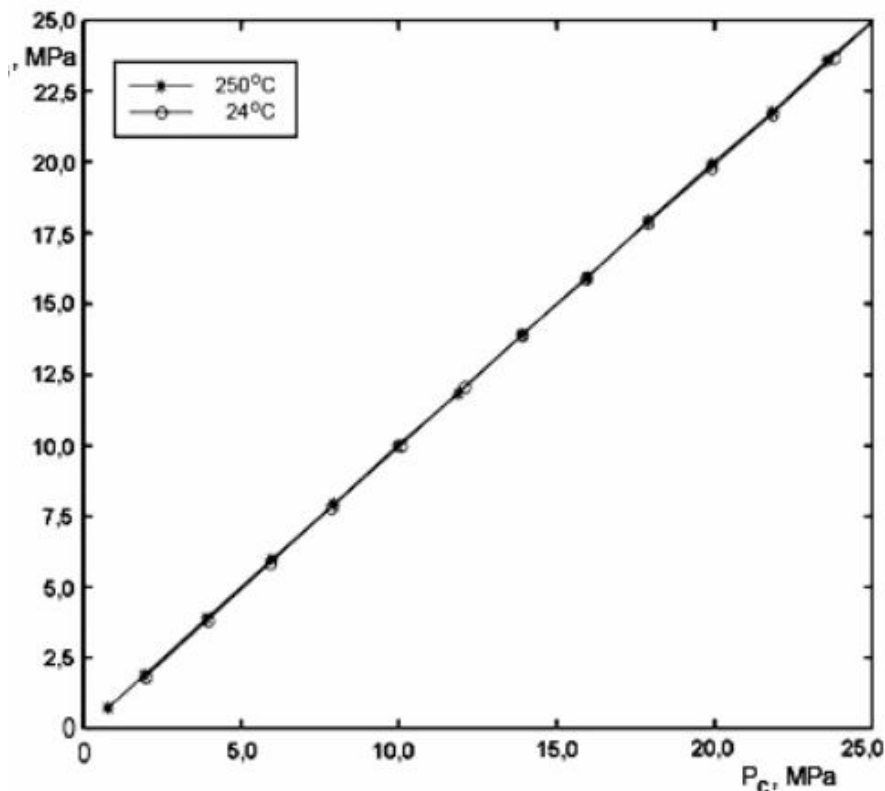


Рис. 3. Градуировочные характеристики ВОД с самотермокомпенсацией на базе интерферометра Фабри-Перо для температур 250 °C и 24 °C. Обозначения: P_s – давление при 24 °C; P_c – давление при 250 °C

Аналогично рассматриваемый интеллектуальный подход к построению ВОД может быть применен и к волоконно-оптическим измерительным системам в целом.

Интеллектуальные волоконно-оптические измерительные системы. При внедрении в ВОД элементов искусственного интеллекта в рамках построения интеллектуальной волоконно-оптической измерительной системы (ИВОИС) рассматриваемые датчики приобретают такие функциональные возможности: контроль состояния элементов системы; проведение самодиагностики; выдача сообщений пользователю в случае обнаружения неисправностей; проведение самокалибровки и корректировки значений измеряемых величин с заданной пользователем частотой.

Например, при использовании интеллектуального унифицированного регистрирующего модуля FIU-44-1.55 серии Ег компании ООО ИП «НЦВО – Фотоника» г. Москва обеспечивается постоянная обработка опорного сигнала. Это приводит к перманентному контролю правильности проводимых измерений.

Современные интеллектуальные оптические датчики обладают функцией метрологического самоконтроля в силу мультимодальности оптического сигнала (выходной сигнал ВОД, зависит не менее чем от двух параметров датчика). Это позволяет производить самокалибровку ВОД в реальном масштабе времени без остановки контролируемых процессов и без использования поверочных эталонов [3].

Согласно ГОСТ Р 8.734-2011 [5] методы метрологического самоконтроля имеют классификацию, представленную на рисунке 4.

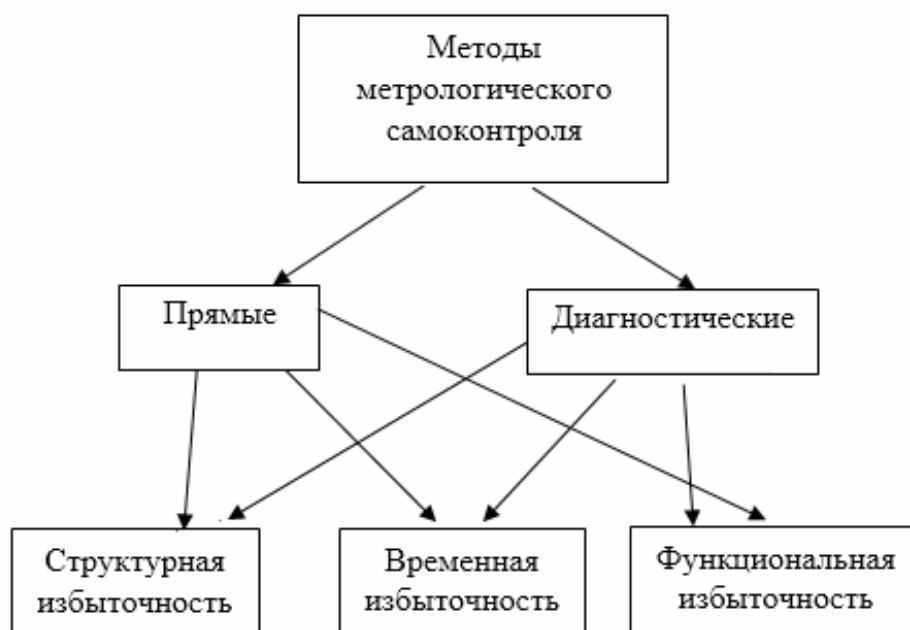


Рис. 4. Классификация методов метрологического самоконтроля интеллектуальных датчиков по ГОСТ Р 8.734-2011

Для того, чтобы выбрать, какой из методов (либо комбинация методов) в наибольшей степени подходит при разработке датчика или измерительной системы нужно сделать следующее.

1. Выявить вероятные источники погрешностей, связанные с изменением характеристик материалов датчиков, технологических процессов, повреждений оборудования при его использовании.

Для этого требуется проанализировать ожидаемые условия эксплуатации датчиков в переходных и установившихся режимах, при наличии специфических воздействий. С этой целью могут быть использованы публикации в научно-технической литературе; известный опыт эксплуатации датчиков-аналогов в сочетании с результатами их проверок, калибровок; результаты анализа причин метрологических отказов датчиков в процессе эксплуатации; результаты испытаний датчиков-аналогов в различных условиях; сведения о конструкциях и технологиях изготовления датчиков. При недостаточности имеющейся информации об источниках погрешностей выполняют дополнительные (включая форсированные) испытания и анализируют их результаты [7].

2. Определить критическую составляющую погрешности – в том числе оценить ее особенности, скорость нарастания, компонентный состав (систематическая или случайная ошибка, аддитивная или мультипликативная); выделить приоритетные (критические) составляющие этой погрешности.

Для обеспечения прямого метрологического диагностического самоконтроля (МДС) датчика необходимо сочетание в одной конструкции собственно контролируемого измерительного преобразователя и дополнительного средства обеспечения его более высокой точности.

В общем случае МДС датчика обеспечивает следующее: на основе структурной избыточности сочетает в одной конструкции два и более близких по точности измерительных преобразователя, один из которых контролируемый; на основе временной избыточности идентифицирует критическую составляющую погрешности датчика по его известным динамическим характеристикам; на основе функциональной избыточности выявляет либо создает дополнительную функцию преобразования – в том числе в форме модуляции измеряемой величины.

Волоконно-оптическая структура интеллектуальных датчиков давления и температуры ограничивает возможные источники погрешностей, определенные в [6] до следующих показателей.

(А) Для датчика давления: выбросы давления за пределы диапазона, указанного в документации (1-ый ранг), броски давления «вниз» (1-ый ранг).

(В) Для датчика температуры: абразивное истирание (2-ой ранг).

Наивысшие ранги (приоритеты) источников погрешности присваиваются тем из них, условия возникновения для которых определяются технологическим фактором добычи углеводородов (выходом значений давления во внутрискважинной зоне из допустимого для датчика давления диапазона, наличием трения датчика с абразивными материалами) и не зависят от конструкции и технологии изготовления датчиков.

При этом однозначно определяются случайные броски параметров (это не связано ни с аддитивными, ни с мультипликативными законами взаимодействия других видов погрешностей), вероятность появления которых велика при работе электронных устройств. В [2] приводится подробный математический аппарат для оценки погрешностей при использовании ВОД, включающий в себя формализованные «критерии оптимальности» для разных вариантов выбора совокупности решений – при наличии наборов ограничений по ресурсам и рискам.

Перспективы использования интеллектуального подхода в ВОД и ВОИС. Анализ публикаций и патентных материалов [10, 11] позволил выявить наиболее корректные признаки интеллектуальных систем (ИС). Они представлены в таблице 1. В соответствии с принятым для таблицы подходом все ИС, в том числе построенные на основе ВОД и ВОИС, можно разделить на классы и уровни.

Таблица

**Иерархия технологических операций интеллектуальных систем
измерения давления и температуры**

Классифика- ционный уровень	Обозначение направления (свойств)		
	<i>S</i>	<i>A</i>	<i>I</i>
	Измерения	Управляющее воздействие	Интерпретация и обработка данных
1	Давления, температуры	Вспомогательные системы	Кратковременная информационная обратная связь
2	Давления, температуры потока	Локальное включение / выключение потока	Информационная обратная связь используется для системной оптимизации
3	Давления, температу- ры потока и его ком- понентов	Локальное многопозиционное регулирование потока	Информационная обратная связь используется для коррекции (форми- рования) модели пласта
4	Параметров пласта	Ответвление потока регу- лирующими приборами	—
5	Параметров флюидов	Разделение фракций потока флюидов	—

В таблице 1 возрастание номера классификационного уровня соответствует более высокому уровню интеллекта ИС.

В соответствии с представленной классификацией, ИС может быть принципиально интерпретирована в виде сочетаний любых комбинаций свойств $\{S5(1...4), A(1...5), I(1...3)\}$.

Хотя обзор зарубежных публикаций не выявил массового применения ИС с высоким уровнем интеллекта (в основном из-за дороговизны), но имеются сведения о реализации таких систем на ограниченном числе объектов [1]. Такие системы используют кабельный канал связи и управляют расходом нефти или газа, осуществляя измерение давления и температуры в реальном масштабе времени (категория S2A3I2).

Анализ отечественных публикаций [1–4, 8–11] по тематике ИС выявил следующую ситуацию и тенденции. Основное применение находят системы класса S1A1I1, т. е. для исследований проводимых однократно или на основе автономных регистраторов – с последующей выборкой и дешифровкой данных. Причина – набор сочетаний любых комбинаций свойств ограничен необходимостью учета большого количества многосвязных факторов.

Недостатки этих интерпретаций сочетаний для комбинаций свойств / уровней очевидны – информационная обратная связь либо существенно дискретна по времени, либо апостериорна к текущему состоянию. Это затрудняет математическое моделирование и формализацию зависимостей, описывающих данные процессы для целей оптимального выбора решений при проектировании.

Так при высоком содержании сероводорода в извлекаемом газе (до 26 % на Астраханском газоконденсатном месторождении) с целью поддержания давления при подаче в печи Клауса для обессеривания может применяться многокаскадное регулирование при учете параметра температуры.

Имеются сведения о применении кабельных систем мониторинга, относящихся к классам S1A1I2 и S2A1I2 [13, 14]. Достоинством таких систем является возможность свободного перемещения прибора от приема (входа) насосного агрегата до забоя (конца скважины). Основной недостаток – невозможность извлечения прибора на кабеле без подъема электроцентробежных насосных агрегатов (ЭЦН) при каротаже. Следует отметить статью [12], где разработаны алгоритмы, методика и технические средства для проведения мониторинга добычи углеводородов с использованием систем вышеназванных классов.

Значительное внимание в исследованиях и публикациях уделено вопросам применения ЭЦН и системам управления техническими средствами, которые их используют. Однако укажем, что контроль и управление ЭЦН необходимо рассматривать как подсистему в контексте использования ИС. Важное и перспективное направление анализируется в [1], где затрагиваются вопросы одновременной добычи нефтегазового сырья из нескольких пластов. Очевидно, что для реализации такой технологии требуются разработка и внедрение ИС с более высоким уровнем интеллекта (S3A3I3 и выше). При этом требуется сочетание решения задачи одновременной разработки пластов с принципиально новым подходом к управлению использованием месторождений в целом (см. табл. 1 уровни 4 и 5).

Выводы. Внедрение систем искусственного интеллекта позволило перейти от ВОД с самокомпенсацией (самокалибровкой) по какому-либо параметру к современным интеллектуальным оптическим датчикам, обладающим функцией метрологического самоконтроля. Это дает возможность производить самокалибровку ВОД в реальном масштабе времени без остановки контролируемых процессов, без использования поверочных эталонов с заданной пользователем частотой; выполнять самодиагностику датчиков; обеспечивать выдачу сообщений пользователю в случае обнаружения неисправностей.

Применение оптического волокна в интеллектуальных датчиках и системах позволило довольно сильно сузить круг источников погрешностей и практически обнулить их ранги. Иными словами – уменьшить риски не обнаружения вовремя опасного изменения измеряемой величины.

Проведенный анализ позволил установить требования к ИС, обеспечивающие эффективность информационной поддержки разработки месторождений:

- возможность внутрискважинного мониторинга параметров давления и температуры с функцией беспроводной передачи информации о работе двух и более пластов на поверхность в режиме реального времени;
- наличие системы управления скважинным оборудованием, в частности с использованием ЭЦН;
- обеспеченность аналитическими алгоритмами оперативного реагирования на текущие и ретроспективные результаты разработки месторождения; планирования и проектирования эффективных геолого-технических мероприятий – в том числе упреждающего характера;
- достаточная пропускная способность и функциональность бескабельного канала связи приемника и передатчика оптического сигнала.

Список литературы

1. Белоус В. Б. Новая технология мониторинга нефтяных скважин, эксплуатирующих совместно несколько пластов / В. Б. Белоус и другие // Нефтяное хозяйство. – 2006. – № 12. – С. 62–67.
2. Брумштейн Ю. М. Анализ моделей и методов выбора оптимальных совокупностей решений для задач планирования в условиях ресурсных ограничений и рисков / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Тарков, И. А. Дюдилов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3. – С. 169–179.
3. Буймистрюк Г. Я. Интеллектуальный волоконно-оптический датчик для измерений в экстремальных условиях / Г. Я. Буймистрюк, А. М. Рогов // Paper #284 – ANIMMA International Conference, 7–10 June 2009, Marseille, France. – Режим доступа: [http://www.vbrspb.ru/userfiles/Articl2009\(1\).pdf](http://www.vbrspb.ru/userfiles/Articl2009(1).pdf), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
4. Гармаш В. Б. Возможности, задачи и перспективы волоконно-оптических измерительных систем в современном приборостроении / В. Б. Гармаш, Ф. А. Егоров и другие // Спецвыпуск «Фотон-Экспресс». – 2005. – № 6. – С. 128–140.
5. ГОСТ Р 8.673-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Основные термины и определения. – Введен 2010–12–01. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 8 с.
6. ГОСТ Р 8.734-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы метрологического самоконтроля. – Введен 2012–09–01. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 20 с.
7. ГОСТ Р 8.825-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы ускоренных испытаний. – Введен 2015–01–01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 10 с.
8. Кульчицкий В. В. Разработка теоретических и методических основ создания интеллектуальных нефтегазовых месторождений / В. В. Кульчицкий, П. Н. Александров, З. А. Пятакова, А. И. Архипов // Нефть. Газ. Новации. – 2013. – № 11. – С. 36–39.
9. Лепехин В. И. Разработка и опыт эксплуатации комплекса оборудования для автоматизации добычи нефти / В. И. Летихин и другие // Нефтяное хозяйство. – 2004. – № 5. – С. 111–112.
10. Павленко Г. А., Морозовская С. В. Способ непрерывного мониторинга за процессом добычи углеводородов и программа вычисления плотности и обводненности флюидов в эксплуатационных скважинах ниже приема насоса / Г. А. Павленко, С. В. Морозовская // Нефтегазопромысловый инжиниринг. – 2003. – № 10.
11. Пат. 2346156 Российская Федерация, МПК Е 21В 47/12, Е 21В 43/12. Система управления добычей углеводородного сырья / Р. И. Алимбеков и другие ; заявитель и патентообладатель ООО Научно-исследовательский институт технических систем «Пилот». – № 2007126493 ; заявл. 11.07.07 ; опубл. 10.02.09, Бюл. № 4. – 4 с.
12. Технические решения, позволяющие нефтяным компаниям экономить время и средства : пер. с англ. / пер. Б. Мохоцейн // Нефтегазовые технологии. – 2002. – № 2. – С. 40–43.
13. Anderson A. Integration Intelligent Well Systems With Other Completion Technologies / A. Anderson // The Oil & Gas Review. – 2005.
14. Mathieson D. Intelligent Well Classification System / D. Mathieson. – June 1998.

References

1. Belous V. B., et al. Novaya tekhnologiya monitoringa neftyanykh skvazhin, eks-pluatiruyushchikh sovместno neskolko plastov [New technology for monitoring oil wells operating together several layers]. *Neftyanoe khozyaystvo* [Oil Industry], 2006, no. 12, pp. 62–67.
2. Brumshteyn Yu. M., Tarkov D. A., Dyudikov I. A. Analiz modeley i metodov vybora optimalnykh sovokupnostey resheniy dlya zadach planirovaniya v usloviyakh resursnykh ogranicheniy i riskov [Analysis of the models and methods of selection of optimum set of solutions for the problems of planning in terms of resource constraints and risks]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 3, pp.169–179.
3. Buymistryuk G. Ya., Rogov A. M. Intellectualnyy volokonno-opticheskiy datchik dlya izmereniy v ekstremalnykh usloviyakh [Intelligent fiber optic sensor for measurements in extreme conditions]. *Paper #284 – ANIMMA International Conference, 7–10 June 2009, Marseille, France*. Available at: [http://www.vbrspb.ru/userfiles/Articl2009\(1\).pdf](http://www.vbrspb.ru/userfiles/Articl2009(1).pdf).
4. Garmash V. B., Yegorov F. A., et al. Vozmozhnosti, zadachi i perspektivy volokonno-opticheskikh izmeritelnykh sistem v sovremennom priborostroenii [Opportunities, challenges and prospects of the fiber-optical measuring systems in a modern instrumentation]. *Spetsvypusk «Foton-Ekspress»* [Special Issue «Foton-Express»], 2005, no. 6, pp.128–140.
5. GOST R 8.673-2009. State system for ensuring the uniformity of measurements. Intelligent sensors and systems, measuring intelligence. Basic terms and definitions. Introduced 2010–12–01. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 8 p.
6. GOST R 8.734-2011. State system for ensuring the uniformity of measurements. Intelligent sensors and systems, measuring intelligence. Methods of metrological samokon-trol. Introduced 2012–09–01. Moscow Standartinform Publ., 2012. 20 p.
7. GOST R 8.825-2013. State system for ensuring the uniformity of measurements. Intelligent sensors and systems, measuring intelligence. Methods of accelerated tests. Introduced 2015–01–01, Moscow, Standartinform Publ., 2014. 10 p.
8. Kulchitskiy V. V., Aleksandrov P. N., Pyatakova Z. A., Arkhipov A. I. Razrabotka teoreticheskikh i metodicheskikh osnov sozdaniya intellektualnykh neftegazovykh mestorozhdeniy [The gap-processing theoretical and methodical fundamentals of creation of intelligent oil-deposits is IU]. *Neft. Gaz. Novatsii* [Oil. Gas. Innovations], 2013, no. 11, pp. 36–39.
9. Lepekhin V. I., et al. Razrabotka i opyt ekspluatatsii kompleksa oborudovaniya dlya avtomatizatsii dobychi nefii [Development and operating experience complex automation of oil]. *Neftyanoe khozyaystvo* [Oil Industry], 2004, no. 5, pp. 111–112.
10. Pavlenko G. A., Morozovskaya S. V. Sposob nepreryvnogo monitoringa za protsessom dobychi uglevodorodov i programma vychisleniya plotnosti i obvodnennosti flyuidov v ekspluatatsionnykh skvazhinakh nizhe priema nasosa [A method of continuously monitoring the process of production of hydrocarbons and the program to calculate the density and water content of fluids in production wells below the pump intake]. *Neftegazopromyslovyy inzhiniring* [Oil and Gas Engineering], 2003, no. 10.
11. Alimbekov R. I., et al. Patent 2346156 Russian Federation, 21B IPC E 47/12, E 21 B 43/12. The control system extraction of hydrocarbons. Applicant and patentee Ltd. Research Institute of Technical Systems "Pilot". No. 2007126493, appl. 11.07.07; publ. 10.02.09, Bul. no. 4. 4 p.
12. Mokhotseyn B. (tran.) Tekhnicheskie resheniya, pozvolyayushchie neftyanym kompaniyam ekonomit vremya i sredstva [Technical solutions that enable oil companies to save time and money]to *Neftegazovye tekhnologii* [Oil and Gas Technologies], 2002, no. 2, pp. 40–43.
13. Anderson A. Integration Intelligent Well Systems With Other Completion Tech-nologies. *The Oil & Gas Review*, 2005.
14. Mathieson D. *Intelligent Well Classification System*, June 1998.

УДК 62-503.5

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АПЕРТУР ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЙ В СИСТЕМАХ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕФТЕДОБЫЧЕЙ¹

Статья поступила в редакцию 20.07.2015, в окончательном варианте 14.09.2015.

Зебзеев Алексей Григорьевич, аспирант, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Российская Федерация, г. Томск, проспект Ленина, 30, e-mail: ZebzeevAG@nipineft.tomsk.ru

Рассмотрена проблема множественного доступа к среде передачи данных системой диспетчерского управления на объектах добычи нефти. С целью увеличения быстродействия передачи данных обосновано использование методов обеспечения случайного доступа к среде. Автором определены недостатки указанных методов, проанализированы возможные способы их устранения. В качестве дополнительных мер улучшения характеристик передачи данных предложено использовать управление загруженностью канала связи центральной базовой станции с помощью поддержания объема передаваемой информации на допустимом уровне. Для обеспечения возможности управления сетевым трафиком обосновано применение событийного (спорадического) режима опроса данных с контролируемых объектов нефтедобычи. С целью изучения объекта управления был проведен анализ динамики технологических процессов на основе ретроспективных данных конкретного нефтедобывающего предприятия. При этом было выявлено, что основными причинами возникновения событий являются изменения значений непрерывных параметров (телеизмерений) на пороговую величину (апертуру). В силу этого адаптивное управление величинами апертур телеизмерений для ограничения загруженности сети связи является целесообразным. В качестве методологии разработки адапционного алгоритма предложено использование одного из оптимизационных методов – нечеткого вывода Мамдани на основе формализованных критериев оптимальности. Компьютерное моделирование процесса передачи данных технологического процесса и анализ полученных результатов подтвердили эффективность применения предлагаемого подхода. Таким образом, было показано, что предлагаемая автором методика позволяет поддерживать загруженность сети на допустимом уровне при высокой достоверности отображения динамики технологического процесса в пункте управления.

Ключевые слова: управление трафиком, событийный подход, спорадическая передача данных, апертура телеизмерений, критерий оптимальности, алгоритм нечеткого вывода Мамдани, вычислительный эксперимент

ALGORITHM FOR APERTURE TELEMETRY SUPERVISORY SYSTEM OIL PRODUCTION

Zebzeev Aleksey G., post-graduate student, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russian Federation, e-mail: ZebzeevAG@nipineft.tomsk.ru

The article deals with the problem of multiple access transmission medium supervisory system on objects of oil production. In order to increase the speed of data transfer is justified using random access medium. The author has identified disadvantages of these methods and how to resolve them. As additional measures to improve the characteristics of the network load control prompted the central link of the base station by keeping the volume of information transmitted at an acceptable level. To be able to manage network traffic provides the use of event-driven (sporadic) mode survey data from controlled oil production facilities. In order to study the control object analyzed the dynamics of technological processes on the basis of historical data Oil Company. The analysis showed that the main causes of events are changes in the values of continuous parameters (telemetry) on the threshold (aperture). This determined the feasibility of adaptive control aperture value telemetry to limit network congestion. As an adaptive algorithm development methodology proposed the use of one of the optimization methods - Mamdani fuzzy inference on the basis of formal criteria of optimality. Computer modelling the transfer of process data and analysis of the results confirmed the

effectiveness of the proposed approach. As a result, it was shown that the proposed technique allows the author to support the load of the network at an acceptable level of reliability at high dynamics of the process display in the control centre.

Keywords: traffic management, event approach, sporadic data transmission, telemetry aperture, optimality criterion, the algorithm of fuzzy inference Mamdani, computer experiment

Введение. Для территориально распределенных объектов нефтедобычи характерна большая удаленность отдельных элементов инфраструктуры друг от друга и по отношению к центральному диспетчерскому пункту. С целью сокращения издержек на реализацию оперативной передачи производственных данных в рамках обеспечения возможности удаленного диспетчерского управления технологическими процессами достаточно эффективным решением является применение систем радиосвязи [5]. Для систем типа «точка – многоточка», характерных для объектов нефтедобычи, необходима организация множественного доступа для распределения информационного ресурса. Среди таких методов выделяют статические, случайные и комбинированные [8]. Для систем с высокими требованиями к быстродействию и с большим числом низкоскоростных терминалов, генерирующих пульсирующий трафик, предпочтительно использование методов случайного доступа. Однако недостатком таких методов является отсутствие «гарантированного» времени доставки данных – из-за наличия коллизий при одновременной передаче пакетов от абонентских станций и некоторой задержки перед передачей пакета [20]. Хотя методы устранения указанных недостатков и обсуждаются в специальной литературе [1, 2, 7, 10, 11, 15, 16, 21, 23], но ряд практически важных направлений остается исследованным недостаточно полно. Поэтому цель данной статьи – анализ адаптационных алгоритмов, позволяющих управлять объемом передаваемых производственных данных при различных условиях протекания технологического процесса.

Методы снижения числа коллизий при случайном доступе. Многие такие методы направлены на увеличение скорости передачи информации [10]. При этом применяются специальные меры по повышению достоверности и помехоустойчивости при передаче сигналов: специального кодирования [11, 16]; разграничения полосы частот [2, 9]; использования нескольких радиоантенн [15, 21]; оптимального выбора характеристик беспроводных сетей [1, 7]. Дополнительно развиваются новые протоколы и методы, снижающие риск возникновения коллизий. Одними из наиболее распространенных в сетях беспроводного доступа являются протоколы стандарта IEEE 802.11 с «режимом распределенной координации» (Distributed Coordination Function). Они реализуют обнаружение несущей частоты и предотвращение коллизий – CSMA / CA (CarrierSenseMultipleAccesswithCollisionAvoidance) [8, 23]. Протокол CSMA / CA позволяет уменьшить число коллизий по сравнению с другими протоколами, в которых механизм обнаружения несущей не используется. Однако в системе радиосвязи объектов нефтедобычи, состоящей из базовой и нескольких абонентских станций (рис. 1), как правило, отсутствует полная связность среды (так называемая «проблема скрытых станций»). Это не позволяет полноценно «прослушивать» эфир.

Для подобных ситуаций разрабатываются дополнительные методы: механизм RTS / CTS (Request To Send / Clear To Send), а также его модификации [23]; различные алгоритмы управления параметрами протокола случайного множественного доступа [11]; сочетания с комбинированными методами [20] на основе централизованной функции координации (Point Coordination Function), расширенной функции распределенной координации (Enhanced DCF), гибридной функции координации (Hybrid Coordination Function), многостанционного доступа с кодовым разделением каналов и прямым расширением спектра (DS-CDMA) и т.д.

Однако эти методы не решают полностью проблему перегруженности трафика при одновременном большом количестве событий производственного процесса, заявок на пере-

дачу служебного трафика с различных абонентских станций, а также при ухудшении условий передачи данных (включая увеличение зашумленности канала).

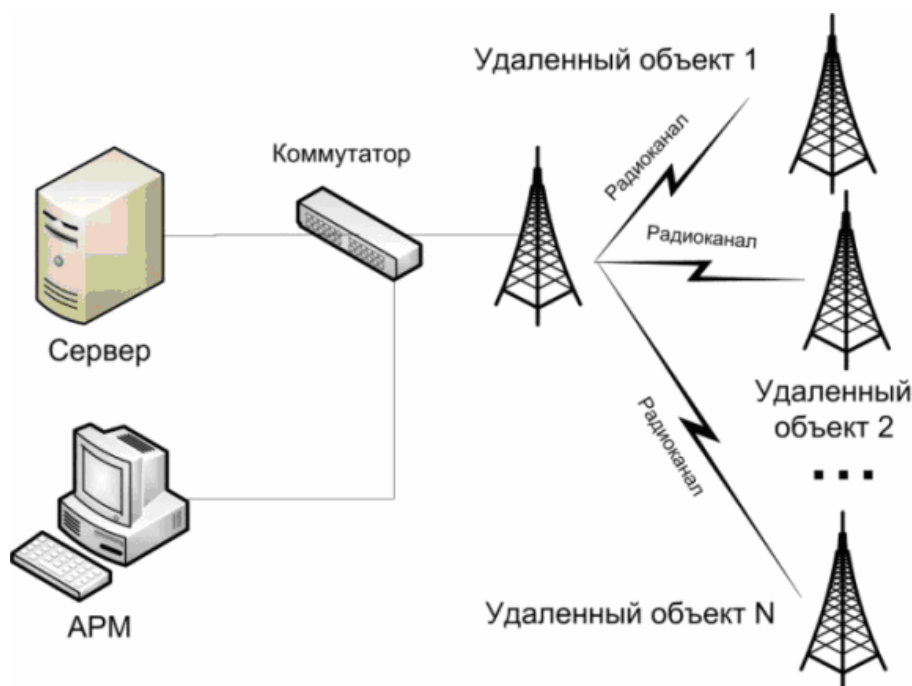


Рис. 1. Типовая структура организации радиосвязи на объектах нефтедобычи

Поэтому в практике проектирования ОАО «ТомскНИПИнефть» сложился следующий порядок работ: после определения структуры сети связи, расчета качественных показателей каналов связи (посредством специализированного программного обеспечения) и определения требований к характеристикам трафика (например, по допустимой задержке), делается запрос производителям оборудования радиосвязи. Они на основании собственных оценочных методик определяют максимально допустимое значение загруженности и соответствующее ему значение скорости передачи данных для проектируемой сети. Затем уточняется соответствие характеристик рассматриваемого оборудования требованиям процесса передачи информации. Для выполнения этих требований в проекты зачастую приходится закладывать оборудование с избыточными характеристиками, что обеспечивает очень большой резерв по необходимому информационному ресурсу системы. В связи с этим является актуальной задача адаптивного управления непосредственно объемом передаваемых данных – для достижения необходимых значений загруженности сети и достоверности передачи производственных параметров технологического процесса.

Событийная передача данных для управления объемом трафика. Для реализации управления объемом передачи данных является целесообразным использование событийного подхода. Событийные протоколы, как правило, позволяют существенно сократить количество передаваемых данных и потому рекомендуются многими производителями систем телемеханики для более эффективного использования каналов связи [14, 19]. Название «событийные» связано с тем, что один или несколько режимов работы протоколов (например, спорадический) предполагает передачу только тех данных, которые изменились. Для непрерывных сигналов (телеизмерений) устанавливается порог чувствительности к изменениям значения его величины относительно предыдущего замера – апертура. Дополнительно по событийным протоколам возможна передача информации по запросу с диспетчерского пункта.

Автором был проведен анализ динамики сетевого трафика на основе реальных ретроспективных данных для одного из нефтедобывающих предприятий Западно-Сибирского региона. Основными технологиями добычи нефти на месторождениях предприятия являются фонтанный способ и добыча с помощью электроцентробежных погружных насосов (эти способы типовые для региона). Проведенное исследование охватило 10 типов дискретных и 28 типов непрерывных сигналов. Для результатов измерений (сигнализаций) по каждому параметру отметим следующее: они были проанализированы для достаточного количества однотипных объектов, различных по характеристикам и свойствам технологических процессов; были использованы результаты для нескольких (не менее 3-х) длительных (по 24 ч) периодов измерений, разнесенных во времени; дискретность проведения измерений составляла 1 с. Анализ показал, что сетевой трафик системы телемеханики генерируется в основном за счет передачи технологических данных телеизмерений. Дополнительный трафик диагностической и / или служебной информации, а также телесигнализаций слабо влияют на загруженность каналов связи – из-за низкой частоты передачи (в среднем не более 4–6 раз в сутки).

При анализе сетевого трафика учитывалось следующее: в настоящее время автоматизированные системы управления в нефтедобыче реализуют ограниченное управление процессами без применения сложных алгоритмов (многоконтурных, адаптивных и пр.); управляющие воздействия в автоматическом режиме реализуются на локальном уровне без централизованного управления и не учитывают процессы на других объектах нефтедобычи. Например, в системе поддержания пластового давления значение рабочего давления нагнетания в нефтяной пласт устанавливается в широком диапазоне в зависимости от показателя приемистости пласта нефти (давления пласта) и номинального рабочего давления запорной арматуры. Регулирование давления нагнетания происходит с помощью электроприводных или механических штуцеров операторами в ручном (дистанционном или местном) или в автоматическом режиме. При этом изменение параметров регулирования на одной скважине не учитывает последствия такого регулирования для остальных объектов. Такой подход связан в первую очередь с высокой стоимостью комплексных решений, а также нехваткой специалистов-технологов, ориентирующихся в вопросах современных информационных технологий и способных применять комплексные модели управления. Причины такой ситуации – отсутствие в РФ достаточного опыта использования алгоритмов комплексного управления; недостатки централизованной системы профессиональной подготовки специалистов [3].

Из-за ограниченных возможностей управления пластовым давлением динамика изменения непрерывных сигналов на объектах нефтедобычи является в общем случае слабопредсказуемой. При этом для различных видов сигналов интенсивности их изменений, а следовательно, и необходимой частоты передачи данных, могут существенно отличаться.

Наиболее важные параметры, влияющие на объем трафика, – апертуры телеизмерений. Их значения для каждого из параметров должны определяться индивидуально. При установлении апертуры должны учитываться как расчетные возможности каналов связи, так и требования к достоверности передачи данных. Характеристики каналов связи изменяются во времени из-за различных помех, а также стохастических факторов, влияющих на протекание технологических процессов. При таких условиях целесообразно динамическое установление значений апертур телеизмерений в зависимости от внешних условий.

Анализ факторов, определяющих значения апертур. В [4] определены основные параметры, влияющие на устанавливаемые значения апертур; впервые предложено использование «двух уровней апертуры» – в качестве их граничных значений целесообразно использовать показатели достоверности (точности) телеизмерений.

Ниже будем использовать такие обозначения: $x_i(t) \in X(t)$ – непрерывная функция изменения i – параметра в составе множества всех n контролируемых системой параметров телеизмерений $X(t) = \{x_i(t) \dots x_n(t)\}$; $x_i(t_{\text{мек}}) \in X(t)$ – значение i -го параметра в текущий мо-

мент времени $t = t_{\text{тек}}$ (на момент последнего такта обработки данных); $x_i(t_o) \in X(t)$ – последнее значение i -ого параметра $x_i(t)$, которое было отправлено на диспетчерский уровень в момент времени $t = t_o$; $x_i(t_o) \in X(t)$ – последнее значение i -ого параметра, которое было добавлено в блок данных с возможностью отложенной отправки в момент времени $t = t_o$.

В таблице 1 даны предлагаемые автором ориентировочные значения показателей для основных параметров телеизмерений.

Достоверность ($s_{\text{до}}$ (x_i)) для i -ого параметра сохранения значений измерений (x_i) в базе данных (БД) – абсолютная или относительная. Она определяется бизнес-задачами и методиками анализа системы.

Точность визуализации ($s_B(x_i)$) для i -ого параметра на видеокадре диспетчера – абсолютная или относительная. Эта точность определяется целесообразностью оперативной отправки данных для обновления информации на видеокадре диспетчера (с учетом правил округления данных и необходимой точности представления информации). Например, $s_B(x_i)$ можно установить равным половине единичного значения последнего значащего разряда (десятичная система счисления) для i -ого параметра. Количество разрядов обычно небольшое (для удобства восприятия оператором), но достаточное для полноценного контроля за процессом.

Допустимая погрешность ($\delta(x_i)$) технического средства измерения для i -ого параметра – абсолютная или относительная. Значения погрешностей средств измерений в таблице 1 приведены типовые – в соответствии с требованиями [14]. Обозначения погрешностей: П.П. – приведенная, А.П. – абсолютная, О.П. – относительная.

Таблица 1

Ориентировочные значения показателей точности телеизмерений при нефтедобыче

Параметр телеизмерения	$s_{\text{до}}$	s_B	δ
Давление	0,001 МПа	0,005 МПа	П.П. $\pm 0,5\%$ (0,005–0,0125 МПа)
Температура	0,025 $^{\circ}\text{C}$	0,05 $^{\circ}\text{C}$	А.П. $\pm 1,0$ $^{\circ}\text{C}$
Загазованность	0,025 %	0,05 %	О.П. $\pm 5,0\%$ (5,0 %)
Расход нефти (объем)	0,1 м ³ /сут	0,5 м ³ /сут	О.П. $\pm 1,0\%$ (0,5–7 м ³ /сут)
Уровень	0,1 мм	0,5 мм	А.П. $\pm 5,0$ мм
Оперативный учет жидкости	0,025 м ³ /ч	0,05 м ³ /ч	О.П. $\pm 2,5\%$ (1–5 м ³ /ч)
Оперативный учет газа	0,1 м ³ /ч	0,5 м ³ /ч	О.П. $\pm 5,0\%$ (50–500 м ³ /ч)
Обводненность	0,025 %	0,05 %	А.П. $\pm 2,5\%$
Плотность	0,0025 кг/м ³	0,005 кг/м ³	А.П. $\pm 0,1$ кг/см ³
Суточный массовый расход	0,1 т/сут	0,5 т/сут	О.П. $\pm 0,25\%$ (0,5–1 т/сут)
Ток	0,1 А	0,5 А	О.П. $\pm 5\%$ (18–25 А)
Напряжение	0,1 В	0,5 В	О.П. $\pm 5\%$ (18–25 В)
Частота	0,1 Гц	0,5 Гц	О.П. $\pm 1\%$ (0,5 Гц)

При определении границ изменения значений апертур для i -ого параметра удобно приводить их к абсолютным величинам с теми же единицами измерений, что и для самого параметра. Разные значения $s_B(x_i)$ и $s_{\text{до}}(x_i)$, а также использование метки времени при формировании блока данных определяют возможность использования блочной спорадической передачи информации на основе двух уровней апертуры.

Апертурой первого уровня $\Delta_1(x_i)$ измеряемого параметра $x_i(t)$ называется абсолютное или относительное значение порога чувствительности параметра $x_i(t)$ к изменениям

значения его текущей величины $x_i(t_{мек})$ относительно последнего отправленного значения $x_i(t_o)$, $t_{мек} > t_o$, при достижении которого необходима спорадическая передача данных (СПД) $x_i(t_{мек})$ на диспетчерский уровень без возможности отложенной отправки, т.е. при $t > t_{мек}$, причем $s_B(x_i) \leq \Delta_1(x_i) \leq \delta(x_i)$. Апертура второго уровня отличается от апертуры первого уровня тем, что допускает возможность отложенной отправки. Однако запаздывание отложенной отправки должно быть по возможности минимальным с целью отслеживания тренда телеизмерения на мониторе диспетчера с максимально высокой достоверностью (актуальностью). На рисунке 2 наглядно показана разница между апертурами двух уровней.

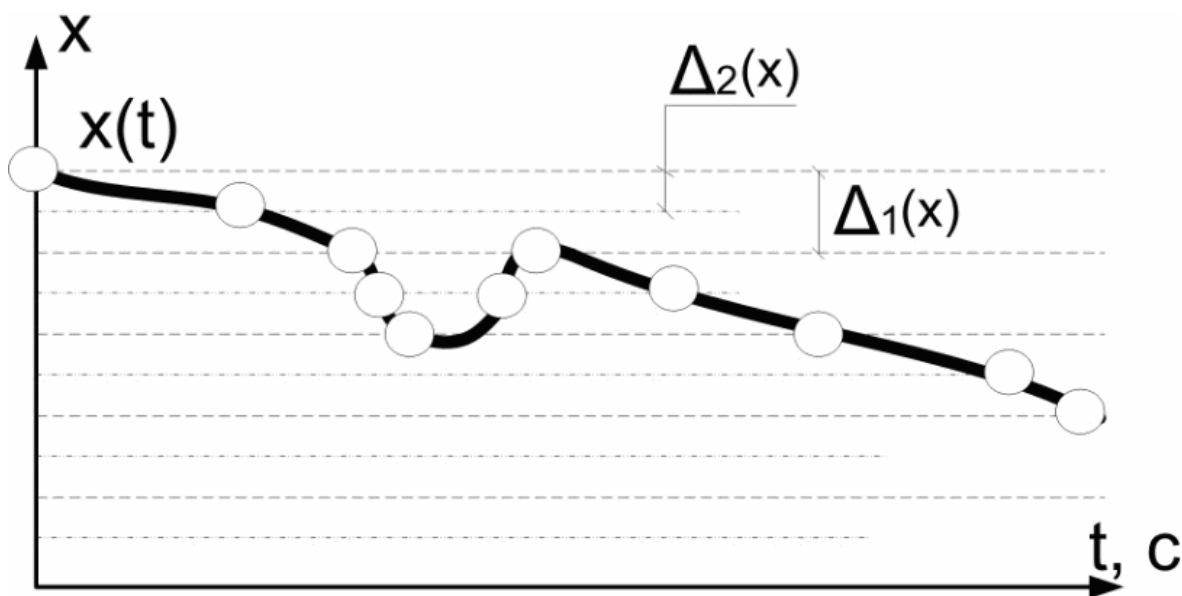


Рис. 2. Графическое представление двух уровней апертур

При пересечении линий (не более одного раза подряд) значением контролируемого параметра $x(t)$ происходит добавление текущего значения в блок передачи данных (для Δ_2), либо срочная передача текущего значения в диспетчерский пункт (для Δ_1). Алгоритм формирования блока данных прикладного уровня для отправки на диспетчерский уровень для архивирования и визуализации параметров был рассмотрен в [4].

В задаче управления потоками производственных данных приходится решать задачи, связанные с выбором наиболее «подходящих» значений апертур — при учете влияния внешней среды и характеристик оборудования. Такой выбор осуществляется в условиях многокритериального и конфликтного поведения системы с большим количеством параметров телеизмерений (в среднем порядка 100 на каждый объект); при наличии стохастических факторов, влияющих на протекание технологических процессов, а также различных ограничений на работу оборудования. Такая задача относится к классу многокритериальных оптимизационных и требует использования сложной математической модели, причем каждый показатель системы оценивается своим целевым функционалом. Их формирование и определение критериев оптимальности играет ключевую роль при управлении производственными потоками данных. Отдельное направление — исследование методологии решения оптимизационной задачи в условиях ограничения вычислительных ресурсов системы сбора, обработки и передачи нефтепромысловой информации с контроллеров. В технических зада-

ниях на системы автоматизации встречаются, в частности, требования по ограничению загрузки центрального процессорного устройства (ЦПУ), например: «Максимальная загрузка ЦПУ должна составлять не более 70 % его производительности, при средней загрузке ЦПУ 60 % и менее». В данной статье основной упор делается на решение задачи при такого рода ограничениях. В последующих работах предполагается подробно рассмотреть следующее: формальное обоснование предлагаемых критериев оптимальности; методы сведения многокритериальных задач оптимизации к однокритериальным за счет использования некоторых «интегральных» критериев.

Критерии оптимальности определения апертур. По результатам анализа ретроспективных данных нефтедобывающего предприятия автором установлено, что для значительной части времени наблюдения за контролируемыми непрерывными параметрами справедливо относительно монотонное увеличение или уменьшение скорости их изменения. Поэтому оправдано использование методологии, основанной на прогнозировании величины загрузки канала связи по текущей динамике изменения непрерывных параметров.

Критерии оптимальности определения апертур определяются необходимостью решения следующих двух задач: (1) поддержание достоверности (точности) передачи данных на максимально возможном уровне; (2) поддержание загрузки каналов связи на допустимом уровне (не выше заданного). Для формального определения критериев необходимо оценить влияние факторов, установленных в [4], на значения апертур. Для уменьшения вычислительной сложности алгоритмов автором предлагается использование относительных (нормализованных) значений апертур для всех параметров $x_i(t)$:

$$\Delta_{rel}(x_i) \equiv \bar{\Delta}_{rel} k_m(x_i) = (\Delta(x_i) - \Delta_{\min}(x_i)) / (\Delta_{\max}(x_i) - \Delta_{\min}(x_i)), \quad (1)$$

где $\Delta_{\max}(x_i) = \delta(x_i)$; $\Delta_{\min}(x_i) = s_B(x_i)$ для апертуры первого уровня; $\Delta_{\min}(x_i) = s_{\delta\delta}(x_i)$ для апертуры второго уровня; $k_{m1(2)}(x_i)$ – индивидуальный масштабирующий коэффициент для апертуры первого (второго) уровня параметра $x_i(t)$; $\bar{\Delta}_{rel}$ – относительное обобщенное значение апертуры; $\Delta_{rel}(x_i)$ – относительное значение апертуры параметра $x_i(t)$.

Уточненное вычисление значений $\Delta_{rel}(x_i)$ по каждому телеизмерению можно реализовать с помощью масштабирующих коэффициентов в завершающей части алгоритма:

$$k_{m1}(x_i) = 1 / (p(x_i)(1 + f(\eta) - f(x_i) + k_\delta + k_r)), \quad (2)$$

$$k_{m2}(x_i) = 1 / (p(x_i)(1 - f(x_i) + k_\delta + k_r)), \quad (3)$$

где n – количество контролируемых параметров телеизмерений; $f(\eta)$ – функция, значение которой определяется в зависимости от близости текущего значения параметра $x_i(t)$ к критическому значению – η ; $f(x_i)$ – функция, значение которой определяется в зависимости от скорости изменения параметра $x_i(t) - x'_i(t)$; k_α – коэффициент, устанавливаемый в зависимости от возникновения связанного события; $p(x_i)$ – вес, определяющий меру значимости контроля параметра $x_i(t)$. Величина $f(\eta)$ не влияет на точность сохранения в БД и поэтому не учитывается в (3).

Таким образом, критерии оптимальности поддержания точности передачи данных на максимально возможном уровне определяются относительными обобщенными значениями апертур:

$$\bar{\Delta}_{rel1} \rightarrow \min; \bar{\Delta}_{rel2} \rightarrow \min \quad (4)$$

с ограничением:

$$\bar{\Delta}_{rel1(2)}(x_i) \in \{0 \dots 1\}. \quad (5)$$

Ограничение загрузки канала связи на j -ом контролируемом объекте определяется величиной рассогласования с допустимым значением и имеет вид:

$$\Delta L^j = L_{sub}^j - (Q_{data}^j(\Delta_{1,2}(x_i)) + Q_{serv}^j(\Delta_{1,2}(x_i))) \geq 0, \quad (6)$$

где для установленного периода: L_{sub}^j – допустимая загрузка (бит / с) канала связи для передачи производственной информации на j -ом контролируемом объекте; $Q_{data}^j(\Delta_{1,2}(x_i))$ – объем технологической информации (бит / с) на j -ом контролируемом объекте; $Q_{serv}^j(\Delta_{1,2}(x_i))$ – объем служебной информации (бит / с) на j -м контролируемом объекте протокола связи.

Объем технологической информации, формируемой из телеизмерений, определяется выражением:

$$Q_{data}^j = \Delta t \left(\sum_{i=1}^n V_{x_i} ((x'_i P(\Delta_2, x_i)) / \Delta_2(x_i) + v(\Delta_1(x_i))) \right),$$

где n – количество контролируемых параметров телеизмерений; V_{x_i} – объем (бит) величины телеизмерения $x_i(t)$ в составе пакета данных; x'_i – скорость изменения величины телеизмерения $x_i(t)$; Δt – установленный промежуток времени, за который измеряется средний объем передачи данных для оценки загрузки канала связи; $P(\Delta_2, x_i)$ – вероятность передачи $x_i(t)$ с возможностью отложенной отправки; $v(\Delta_1(x_i))$ – средняя частота передачи величины телеизмерения $x_i(t)$ из-за достижения апертуры первого уровня в течение времени Δ_1 .

Для вычисления средней частоты СПД телеизмерения $x_i(t)$ – $v(\Delta_1(x_i))$ необходимо определить время, через которое нужно выполнить передачу телеизмерения $x_i(t)$ в связи с достижением апертуры первого уровня или добавление $x_i(t)$ в блок данных с возможностью отложенной отправки. Время для первого варианта зависит от скорости изменения параметра $x_i(t)$ и от абсолютного значения апертуры первого уровня. Это время может быть вычислено по формуле $\tau_{\Delta_1}(x_i) = \Delta_1(x_i) / x'_i$.

С другой стороны, за это время может быть отправлено некоторое количество блоков данных. Если будут передаваться только полные блоки данных без прерываний из-за достижения $\Delta_1(x_j)$ любым из параметров $x_j(t)$, то количество отправленных блоков за это время будет минимально. Объем всех значений телеизмерений, требующих внесения в блок данных в течение времени τ_{Δ_1} определяется выражением: $q(\tau_{\Delta_1}) = \sum_{j=1}^n V(x_j) x'_j \tau_{\Delta_1} / \Delta_2(x_j)$ при условии равномерных изменений телеизмерений, т.е. $x'_j = const$. Тогда в течение времени $\tau_{\Delta_1}(x_i)$ может быть передано количество полных блоков данных прикладного уровня: $z_1(x_i) = q(\tau_{\Delta_1}) / Length_{req}$, где $Length_{req}$ – рекомендуемая длина блока данных.

Аналогично время, через которое необходимо заносить телеизмерение $x_i(t)$ в блок данных из-за достижения апертуры второго уровня может быть вычислено по формуле $\tau_{\Delta_2}(x_i) = \Delta_2(x_i) / x'_i$.

В течение этого времени может быть передано количество полных блоков данных прикладного уровня, вычисляемое: $z_2(x_i) = q(\tau_{\Delta_2}) / Length_{req}$.

На рисунке 3 представлена условная диаграмма формирования блоков данных, которая отражает распределение параметров телеизмерений в соответствии с течением технологического процесса. Порядок добавления информации в блок данных с непоследовательной очередностью характеризует формирование блока только в соответствии с протеканием процесса и динамикой достижения измеряемыми величинами значений апертур.

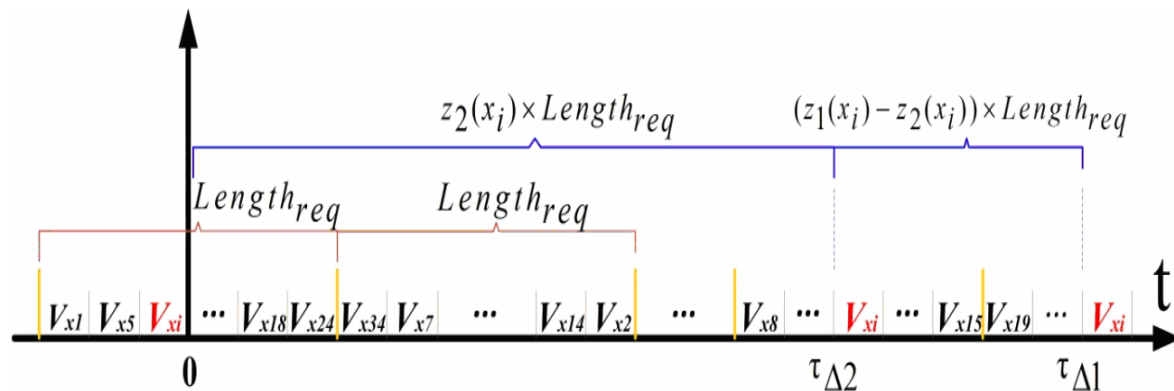


Рис. 3. Диаграмма формирования блоков данных

Под обозначением V_{x_j} , $j = \{1 \dots n\}$ на диаграмме условно подразумевается вся информация о параметре, включаемая в блок данных прикладного уровня при достижении апертюры. Это означает, что V_{x_j} включает как само значение телеизмерения V_{x_j} , так и дополнительные сведения, например, метку времени и тэг (рис. 4).



Рис. 4. Структура блока данных прикладного уровня (IEC 60870-5-104)

В зависимости от событийного протокола к сформированному блоку данных добавляется дополнительный заголовок приложения. На рисунке 4 изображена структура блока данных прикладного уровня протокола IEC 60870-5-104, где серым цветом выделен объем, занимаемый блоками данных. Таким образом, каждое телеизмерение занимает в блоке данных 13 байт. Очевидно, что наиболее рациональное использование каналов связи будет достигаться при отправке «полных» блоков данных, равных по размеру величине $Length_{req}$. Это условие выполняется при:

$$\Delta z(x_i) = z_1(x_i) - z_2(x_i) \geq 1, \forall x_i, i = \{1 \dots n\}, \quad (7)$$

т.е. когда значение параметра x_i , включаемое в блок данных при изменении на величину $\Delta_2(x_i)$, однозначно не будет включено в тот же блок данных, что и значение этого параметра, помещенное в блок для срочной отправки при изменении на величину $\Delta_1(x_i)$.

Если $\Delta z(x_i) = z_1(x_i) - z_2(x_i) < 1$, $\forall x_i, i = \{1 \dots n\}$, то есть вероятность, что блок данных не успеет заполниться и передаться до того момента, когда изменение $x_i(t)$ достигнет значения $\Delta_1(x_i)$. Причем чем меньше значение $\Delta z(x_i)$, тем выше эта вероятность. При $\Delta z(x_i) = 0$ эта вероятность равна 1.

Вероятность того, что значение $x_i(t)$ в момент времени $\tau_{\Delta 1}$ будет добавляться в тот же блок, в который было добавлено значение этого параметра в момент времени $\tau_{\Delta 2}$, вычисляется по $P(\Delta z, x_i) = 1 - \Delta z(x_i) | \Delta z(x_i) < 1$. Очевидно, что $P(\Delta_2 x_i) = 1 - P(\Delta z, x_i)$.

Сложность расчета средней частоты $\nu(\Delta_1(x_i))$ связана с оценкой влияния других параметров $(x_j(t), i \neq j)$. Поэтому расчет выполняется в несколько этапов с помощью специально разработанного алгоритма.

В частном случае, когда другие параметры существенным образом не влияют на оценку средней частоты $\nu(\Delta_1(x_i))$, ее значение может определяться выражением:

$$\nu(\Delta_1, (x_i)) = \begin{cases} P(\Delta z, x_i) x_i / \Delta_1(x_i) | \Delta z(x_i) < 1; \\ 0 | \Delta z(x_i) \geq 1. \end{cases}$$

Наконец, объем служебной информации Q_{serv}^j в выражении (6) за установленный период времени вычисляется по $Q_{serv}^j = V_{serv} N_{ASDU}$; где V_{serv} – объем (бит) служебной информации в блоке данных; N_{ASDU} – количество блоков данных.

Необходимое количество блоков данных определяется выражением:

$$N_{ASDU} = Q_{data}^j / Length_{req} k_{fill},$$

где $k_{fill} \in \{0 \dots 1\}$ – коэффициент средней заполняемости блоков данных. Он вычисляется по

$$k_{fill} = Q_{data}^j / Q_{data}^j + 0,5 \times Length_{req} \times \sum_{i=1}^n (\nu(\Delta_1(x_i))).$$

Таким образом, количественные значения критериев оптимальности определения апертур определяются условием (4) при ограничениях (5), (6). Решение задачи поиска величин апертур может выполняться одним из известных способов оптимизации [17]. Для всех методов оптимизации существует проблема – значительное время вычислений в случае векторов большой размерности. Однако более точные методы часто работают слишком медленно и потому малоприменимы для использования в системах реального времени с невысокими вычислительными возможностями (характерно для применяемых средств управления). Поэтому для установления величин апертур телеизмерений предлагается использование методологии, позволяющей избежать чрезмерно большого объема вычислений – нечеткой логики [18, 24]. Существует много методов реализации управления, основанных на нечеткой логике. Автором работы предлагается использование алгоритма нечеткого вывода Мамдани. Он сейчас получил, пожалуй, наибольшее практическое применение в задачах нечеткого моделирования [18].

Алгоритм нечеткого вывода определения апертур телеизмерений. При реализации алгоритма нечеткого вывода на основе установленных критериев оптимальности и ограничений необходимо определить их взаимное влияние. Противоречивость критериев оптимальности (4) с учетом ограничения (6) может заключаться в необходимости выполнения

также условий (7). При этом величина z_2 ($\bar{\Delta}_{rel2}$) должна быть в любом случае как можно меньше, а величина z_1 ($\bar{\Delta}_{rel1}$) может быть определена исходя из самого условия (7) на основании z_2 . В этом случае наиболее целесообразно использование метода главного критерия $\bar{\Delta}_{rel2} \rightarrow Min$ [17].

Тогда выполнение $\bar{\Delta}_{rel1} \rightarrow Min$ можно реализовывать после определения $\bar{\Delta}_{rel2}$. Для определения каждого из значений $\Delta_{rel1}(x_i)$, $\Delta_{rel2}(x_i)$ алгоритм Мамдани описывает несколько типовых последовательно выполняемых этапов. В данном случае нечеткий алгоритм реализует поиск отклонений ($d\Delta_{rel1}(x_i)$, $d\Delta_{rel2}(x_i)$) от предыдущих значений $\Delta_{rel1}(x_i)$, $\Delta_{rel2}(x_i)$ для достижения более хороших значений. На рисунке 5 показана последовательность выполнения этапов на примере поиска $d\Delta_{rel2}(x_i)$.

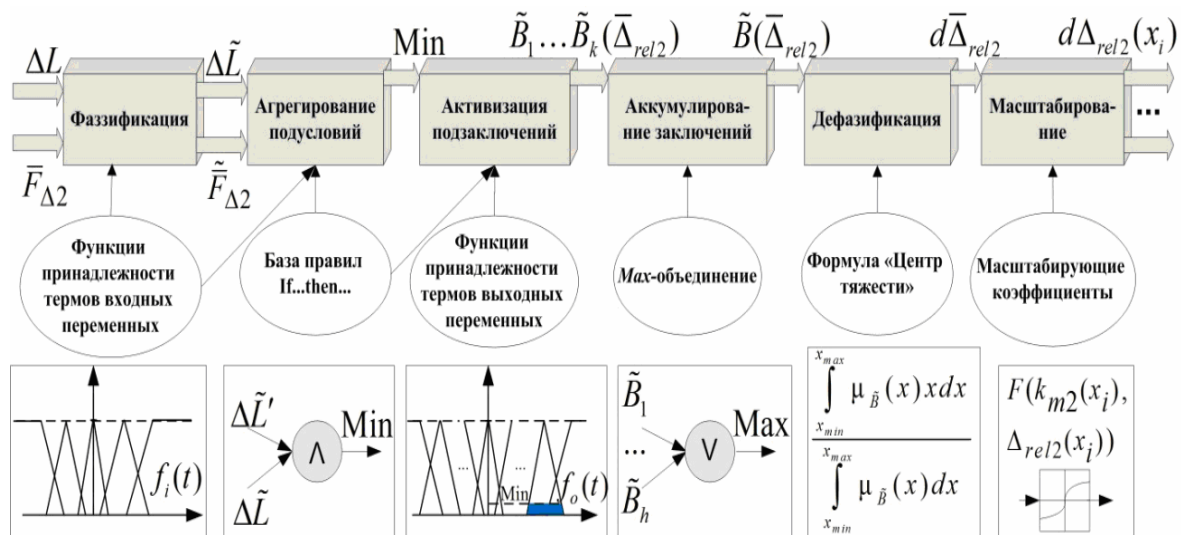


Рис. 5. Этапы формирования нечеткого вывода значений изменения апертур

Этап фаззификации предполагает преобразование четкого значения входной переменной в нечеткое множество входных лингвистических переменных. *Лингвистической переменной* [18] (*linguistic variable*) называется переменная, значениями которой могут быть слова или словосочетания некоторого естественного или искусственного языка (термы). Каждый терм формализуется нечетким множеством (функцией принадлежности). Например, для входной лингвистической переменной: *рассогласование с требуемым значением загрузки* – функция принадлежности ее термов (*отрицательная большая; отрицательная средняя; отрицательная малая; положительная малая; положительная средняя; положительная большая*) представлена на рисунке 6. В результате фаззификации определяются нечеткие величины входных переменных.

В классическом подходе [24] нечеткой логики решение задается пересечением нечетких множеств цели и ограничений. Поэтому при определении входных переменных необходимо учитывать (4), (5), (6). Дополнительно следует учитывать усредненные текущие размеры апертур параметров $x_i(t)$, причем взвешенные с использованием коэффициентов (2), (3). Это позволит учесть текущие значения апертур и динамику технологических процессов.

В качестве входных данных нечеткой системы определения $d\bar{\Delta}_{rel2}$ для выполнения главного критерия автором были выбраны такие параметры:

(А) величина рассогласования ΔL^j с допустимым значением L_{sub}^j , определяемая согласно (6);

(В) величина $\bar{F}_{\Delta 2} = \sum_{i=1}^n (\Delta_{rel2}(x_i)) / nk_{m2}(x_i)$, определяемая в соответствии с (3) и учитывающая размеры апертур второго уровня, а также динамику технологических процессов.

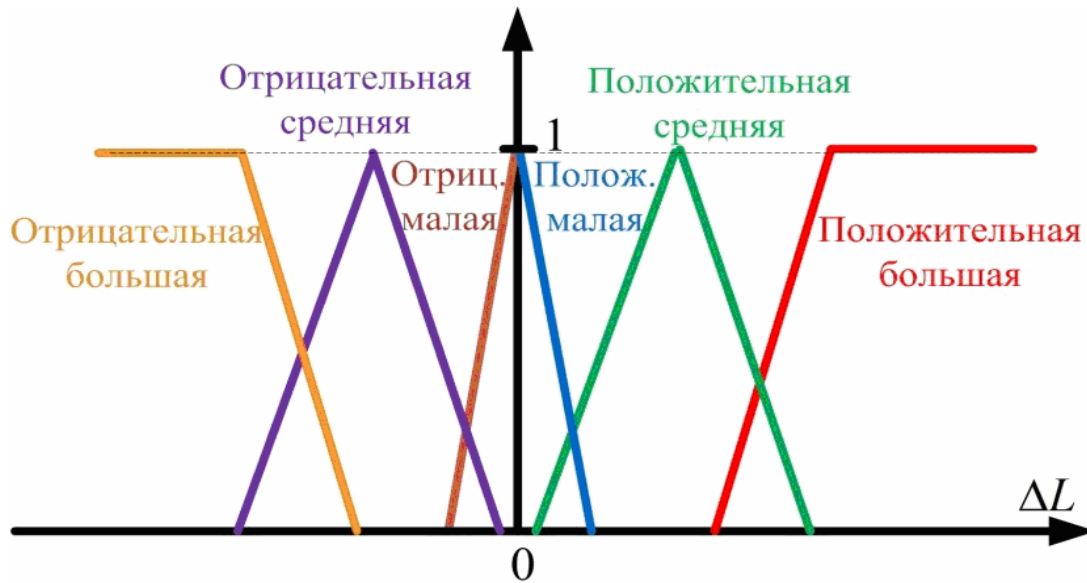


Рис. 6. Функция принадлежности термов $\Delta L(t)$

При определении $d\bar{\Delta}_{rel1}$ на основе уже установленного значения $\bar{\Delta}_{rel2}[mT]$ необходимо учитывать усредненную величину степени выполнения условия (7), определяемую выражением $\Delta\bar{z} = 1/n \times \sum_{i=1}^n (z_1(x_i)[mT-1] - z_2(x_i)[mT])$, где $[mT]$, $[mT-1]$ – текущий и предыдущий моменты времени, отражающие дискретность (с периодом T) выполнения алгоритма вычислительным устройством (контроллером).

Тогда в качестве входных данных нечеткой системы определения $d\bar{\Delta}_{rel1}$ автором предлагается использовать следующий набор показателей:

(1) величину рассогласования ΔL^j с допустимым значением L_{sub}^j , определяемую согласно (6);

(2) величину $\bar{F}_{\Delta 1} = \sum_{i=1}^n (\Delta_{rel1}(x_i)) / nk_{m1}(x_i)$, определяемую с учетом (2) и учитывающую размеры апертур первого уровня, а также динамику технологических процессов;

(3) величину $\Delta\bar{z}$, которая показывает усредненное значение разницы между значением $z_1(x_i)$ относительно величины $\Delta_2(x_i)$, определенной в предыдущий период $[mT-1]$, и значением $z_2(x_i)$ относительно величины $\Delta_2(x_i)$, уже определенной в текущий период $[mT]$.

На этапе *агрегирования подусловий* устанавливается мера истинности условий для каждого из правил нечеткой системы. Сформированная база правил необходима для формализации эмпирических знаний технологов, инженеров, операторов в виде *нечетких продукционных правил*. Она содержит знания экспертов (специалистов) о способах управления объектом в различных режимах, характере его функционирования в различных условиях.

Формально *нечеткое продукционное правило* – это выражение вида [12]:

$$(i); E, P, A \Rightarrow B, S, F, N,$$

где (i) – имя нечеткой продукции, E – сфера применения нечеткой продукции, P – условие применимости ядра нечеткой продукции, $A \Rightarrow B$ – ядро нечеткой продукции, в котором A – условие ядра (или антецедент), B – заключение ядра (или консеквент), $\Rightarrow$ – знак логической секвенции или следования, S – метод или способ определения количественного значения степени истинности заключения ядра (*метод активации*), F – коэффициент определенности или уверенности нечеткой продукции, N – постусловия продукции (действия, процедуры). Сфера применения нечеткой продукции E характеризует предметную часть знания. Условие применимости ядра продукции P содержит логическое выражение (предикат). Ядро $A \Rightarrow B$ является основной частью нечеткой базы правил. Нечеткие продукционные правила представляют собой *нечеткую продукционную систему* – относящийся к некоторой предметной области перечень правил «IF A THEN B », где антецеденты ядер правил нечеткой продукции построены при помощи логических связок «И», а консеквенты ядер правил нечеткой продукции простые. Агрегирование подусловий правил нечеткой продукции осуществляется при помощи классической нечеткой логической операции «И» элементарных высказываний $A_1, A_2: T(A_1 \cap A_2) = \min\{T(A_1); T(A_2)\}$.

При *активизации подзаключений* результат вычисления степени истинности условий используется для определения нечетких значений подзаключений, составляющих консеквенты ядер продукционных правил. Активизация подзаключений нечеткой системы реализуется методом Мин-активизации: $\mu(\gamma) = \min\{F; \mu(x)\}$, где $\mu(x)$ – функция принадлежности термов лингвистических переменных.

Аккумуляция заключений предполагает определение функции принадлежности выходных нечетких переменных. При этом происходит объединение результатов предыдущего этапа с целью вычисления функции принадлежности всех выходных переменных при помощи классического для нечеткой логики объединения функций принадлежности: $\mu(B_1 \cup B_2) = \max\{\mu(B_1); \mu(B_2)\}$.

При *дефазификации* формируются четкие значения для каждой выходной переменной, которые используются внешними по отношению к системе нечеткого вывода процедурами – алгоритмом формирования блоков данных [4]. Вычисление количественных значений $d\bar{\Delta}_{rel1,2}$ выходных переменных на основании полученных в результате аккумуляции функций принадлежности $\mu\tilde{B}_{1,2}(x)$ производится методом центра тяжести [12]:

$$d\bar{\Delta}_{rel1,2} = \frac{\int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \mu\tilde{B}_{1,2}(x) x dx}{\int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \mu\tilde{B}_{1,2}(x) dx},$$

где $x_{\min}, x_{\max}$ – границы нечеткого множества соответствующей выходной лингвистической переменной.

На этапе *масштабирования* осуществляется переход от обобщенного значения апертуры соответствующего уровня к конкретным относительным значениям по каждому из параметров телеизмерения. В качестве масштабирующих коэффициентов необходимо использо-

вать поправочные функции, непосредственно учитывающие текущие значения размеров апертур и коэффициенты $k_{m1}(x_i)$, $k_{m2}(x_i)$ согласно (2), (3). Применение подобных масштабирующих коэффициентов позволит более «справедливо» распределять информационный ресурс с учетом текущих значений апертур и условий протекания технологических процессов. Масштабирующие коэффициенты в зависимости от знака изменения значений апертур $d\bar{\Delta}_{rel1,2}$ должны использоваться либо в числителе либо в знаменателе масштабирующего выражения. При определении апертур выражение масштабирования вычисляется по:

$$d\Delta_{rel1,2}(x_i) = \begin{cases} d\bar{\Delta}_{rel1,2} k_{m1,2}(x_i) (1 - \Delta_{rel1,2}(x_i)) d\bar{\Delta}_{rel1,2} \geq 0; \\ d\bar{\Delta}_{rel1,2} d\Delta_{rel1,2}(x_i) / k_{m1,2}(x_i) d\bar{\Delta}_{rel1,2} < 0. \end{cases}$$

После выполнения алгоритма Мамдани текущие относительные значения апертур определяются соотношением:

$$\Delta_{rel1(2)}(x_i)[mT] = \Delta_{rel1(2)}(x_i)[mT-1] + d\Delta_{rel1(2)}(x_i)[mT].$$

Переход к абсолютным значениям апертур осуществляется по (1).

Вычислительные эксперименты и анализ их результатов. Целью экспериментов в конечном счете являлось сравнение характеристик обычного режима событийной (спорадической) передачи с фиксированной апертурой и режима блочной СПД на основе апертур двух уровней при заданных требованиях. Для этого было проведено моделирование работы в обоих режимах с использованием пакета MATLAB – на основе ретроспективных данных технологического процесса. Характеристики режима блочной СПД исследовались для таких вариантов: с динамическими значениями апертур и использованием алгоритма предложенного автором; со статическими значениями апертур.

Основные требования, предъявляемые к модели: (А) возможность исследовать на тестовой последовательности входных данных технологического процесса значение загруженности (на канальном уровне) информационного ресурса базовой станции и сравнить его с заданным рядом максимальных значений – 20, 40, 60 % (0,85; 1,71; 2,56 Мбит / с); (Б) возможность исследовать среднюю относительную погрешность отображения контролируемых параметров в диспетчерском пункте при значениях апертур измерений, указанных в таблице 1.

Разные требования к значению рекомендованной загруженности канала связи базовой станции могут определяться конфигурацией конкретного оборудования; особенностями реализованной сети связи; долей информационного ресурса, предоставленного для передачи технологических данных (с учетом необходимости передачи данных смежных систем по общему каналу – IP-телефонии, видеонаблюдения и т.д.). Поэтому анализ результатов должен отражать качество работы методов при различных ограничениях.

Начальные условия и допущения, принятые при исследовании модели. (1) На прикладном уровне используется событийный протокол IEC 60870-5-104 [6]. (2) На канальном уровне используется фрейм стандарта IEEE 802.11b [23]. (3) Скорость передачи заголовка канального уровня – 2 Мбит / с, данных более высоких уровней – 5,5 Мбит / с. (4) Загруженность сети связи не более допустимого значения предполагает обеспечение требуемых характеристик быстродействия. (5) Расчет учитывает только контролируемые данные, передающиеся со стороны удаленных объектов на диспетчерский пункт и не учитывает управляющие воздействия или дополнительные запросы, передаваемые с диспетчерского пункта. (6) Частота дискретизации обработки (обновления) измерений в контроллере – 100 с⁻¹; (7) Объектами контроля являются 15 площадок нефтяных скважин (по 205 объектов телеизмерений на каждой). (8) Коэффициенты $p(x_i)$ одинаковые для всех $x_i(t)$. (9) Функция $f(\eta)$ увеличивает масштабирующий коэффициент параметра $x_i(t)$ в 1,5 раза при значении теку-

щей скорости $x'_i(t)$, имеющей постоянный знак и устойчиво превышающей среднее значение скорости за период 1 с. (10) Структура блока данных прикладного уровня формируется в соответствии с рисунком 4.

В результате моделирования были определены характеристики исследуемых режимов передачи данных: среднее и максимальное значения загрузки информационного канала базовой станции; средняя относительная погрешность отображения контролируемых параметров в диспетчерском пункте (табл. 2). Средняя относительная погрешность отображения рассчитывалась с помощью усредненной разницы (ошибки) между значениями реального процесса и значениями величин, полученных на основе линейной аппроксимации данных в диспетчерском пункте.

Таблица 2

Характеристики режимов передачи данных по результатам моделирования

Режим передачи данных	Значение апертуры	Загруженность, Мбит / с		Средняя относительная погрешность отображения, %
		Максимальная	Средняя	
Обычный режим СПД при фиксированной апертуре	$S_{БД}$	216,8	19,51	0,02
	S_B	10,59	9,29	0,087
	$3 \times S_B$	3,96	3,19	0,14
	$5 \times S_B$	1,65	1,33	0,86
	δ	0,37	0,27	2,25
Режим блочной СПД при фиксированных апертурах	$S_B, S_{БД}$	2,022	0,34	0,02
Режим блочной СПД при динамическом установлении апертур (при загрузке до 20 %)	$S_B \dots \delta, S_{БД} \dots \delta$	0,85	0,32	0,028
Режим блочной СПД при динамическом установлении апертур (при загрузке до 40 %)	$S_B \dots \delta, S_{БД} \dots \delta$	1,71	0,33	0,02
Режим блочной СПД при динамическом установлении апертур (при загрузке до 60 %)	$S_B \dots \delta, S_{БД} \dots \delta$	2,02	0,34	0,02

Анализ результатов моделирования показал, что использование обычного режима СПД при фиксированных значениях апертур $S_{БД}$ или S_B приводит к существенному превышению максимального значения загрузки канала связи базовой станции. Уменьшение величины загрузки можно реализовать при увеличении значений апертур. Так целевые показатели загрузки 40 и 60 % можно обеспечить, например, при $\Delta = 5 \times S_B$, а показатель 20 % – при $\Delta = \delta$. Однако это повлечет уменьшение достоверности передачи данных при соответствующих средних значениях относительных погрешностей, равных 0,86 и 2,25 %. Режим блочной СПД при фиксированных апертурах значительно уменьшает объем передаваемых данных. Но при максимально точных значениях апертур этот режим не обеспечивает показатели загрузки в пределах 20 и 40 %. Режим блочной СПД при динамическом установлении величин апертур обеспечивает все заданные значения загрузки.

Причем при уменьшении целевого значения максимальной загруженности ресурса базовой станции средняя относительная погрешность отображения данных оставалась на низком уровне, близком к минимальному. На рисунке 7 показаны значения расхода воды в системе поддержания пластового давления (отражающие протекание реального процесса) и значения для сравнения, определяющие отображение процесса в диспетчерском пункте при различных режимах и параметрах передачи данных.

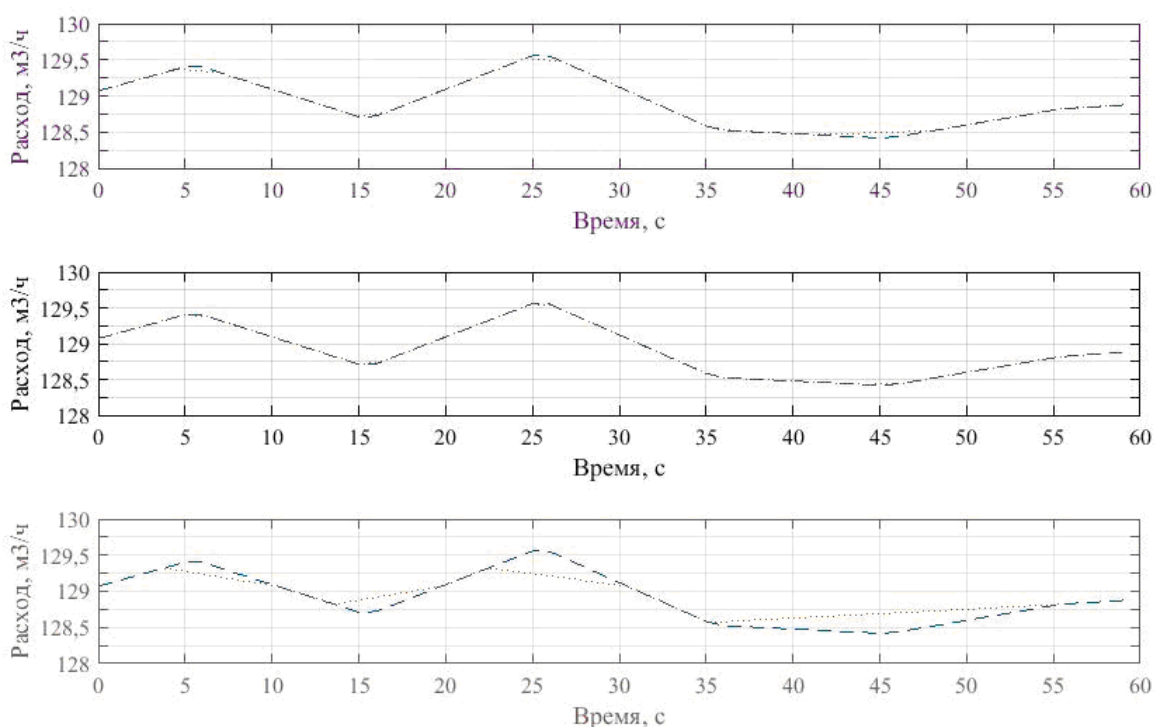


Рис. 7. Сравнение фактических значений расхода воды и результатов, отображаемых на диспетчерских мониторах в различных режимах передачи данных (линиями «- -» и «. .» изображены соответственно фактические и отображаемые значения)

Как видно из графиков, при обычных режимах СПД (верхний и нижний графики) на участках отклонения динамики процесса от линейной зависимости визуально наблюдается ошибка передачи данных, размер которой определяется величиной апертуры. Блочный режим передачи данных с динамическим определением апертур (средний график) позволяет реализовать отображение технологического процесса в диспетчерском пункте с высокой точностью. Визуализация точности отображения при обычном режиме с апертурой полностью аналогична среднему графику, а при блочных режимах с предельной загруженностью 20 и 40 % почти неразличима с ним (поэтому отдельно она не приводится).

Итак, сделаем выводы. 1. Для увеличения быстродействия системы диспетчерского управления распределенными объектами нефтедобычи целесообразно применение протоколов множественного доступа в режиме блочной СПД с динамическим установлением апертур телеизмерений. 2. При жестких ограничениях вычислительных ресурсов контроллеров для определения значений апертур в режиме реального времени целесообразнее использовать методологию нечеткого вывода. 3. Эффективность предложенного метода и разработанных алгоритмов определяется динамикой технологических процессов. Результаты моделирования в среде MATLAB на основании реальных ретроспективных данных показали, что

применение рассмотренной методологии в сочетании с инструментами нечеткой логики позволило обеспечить заданные значения загрузки – в отличие обычных режимов СПД. При этом достоверность формирования БД и наблюдаемость технологического процесса поддерживались на высоком уровне, близком к максимальному – что определяется минимальными значениями апертур.

Список литературы

1. Азизов Р. Ф. Определение оптимальных характеристик алгоритма конкурентного доступа к среде для минимизации времени передачи данных в децентрализованных беспроводных сетях / Р. Ф. Азизов, Д. А. Аминев, С. У. Увайсов, Н. К. Юрков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 1. – С. 139–145.
2. Белов С. П. О возможности повышения помехоустойчивости сигналов с OFDM / С. П. Белов, Д. И. Ушаков // Информационные системы и технологии. – 2011. – № 6 (64). – С. 26–34.
3. Брумштейн Ю. М. ИКТ-компетентность стран, регионов, организаций и физических лиц: системный анализ целей, направлений и методов оценки / Ю. М. Брумштейн, А. Б. Кузьмина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2. – С. 47–63.
4. Зебзеев А. Г. Блочная спорадическая передача данных в системах телемеханики нефтегазодобычи / А. Г. Зебзеев / Тезисы доклада VIII Молодежной Региональной научно-технической конференции. – Томск : ОАО «ТомскНИПИнефть», 2015. – С. 134–136.
5. Зебзеев А. Г. Разработка карты применимости технологий связи для объектов нефтегазовой отрасли / А. Г. Зебзеев, Д. П. Стариков, Е. А. Рыбаков, А. Г. Чернов / Экспозиция Нефть Газ. – 2014. – № 5 (37). – С. 19–22.
6. Золотарев С. В. Некоторые особенности реализации стандарта IEC-60870-5-104 в системе программирования контроллеров ISaGRAF: от теории к практике / С. В. Золотарев // Информатизация и системы управления в промышленности. – 2010. – № 4 (28). – Режим доступа: <http://isup.ru/articles/4/618/> (дата обращения 05.07.2015), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
7. Зяблов Д. С. Электротехнические свойства диапазонов радиоспектра в беспроводных сетях передачи данных / Д. С. Зяблов / Индустрия сервиса в XXI веке : материалы 5-й Международной конференции. – Москва : Московский государственный университет сервиса, 2003. – С. 157–162.
8. Катыгин Б. Г. Алгоритм управления параметрами протокола случайного множественного доступа для повышения коэффициента использования пропускной способности канала сети широкополосного беспроводного доступа / Б. Г. Катыгин // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – № 2 (21). – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/17TVN214.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
9. Климов И. З. Методика формирования ансамблей широкополосных сигналов для увеличения скорости передачи информации / И. З. Климов, А. Н. Копысов, А. М. Чувашов / Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике : труды III Всероссийской научной конференции. – Муром, 2010. – С. 208–213.
10. Колбанов М. О. Модели и методы оценки характеристик обработки информации в интеллектуальных сетях связи / М. О. Колбанов, С. Л. Яковлев. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный университет, 2002. – 288 с.
11. Крейнделин В. Б. Квазиоптимальный алгоритм демодуляции в системах с пространственно-временным кодированием / В. Б. Крейнделин, Л. А. Варукина // Радиотехника. – 2009. – № 4. – С. 11–15.
12. Рубанов В. Г. Интеллектуальные системы автоматического управления нечеткое управление в технических системах / В. Г. Рубанов, А. Г. Филатов, И. А. Рыбин // Электронное пособие. – Режим доступа: <http://nrsu.bstu.ru/> (дата обращения 07.07.2015), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
13. Система телемеханики. Техническое описание. – ООО «Синтек», 2015. – 10 с. – Режим доступа: http://www.sintek-nn.ru/docs/sistematm_15.05.2015.pdf (дата обращения 05.07.2015), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
14. Стандарт Компании ОАО «НК «Роснефть» № ПЗ-04 СД-0038. Автоматизированные системы управления технологическими процессами нефтегазодобычи. Требования к функциональным характеристикам. – 2014. – 163 с.
15. Тимошук Р. С. Оценка влияния корреляции в системах радиосвязи с множественной передачей по технологии MISO / Р. С. Тимошук // Информатика и проблемы телекоммуникаций : мате-

риалы Российской научно-технической конференции. – Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2013. – Т. 1. – С. 135.

16. Умняшкин С. В. Теоретические основы цифровой обработки и представления сигналов / С. В. Умняшкин. – Москва : ИНФРА-М, 2009. – 304 с.

17. Черноруцкий И. Г. Методы принятия решений / И. Г. Черноруцкий. – Санкт-Петербург : Питер, 2005. – 416 с.

18. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – Москва: Горячая линия–Телеком, 2007. – 288 с.

19. Bevin D. Modbus и DNP3: Сравнение эффективности коммуникаций. Обзорная статья / D. Bevin. – Control Microsystems Inc., 2009. – 7 с.

20. Bryan William Plass. Greater sustained throughput and contention elimination in IEEE 802.11 with DS-CDMA/ Bryan William Plass // A thesis submitted to the graduate faculty in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science. – 2011. – 68 p.

21. Chen Li. Multi-input–Multi-output (MIMO) Control System Performance Monitoring Based on Dissimilarity Analysis / Chen Li, Biao Huang, Da Zheng, Feng Qian // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2014. – № 53 (47). – P. 18226–18235.

22. Haley D. Iterative encoding of low-density parity-check codes / D. Haley, A. Gran, J. Buetefer // Proceedings, IEEE Globecom. – October 2002. – P. 2016–2036.

23. Mohand Yazid. Modeling and enhancement of the IEEE 802.11 RTS / CTS scheme in an error-prone channel / Mohand Yazid, Djamil Aissani, Louiza Bouallouche-Medjkoune, Nassim Amrouche, Kamel Bakli // Formal Aspects of Computing. – 2015. – P. 33–52.

24. Zadeh L. A. Toward a Theory of Fuzzy Systems. Aspect Network and System Theory / L. A. Zadeh // Rinehart and Winston. – 1971.

References

1. Azizov R. F., Aminev D. A., Uvaysov S. U., Yurkov N. K. Opredelenie optimalnykh kharakteristik algoritma konkurentnogo dostupa k srede dlya minimizatsii vremeni peredachi dannykh v detsentralizovannykh besprovodnykh setyakh [Determination of optimal performance of the algorithm concurrent access to the medium to minimize the time of data transmission in wireless networks decentralized]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 1, pp. 139–145.

2. Belov S. P., Ushakov D. I. O vozmozhnosti povysheniya pomekhoustoychivosti signalov s OFDM [On the possibility of increasing the noise immunity of signals with OFDM]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii* [Information Systems and Technology], 2011, no. 6 (64), pp. 26–34.

3. Brumshteyn Yu. M., Kuzmina A. B. IKT-kompetentnost stran, regionov, organizatsiy i fizicheskikh lits: sistemnyy analiz tseley, napravleniy i metodov otsenki [ICT competence of countries, regions, organizations and individuals: systematic analysis of the objectives, directions and methods of evaluation]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 2, pp. 47–63.

4. Zebzeev A. G. Blochnaya sporadicheskaya peredacha dannykh v sistemakh telemekhaniki neftegazodobychi [Block sporadic data transmission systems of remote control of oil and gas]. *Tezisy doklada VIII Molodezhnoy Regionalnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Proceedings of the VIII Regional Youth Scientific and Technical Conference], Tomsk, OAO «TomskNIPIneft» Publ., 2015, pp. 134–136.

5. Zebzeev A. G., Starikov D. P., Rybakov Ye. A., Chernov A. G. Razrabotka karty primenimosti tekhnologii svyazi dlya obektov neftegazovoy otrasli [The development of communication technologies applicable card for the oil and gas industry]. *Ekspozitsiya Neft Gaz* [Exposition Oil Gas], 2014, no. 5 (37), pp. 19–22.

6. Zolotarev S. V. Nekotorye osobennosti realizatsii standarta IEC-60870-5-104 v sisteme programmirovaniya kontrollerov ISaGRAF: ot teorii k praktike [Some features of the implementation of the standard IEC-60870-5-104 system controller programming ISaGRAF: from theory to practice]. *Informatizatsiya i sistemy upravleniya v promyshlennosti* [Computerization and Control System in the Industry], 2010, no. 4. Available at: <http://nrsu.bstu.ru/articles/4/618/> (accessed: 05.07.2015).

7. Zyablov D. S. Elektrotekhnicheskie svoystva diapazonov radiospektra v besprovodnykh setyakh peredachi dannykh [Electrical properties of bands of the radio spectrum for wireless data networks]. *Indus-*

trija servisa v XXI veke : materialy 5-y Mezhdunarodnoy konferentsii [Service Industry in the XXI century. Proceedings of the 5th International Conference], Moscow, Moscow State University of Service Publ. House, 2003, pp. 157–162.

8. Katygin B. G. Algoritm upravleniya parametrami protokola sluchaynogo mnozhestvennogo dostupa dlya povysheniya koeffitsienta ispolzovaniya propusknoy sposobnosti kanala seti shirokopolosnogo besprovodnogo dostupa [Control algorithm parameters random multiple access protocol to increase the utilization rate of bandwidth broadband wireless access], *Internet-zhurnal «Naukovedenie»* [Internet Journal "Sociology of Science"], 2014, no. 2 (21). Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/17TVN214.pdf>.

9. Klimov I. Z., Kopysov A. N., Chuvashov A. M. Metodika formirovaniya ansambley shirokopolosnykh signalov dlya uvelicheniya skorosti peredachi informatsii [Methodology of ensembles broadband signals to increase the speed of information transfer]. *Sverkhshirokopolosnye signaly v radiolokatsii, svyazi i akustike : trudy III Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii* [UWB Signals in Radar, Communications and Acoustics. Proceedings of the III All-Russian Scientific Conference], Murom, 2010, pp. 208–213.

10. Kolbanov M. O., Yakovlev S. L. Modeli i metody otsenki kharakteristik obrabotki informatsii v intellektualnykh setyakh svyazi [Models and methods for evaluating the characteristics of information processing in intelligent communication networks]. Saint Petersburg, Saint Petersburg State University Publ. House, 2002. 288 p.

11. Kreyndelin V. B., Varukina L. A. Kvazioptimalnyy algoritm demodulyatsii v sistemakh s prostanstvenno-vremennym kodirovaniem [Quasioptimal demodulation algorithm in systems with space-time coding]. *Radiotekhnika* [Radio Engineering], 2009, no. 4, pp. 11–15.

12. Rubanov V. G., Filatov A. G., Rybin I. A. Intellektualnye sistemy avtomaticheskogo upravleniya. Nechetkoe upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh [Intelligent automatic control system. fuzzy control in technical systems]. Elektronnoe posobie [Electronic Manual]. Available at: <http://nrsu.bstu.ru/> (accessed: 07.07.2015).

13. *Sistema telemekhaniki. Tekhnicheskoe opisanie* [The system of remote control. Technical description], ООО «Синтек» Publ., 2015. 10 p. Available at: http://www.sintek-nn.ru/docs/sistematm_15.05.2015.pdf (accessed: 05.07.2015).

14. Standard of JSC "NK" Rosneft» no. P3-04 DM-0038. Automated process control system for oil and gas. Requirements to functional characteristics. 2014. 163 p.

15. Timoshchuk R. S. Otsenka vliyaniya korrelyatsii v sistemakh radiosvyazi s mnozhestvennoy peredachey po tekhnologii MISO [Assessing the impact of correlations in systems with multiple radio transmission technology MISO]. *Informatika i problemy telekommunikatsiy : materialy Rossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Computers and Telecommunications Issues. Proceedings of the Russian Scientific and Technical Conference], Novosibirsk, Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences Publ. House, 2013, vol. 1, pp. 135.

16. Umnyashkin S. V. *Teoreticheskie osnovy tsifrovoy obrabotki i predstavleniya signalov* [Theoretical Foundations of digital signal processing and reporting], Moscow INFRA-M Publ., 2009. 304 p.

17. Chernorutskiy I. G. *Metody prinyatiya resheniy* [Decision-making methods], Saint Petersburg, Piter Publ., 2005. 416 p.

18. Shtovba S. D. Proektirovanie nechetkih system sredstvami MATLAB [Design of fuzzy systems by means of MATLAB], Moscow, Goryachaya liniya–Telekom Publ., 2007. 288 p.

19. Bevin D. *Modbus i DNP3: Sravnenie effektivnosti kommunikatsiy. Obzornaya statya* [Modbus and DNP3: Comparing effectiveness of communication. Reviews], Control Microsystems Inc., 2009. 7 p.

20. Bryan William Plass. Greater sustained throughput and contention elimination in IEEE 802.11 with DS-CDMA/ Bryan William Plass. *A thesis submitted to the graduate faculty in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science*, 2011. 68 p.

21. Chen Li, Biao Huang, Da Zheng, Feng Qian Multi-input–Multi-output (MIMO) Control System Performance Monitoring Based on Dissimilarity Analysis. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2014., no. 53 (47), pp. 18226–18235.

22. Haley D., Gran A., Buetefer J. Iterative encoding of low-density parity-check codes. *Proceedings, IEEE Globecom*, October 2002, pp. 2016–2036.

23. Mohand Yazid, Djamil Aïssani, Louiza Bouallouche-Medjkoune, Nassim Amrouche, Kamel Bakli. Modeling and enhancement of the IEEE 802.11 RTS / CTS scheme in an error-prone channel. *Formal Aspects of Computing*, 2015, pp. 33–52.

24. Zadeh L. A. Toward a Theory of Fuzzy Systems. Aspect Network and System Theory. *Rinehart and Winston*, 1971.

УДК 621.396.6

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ РАДИООХРАННЫХ СИСТЕМ

Статья поступила в редакцию 10.09.2015, в окончательном варианте 18.09.2015.

Колганов Андрей Андреевич, аспирант, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, Российская Федерация, г. Москва, ул. Мясницкая, 20, e-mail: akolganov@hse.ru

Рассмотрена технология организации радиоохраны современного гражданского автомобиля, основанная на взаимодействии с системами глобального позиционирования, сотовой связи и сетью Интернет. Предлагаемый автором подход предполагает, что владелец активирует радиоохранную систему автомобиля (РОСА) посредством пульта дистанционного управления и может наблюдать за его местонахождением на компьютере, планшете или смартфоне. Подробно описана инженерная методика проектирования РОСА с учетом требований по массогабаритным показателям и энергопотреблению. Методика совместима с применением различных САПР и включает четыре этапа: оценка технической возможности реализации РОСА при заданных к ней требованиях; структурно-математическое моделирование; инженерное проектирование модуля РОСА; экспериментальное моделирование конструкции печатного узла, обеспечивающего реализацию этого модуля. Представлена IDEF0 диаграмма инженерной методики проектирования и пример практической реализации по ней модуля РОСА на основе следующей элементной базы и телекоммуникационных средств: микроконтроллеров, микросхем flash памяти, ГЛОНАСС / GPS приемников, GSM модемов, трансиверов, акселерометров, CAN драйверов, DC-DC преобразователей, антенн и «обвязки». Приведена структура модуля РОСА; алгоритм выбора оптимальной элементной базы, включающий целевую функцию и расчетные формулы. По техническим требованиям и условиям с применением предложенной методики спроектирована электрическая принципиальная схема и конструкция печатного узла модуля РОСА. Проведено моделирование его работоспособности с учетом тепловых режимов в условиях внешних воздействий.

Ключевые слова: автомобильная сигнализация, угон автомобиля, передача данных, САПР, методика, IDEF0 диаграмма, проектирование, элементная база, микросхема, микроконтроллер, навигация, печатная плата, печатный узел

ENGINEERING TECHNIQUE OF DESIGNING RADIO SECURITY SYSTEMS FOR VEHICLE

Kolganov Andrey A., post-graduate student, National Research University Higher School of Economics, 20 Myasnitskaya St., Moscow, 101000, Russian Federation, e-mail: kolandr@gmail.com

The technology of a modern car radio security based on cooperation with global positioning systems, mobile communications and the Internet is proposed. The scheme of radiosecurity car system, which allows a owner to activate protection by a remote control and monitor its location on a computer, tablet or smartphone is provided. An engineering design technique of automobile radio security system to meet the requirements of mass-dimensional performance and power consumption is presented. Methods of using a variety of CAD consists of four stages: assessment of feasibility of radiosecurity system; structural and mathematical modeling; engineering design of radiosecurity module; experimental modeling of printed circuit board. Presented IDEF0 diagram engineering techniques and an example of the practical implementation of its radio security module from the following element base: microcontroller unit, flash memory, GLONASS / GPS receivers, GSM modems, transceivers, accelerometer, CAN drivers, DC-DC converters, antennas. Disclosed structure of radiosecurity module algorithm for selecting optimal element base, including formulas and the objective function. The electric circuit and printed circuit board that meets technical requirements are designed. The thermal simulation of printed circuit board is implemented.

Keywords: car alarms, car theft, data transfer, CAD, technique, IDEF0 chart, design, electronic components, chip, microcontroller, navigation, printed circuit board, printing unit

Введение. Мировой рынок автомобилестроения в настоящее время является одним из самых динамично развивающихся, на нем имеет место жесткая конкуренция между производителями. Такая ситуация стимулирует производителей к применению актуальных технологических наработок при проектировании и выпуске новых моделей. Как следствие, увеличивается сложность производимых изделий, количество используемых электронных компонентов и отдельных блоков, конечную стоимость автомобилей. Это делает их привлекательными объектами для хищения – с целью перепродажи «целиком» или после разборки на отдельные блоки / части.

Поэтому обеспечение сохранности автотранспортного средства от неправомерного завладения, кражи составных частей или вещей, находящихся в салоне / багажнике, является актуальной задачей. Аналогичные задачи стоят и в отношении ряда других мобильных объектов (МО). Сейчас для решения задач охраны в сегменте автомобилей нижнего и среднего ценовых уровней применяются в основном механические и электротехнические устройства различной степени сложности и назначения [8]. Их функциональные возможности являются сравнительно ограниченными. Объединение таких устройств в единое целое и их комплексирование со стационарными системами защиты (в т.ч. автостоянками, оборудованными системами видеонаблюдения и физической защиты периметра) позволяет создавать охранные комплексы с высоким уровнем защиты и большими наборами функциональных возможностей. Так современная бортовая радиоохранная система автомобиля (РОСА) должна осуществлять контроль состояния замков дверей, капота, багажника, состояние стеклоподъемников, охрану зон расположения узлов управления; контролировать работоспособность функциональных блоков; обеспечивать охрану периметра вокруг автомобиля, а в случае тревоги – сработать и оперативно передать тревожный сигнал владельцу.

С каждым годом к бортовым РОСА предъявляются всё более жесткие требования по массогабаритным параметрам и энергопотреблению [4, 5, 12–14], надежности, функциональным возможностям. Однако способы удовлетворения этих требований недостаточно отражены в существующих публикациях. Поэтому целью данной работы является создание инженерной методики проектирования РОСА на основе использования обобщенной математической модели и применения современных САПР.

Существующие решения современных РОСА. Имеется достаточно широкий спектр готовых решений РОСА. Среди них можно выделить три основных класса устройств. Это автономные маяки или блоки-закладки; системы с односторонней или двусторонней связью с владельцем МО за счет использования радиоканала; системы с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и сетей сотовой связи. Кратко рассмотрим особенности каждого из классов данных систем.

Автономные маяки или блоки-закладки часто используются совместно с другими РОСА. Их основное назначение – поиск автомобиля после угона или кражи, когда основная РОСА была обнаружена и демонтирована (выведена из строя) злоумышленником, то есть перестала выполнять свои охранные функции. В состав автономных систем входит батарея для обеспечения функционирования маяка, что позволяет устанавливать его практически в любом месте автомобиля, без подключения к штатной системе питания. Это затрудняет обнаружение такого устройства злоумышленниками. При соответствующем климатическом исполнении данные устройства могут быть успешно использованы для охраны полуприцепов или на водном транспорте, так как данные средства являются сезонными и часто остаются надолго без контроля владельца. Отметим, что в случае угона автомобиля и помещения

его в металлический гараж, использование таких систем «блокируется» – за счет экранирования электромагнитного излучения.

Системы, использующие радиоканал для связи с владельцем автомобиля (рис. 1), можно разделить на две категории – с односторонней связью и двухсторонней связью.



Рис. 1. Схема РОСА с использованием радиоканала

Системы с односторонней связью в силу их простоты имеют ряд недостатков. Основной и самый существенный из них – это ограниченный радиус действия системы оповещения о срабатывании сигнализации автомобиля, которое осуществляется с помощью воспроизведения звуковых и световых сигналов. Кроме того, применение одностороннего канала связи не даёт возможности запросить текущее состояние системы (охраняемого объекта) на удалении от автотранспортного средства.

Этот недостаток был устранен применением в РОСА двухстороннего канала связи (рис. 1), при которой между брелоком владельца и бортовым модулем происходит радиообмен в общедоступном диапазоне частот. Поэтому владелец может постоянно видеть (отслеживать), в каком состоянии находится система. Практически все современные РОСА используют диалоговый код, что защищает передаваемый между брелоком и бортовым модулем сигнал от перехвата. Указанные системы защиты являются решениями нижнего и среднего ценового уровня.

Использование GSM-сети как дополнительного канала связи для управления и получения оповещений от РОСА существенно улучшает эксплуатационные характеристики системы, делает ее более надежной (рис. 2). Дальность действия в данном случае ограничена исключительно зоной покрытия сети сотовой связи. Использование приемников ГНСС позволяет получить местоположение охраняемого автомобиля с точностью до нескольких метров. Недостатками таких систем является цена (они относятся к решениям высокого ценового уровня), а также большое количество компонентов для установки и размещения в кузове автомобиля, по сравнению с системами предыдущего класса. Однако, несмотря на указанные минусы, данный класс РОСА является наиболее перспективным для дальнейшего развития. Так как он обеспечивает не только охранные функции автомобиля, но и расширенный функционал – в частности отображение местоположения, передачу данных о состоянии объекта и др. Накопление подобных данных может быть полезно для дальнейшего анализа и исследования перемещений транспортного средства [2].

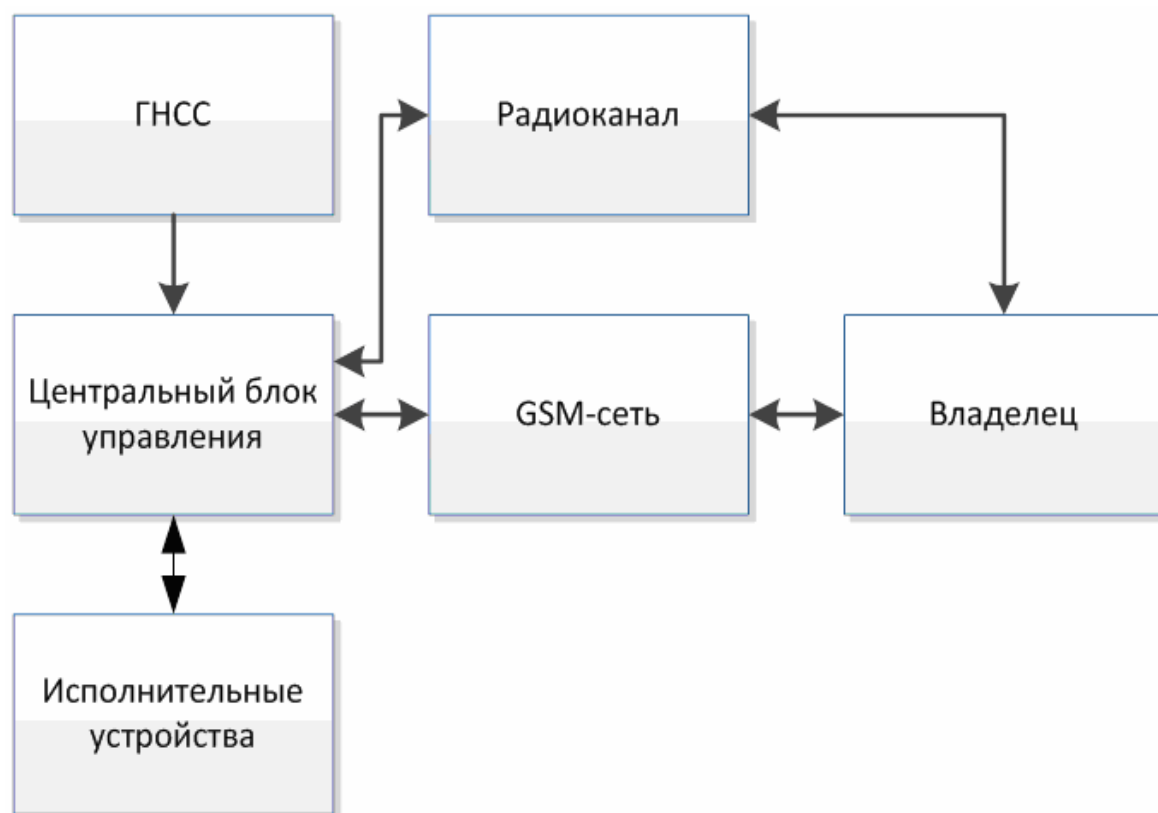


Рис. 2. Схема РОСА с использованием ГНСС и сетей сотовой связи

Общие характеристики работы современных РОСА с использованием ГНСС и сотовой связи. В таких РОСА используется взаимодействие с системами глобального позиционирования, сотовой связью и сетью Интернет (рис. 3). Основным и практически единственным способом связи, использующим сотовые сети на территории РФ и Европы, на текущий момент является стандарт GSM, несмотря на то, что существуют более технически совершенные и энергетически выгодные – например CDMA. За счет применения прогрессивной технологии кодового разделения каналов CDMA обеспечивает значительное снижение уровней излучаемой мощности и улучшенную помехозащищенность в сравнении с GSM стандартом. Кроме того, в CDMA применяется более эффективная по сравнению с GSM схема управления излучаемой мощностью мобильного терминала. Это увеличивает размеры зоны радиопокрытия сети CDMA; улучшает показатели качества связи, особенно, если абонент находится в движении, а также обслуживается в зонах с неравномерным рельефом или густой застройкой. Но GSM появился раньше, был выбор готовых решений как операторского оборудования, так и потребительского. Более совершенный CDMA требовал больших вычислительных мощностей как базовых станций, так и клиентских терминалов; создания новых решений для менее распространенной технологии (например, CDMA аппараты стоили дороже своих GSM-аналогов и были с ними не совместимыми). Эти причины привели к тому, что распространение и наилучшее покрытие на территории Европы и РФ получил стандарт GSM. Поэтому в настоящее время при проектировании РОСА использование иных стандартов является нецелесообразным.

Опишем кратко технологию использования указанных РОСА.

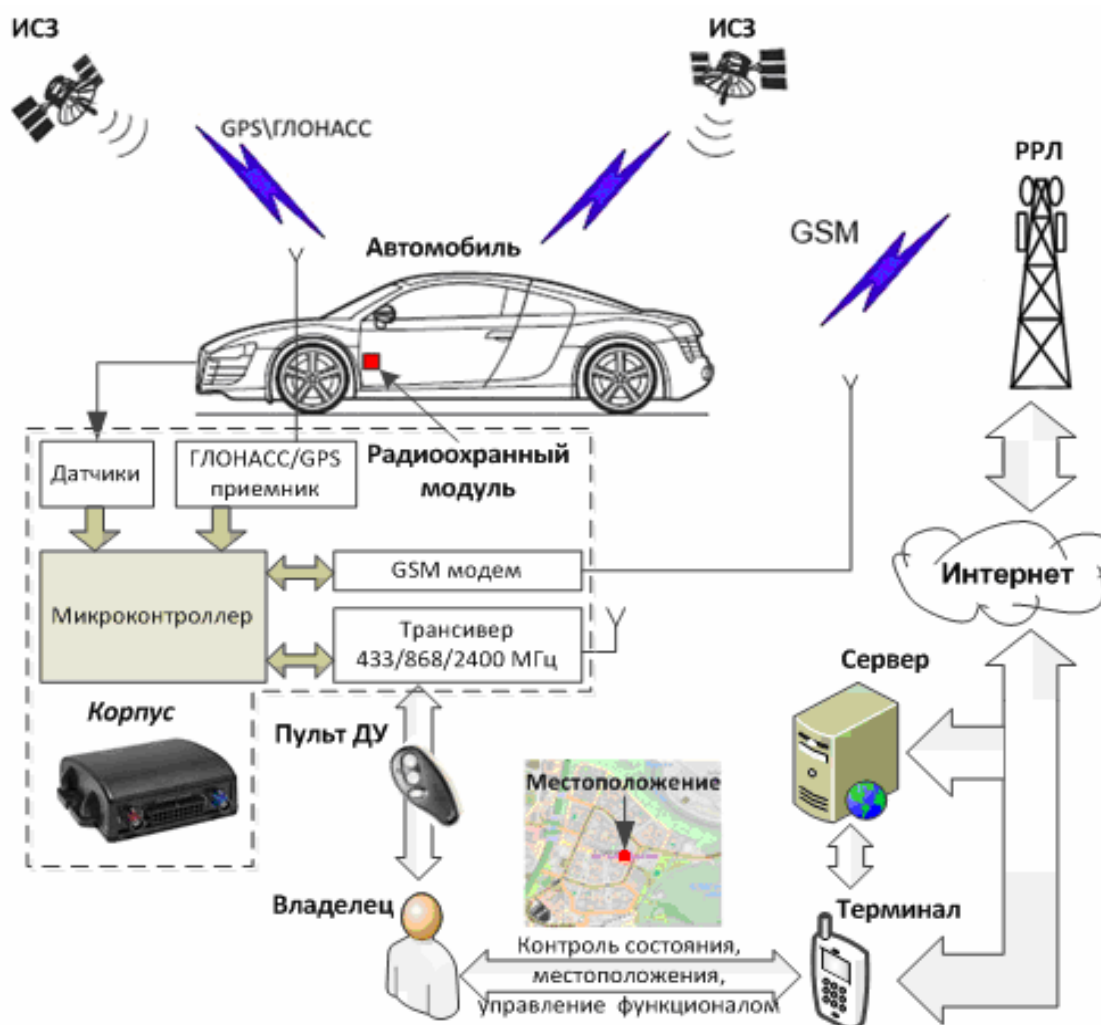


Рис. 3. Схема современной РОСА

Владелец ставит автомобиль на охрану посредством пульта дистанционного управления в виде брелока-метки, работающего на частотах приема-передачи 433 / 868 / 2400 МГц. Внутри автомобиля устанавливается модуль РОСА, ядром которого является микроконтроллер. Он принимает и обрабатывает данные от датчиков и GPS приемника. Телеметрия и данные о местонахождении передаются посредством GSM модема через сеть Интернет на сервер или непосредственно на терминал владельца (смартфон, КПК, компьютерный планшет). Проверить местонахождение объекта можно в любой момент времени, а в случае угона – вести непрерывное отслеживание его положений. При этом ключевым вопросом является разработка модуля РОСА, удовлетворяющего жестким требованиям по энергопотреблению, массогабаритным и ценовым показателям.

Инженерная методика. Предлагается методика проектирования РОСА на основе использования технологии GPS / ГЛОНАСС, GSM и Интернет. Методика должна также предусматривать оценку конечного изделия (модуля РОСА) на соответствие заданным требованиям по механической прочности, тепловому режиму работы, электромагнитной совместимости. Эта методика позволяет инженеру проектировать бортовую РОСА по задан-

ным техническим требованиям и условиям. На рисунке 4 представлена IDEF0 – диаграмма для этой методики, построенная в ПО Microsoft Visio. Символом «молния» показаны результаты использования различных программных средств (САПР).

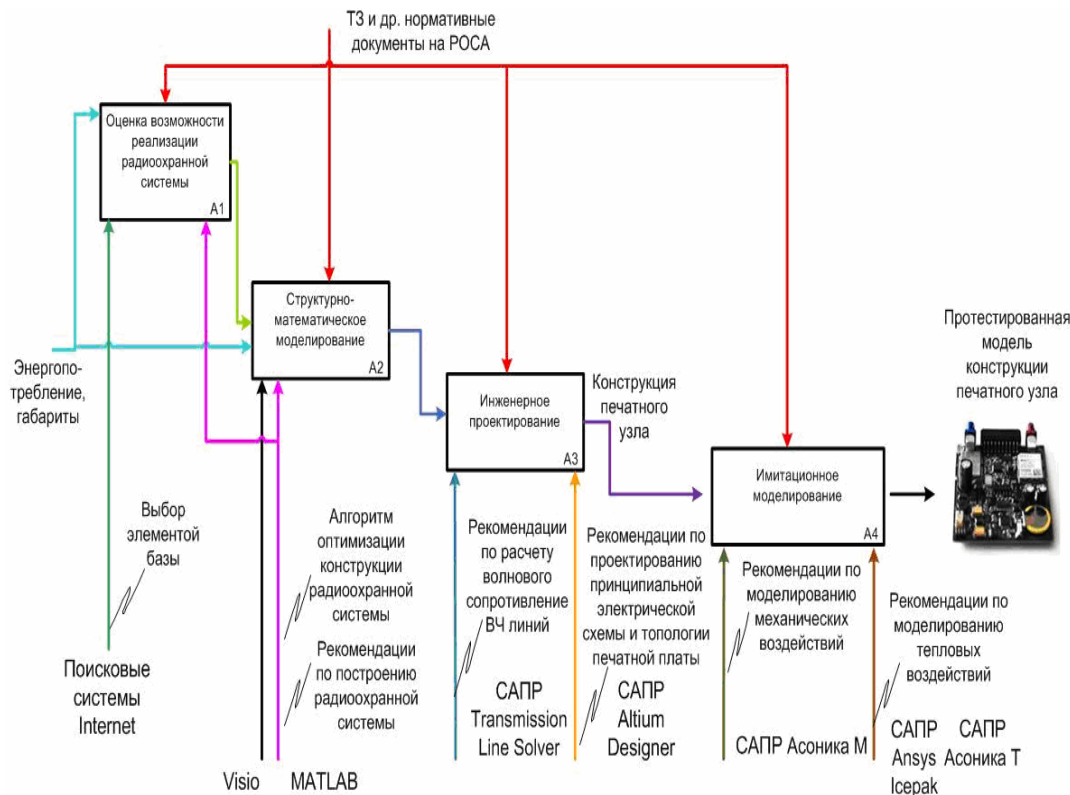


Рис. 4. IDEF0– диаграмма инженерной методики проектирования бортовой РОСА

Исходными данными для проектирования являются техническое задание (ТЗ) и технические условия (ТУ) на бортовую РОСА.

Методика включает четыре этапа: (1) оценка возможности реализации РОСА для заданных требований; (2) структурно-математическое моделирование; (3) инженерное проектирование модуля РОСА; (4) имитационное моделирование конструкции печатного узла.

На первом этапе проводится принципиальная оценка возможности реализации бортовой РОСА при заданных в техническом задании (ТЗ) ограничениях и характеристиках доступной элементной базы. При этом учитываются показатели электронных компонентов в части соответствия требованиям по энергопотреблению и массогабаритным характеристикам, а также по надежности и стоимости. Основные требования предъявляются к модулю РОСА, но не к пульта.

В случае положительного завершения этапа 1 проводится структурно-математическое моделирование РОСА (этап 2) с использованием программы Visio (для построения структурных схем) и среды математического моделирования MATLAB (Optimization Toolbox) для расчета элементов структуры, их связей, комбинаций и параметров. Затем решается задача многокритериальной оптимизации по заданным параметрам и ограничениям. На 3-ем этапе (инженерного проектирования) разрабатывается электрическая принципиальная схема и топология печатной платы (ПП) модуля РОСА с использованием САПР Altium Designer. Расчет волнового сопротивления высокочастотных линий осуществляется в САПР Polar Si9000 PCB Transmission Line Solver или AppCAD. Затем на этапе 4 (имитационного моделирова-

ния) конструкция печатного узла модуля РОСА проверяется на тепловые воздействия (в САПР Ansys Iserpak или Асоника Т) и механические – в САПР Асоника М. Результатом использования методики является протестированная на различные виды воздействий модель конструкции печатного узла.

Рассмотрим эти этапы несколько более подробно.

Этап 1. Элементная база для модуля РОСА представляет собой набор микросхем и их «обвязку», а именно следующие объекты: микроконтроллер, Flash память, ГЛОНАСС / GPS приемник, GSM модем, трансивер, акселерометр, CAN драйвер, DC-DC преобразователь, антенны [9]. Структура модуля РОСА и алгоритм выбора оптимальной элементной базы представлены на рисунке 5. Заливкой показаны элементы, расположенные непосредственно на проектируемой печатной плате. Основным элементом является микроконтроллер, реализующий алгоритмы работы РОСА. К нему подключаются датчики, приемо-передающие и навигационные модули. Телеметрическая информация о скорости движения, состоянии цепи зажигания, дверей и пр. в микроконтроллер поступает через шину CAN. Для сопряжения с ней необходима микросхема драйвера интерфейса, которая представляет собой двуправленный приемопередатчик для согласования уровней сигналов между шиной и CAN интерфейсом микроконтроллера. Flash-память нужна для сохранения параметров конфигурации системы, запоминания треков передвижения и данных телеметрии. ГЛОНАСС / GPS приемник состоит из антенны, приемного модуля и вычислителя. Причем антенна может быть как внешней, так и внутренней – в виде топологии РСВ или отдельного элемента [15]. Вычислитель определяет местоположение объекта и передает данные географических координат микроконтроллеру. GSM модем содержит приемопередающий модуль и антенну [16]. С внешней антенной он сопрягается через разъем. Передатчик радиоканала метки 433 / 868 / 2400 МГц представляет собой трансивер и также снабжается антенной. Акселерометр необходим для определения ударной нагрузки в случае столкновения или удара по автомобилю. В общем случае целесообразно использование трехкоординатного датчика-акселерометра. Для обеспечения микросхем модуля РОСА питанием от автомобильного аккумулятора с постоянным напряжением 10–48В применяются DC-DC преобразователи. «Обвязка» микросхем, состоящая из пассивных R, L, C компонентов и транзисторов, выполняется в соответствии с их спецификациями.

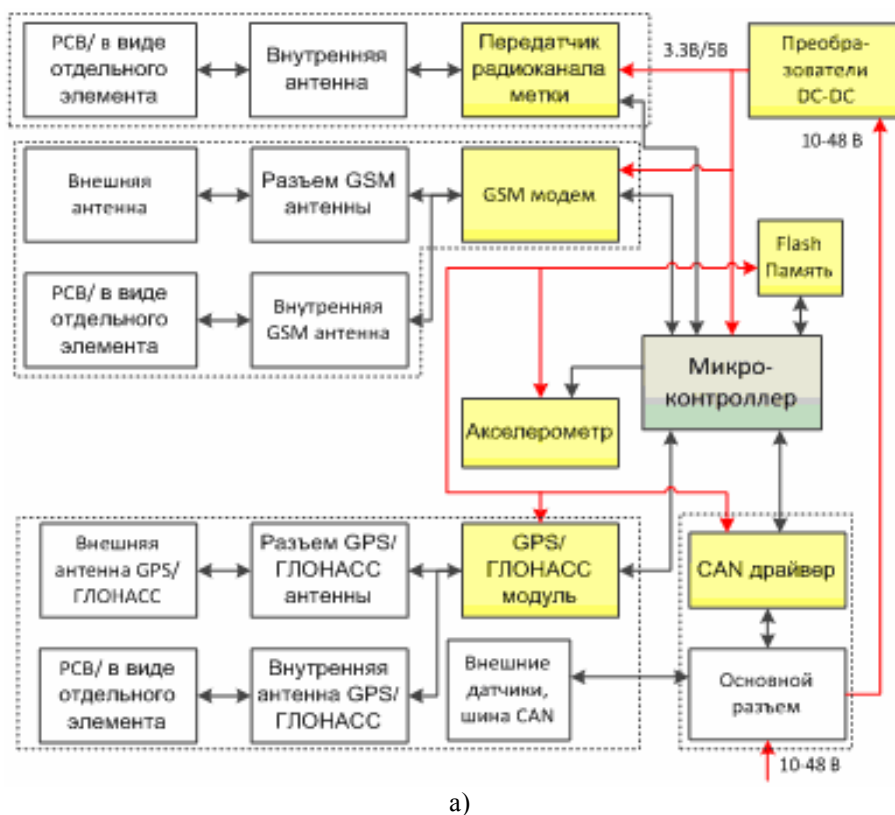
При выборе элементной базы следует рассматривать преимущественно компоненты с SMT / SMD монтажом, которые существенно экономят место на ПП и упрощают технологию сборки. Корпуса типа DIP имеет смысл использовать только, если нет иных альтернатив. По условиям эксплуатации печатный узел модуля РОСА следует изготавливать по 2-ому классу жесткости и с учетом климатических воздействий по ГОСТ 23752-79 (от –40 до +85 °С). При выборе следует также учитывать потребляемую элементом мощность, занимаемую на печатном узле площадь и стоимость. Высотой микросхем и их массой можно пренебречь, так как они являются достаточно плоскими и легкими. Поскольку в спецификациях на элементы приводятся только типы корпусов и потребляемые токи в различных режимах работы, введем формулы для грубого расчета площади S корпуса с контактными выводами и грубой оценки потребляемой мощности в режиме непрерывной работы (P):

$$S = D \times Ш \text{ [мм}^2\text{]}, \quad (1)$$

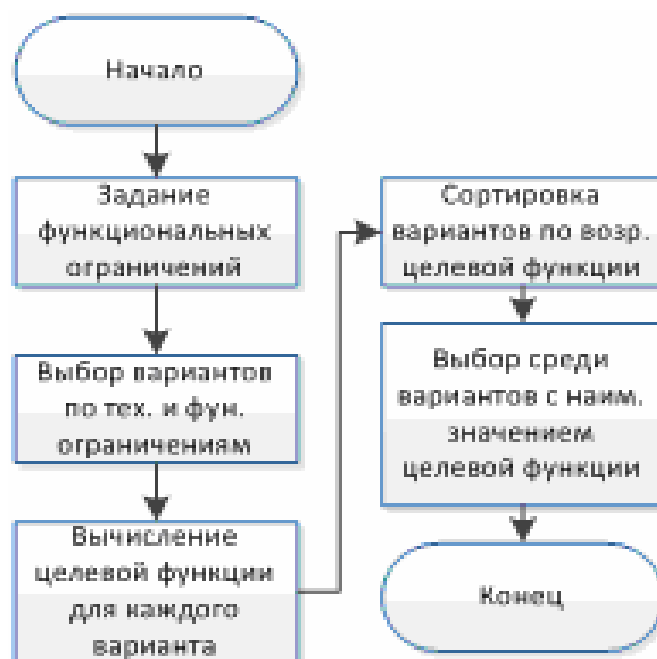
где D и $Ш$ – длина и ширина корпуса [мм] соответственно;

$$P = (U_{\min} + U_{\max}) \times (I_{\min} + I_{\max}) \times 0,25 \text{ [мВт]}, \quad (2)$$

где $(U_{\min}; U_{\max})$ [В] и $(I_{\min}; I_{\max})$ [мА] – диапазоны напряжений питания и токов потребления в режиме непрерывной работы соответственно.



а)



б)

Рис. 5. Структура модуля РОСА (а) и алгоритм выбора оптимальной элементной базы (б)

Этап 2. В соответствии с алгоритмом на рисунке 3б проводится выбор оптимальных электронных компонентов для структуры на рисунке 3а по критериям, соответствующим ТЗ и ТУ.

В общем виде система состоит из N модулей $M^1, \dots, M^N$ с n параметрами $P^1, \dots, P^n$, из которых $P^{k_1} \succ P^{k_2} \succ \dots \succ P^{k_n}$ являются ключевыми в порядке приоритета. Каждый модуль выбирается из множества вариантов: $M_{j_i}^i \in V^i = \{M_1^i, \dots, M_{L_i}^i\}$ и каждому варианту модуля $M_{j_i}^i \in V^i$ соответствуют наборы $F_{i,j_i} = (F_{i,j_i}^1, \dots, F_{i,j_i}^m) \in \{0,1\}^m$ и $P_{i,j_i}, \dots, P_{i,j_i}^n$. Здесь $F_{i,j_i}^k = 1$ тогда и только тогда, когда j_i вариант i -ого модуля обладает k -ой функцией. В соответствии с алгоритмом рисунка 3б получаем аффинную целевую функцию T , которую требуется минимизировать ($\rightarrow \inf$):

$$T = \langle \mathbf{a}, P \rangle + b = \left[\sum_{k=1}^n a^k (L_1 \cdot \dots \cdot L_N) \frac{P^k}{\sum_{i,j} P_{i,j}^k} + b \right] \rightarrow \inf, \quad (3)$$

где $\mathbf{a} = (a^1, \dots, a^n)$ – набор «весов» параметров (чувствительность целевой функции) задается с помощью экспертной оценки, причём $a^k > 0 \forall k$, $a^{k_1} \geq a^{k_2} \geq \dots \geq a^{k_n}$, $b \geq 0$, $L_1 \cdot \dots \cdot L_N$ – нормирующие коэффициенты параметров.

Накладываем ограничения на интегральные значения параметров:

$$B_k(P^k) \leq Q^k, \quad k \in \{1, \dots, n\}. \quad (4)$$

Выбором соответствующих функций B_k можно задавать различные ограничения – «жёсткие» (типа неравенств) или «мягкие» (типа штрафных функций). В результате получаем оптимальный по заданным критериям перечень элементной базы или сообщение, что она не может быть подобрана при заданных ограничениях.

Этап 3. В САПР Altium Designer разрабатывается принципиальная электрическая схема. На ее основе проектируется ПП, готовится документация на модуль РОСА для подготовки производства его печатного узла. Сначала создается библиотека элементов, входящих в принципиальную электрическую схему и ПП. Каждый элемент такой библиотеки содержит условное графическое обозначение (УГО) для принципиальной электрической схемы (файл *.SchLib) и посадочное место (footprint) на ПП (файл *.PcbLib). Эти данные можно найти на сайте производителя компонента или в его спецификации (datasheet), которые обычно доступны через Интернет.

Затем, при готовности библиотеки для всех элементов, создается принципиальная электрическая схема устройства. Далее формируется проект ПП, в которую все элементы библиотеки вносятся автоматически (каждому УГО элемента на принципиальной электрической схеме соответствует выбранное посадочное место на ПП). После проведения расстановки элементов выполняется и их соединение дорожками печатных проводников. Правильность соединений, оптимальности расположения печатных проводников обеспечивается средствами среды Altium Designer. Расчет волнового сопротивления ВЧ линий проводится (как уже говорилось) в AppCAD или Polar PCB Transmission Line Solver. В соответствии с результатами этого расчета может быть скорректирована топология печатных проводников (т.е. возможен возврат к этапу расчета их расположения в Altium Designer).

Таким образом, в результате проектирования в среде Altium Designer создаются файлы принципиальной электрической схемы (*.SchDoc) и топологии ПП (*.PcbDoc). Из них генерируется текстовый файл формата Gerber, представляющий собой способ описания проекта ПП для

изготовления фотошаблонов (обычно – для реализации фотолитографических процессов) при изготовлении печатных плат на самом разнообразном оборудовании. Указанный подход является общепринятым стандартом передачи проекта в электронной форме производителю ПП.

Этап 4. Для проведения теплового численного моделирования готовый проект ПП в Altium Designer (*.PcbDoc) конвертируется в формат STEP или IDF, содержащий геометрию платы и расположение совокупности элементов – для взаимодействия с ПО Ansys Iserpak. Затем в среде Iserpak создается модель для проведения анализа теплового режима работы печатного узла. Затем рассчитываются данные по перегреву компонентов для заданного режима работы устройства, краевых (начальных и граничных) условий. Ansys Iserpak позволяет анализировать стационарный и нестационарный тепловые режимы аппаратуры, работающей при естественной и вынужденной конвекциях в воздушной среде; при нормальном и пониженном давлениях. Последний вариант может быть актуальным для условий использования разработок в высокогорье.

Для проведения в САПР Асоника-М [10] численного моделирования механических воздействий (статической прочности и динамического поведения конструкции), также как и в случае с тепловым моделированием, необходимо осуществить импорт геометрии ПП с элементами. Формат импорта зависит от используемой среды моделирования, но большинство программных средств допускают импорт в универсальном формате *.sat или *.iges. Далее задаются механические нагрузки (статические) или режимы изменения динамических нагрузок. В ходе моделирования получают поля напряжений и деформаций для заданной конструкции ПП и элементов, размещенных на ней.

По результатам этих расчетов делаются выводы о соответствии расчетных напряжений тому, что может выдержать ПП и размещенные на ней элементы. Если деформации оказываются чрезмерно большими (например, могут угрожать целостности печатных проводников, надежности паяных соединений и пр.), то следует возврат к одному из предыдущих этапов проектирования. Особую опасность могут представлять повторяющиеся знакопеременные нагрузки – например, связанные с движением автомобиля по неровной дороге.

Пример практической реализации методики. Требования ТЗ по назначению (функциональным возможностям): РОСА должна обеспечивать защиту автомобиля от угона, вскрытия и повреждения; передачу телеметрии и местоположения через сеть Интернет пользователю. Модуль РОСА предназначен для установки на автомобильные транспортные средства категорий М (пассажирские) и N (грузовые). Модуль должен быть реализован на плате с габаритами не более 140 мм × 80 мм. Суммарная стоимость элементной базы не должна превышать 10000 руб.

Вибрационные требования по ГОСТ [5] на воздействия ударов в каждом из трех взаимно перпендикулярных направлений при следующих значениях воздействующих факторов:

- пиковое ударное ускорение – до 98 м / с (10g);
- частота повторения ударов – не более 80 ударов / мин.;
- длительность ударов – от 5 до 15 мс (предпочтительно – 10 мс);
- максимальное число ударов подряд по каждому направлению – 333 (при общем числе ударов не более 1000 за время не менее 12,5 мин.);
- обеспечение устойчивости модуля РОСА к воздействию одиночных механических ударов с ускорением 75g.

По тепловому режиму работы, в соответствии с ГОСТ Р 54618-2011 [5], блоки автомобильной электроаппаратуры должны функционировать при температурах от «-40 °С» до «+85 °С». Корпуса функционально законченных блоков должны соответствовать ГОСТ 14254 IP 52 (для всех составных частей автомобильной системы, изготовленных в корпусном исполнении) и IP 67 (только для датчиков автоматической идентификации дорожно-

транспортных происшествий, исполненных в качестве самостоятельной составной части, входящей в состав автомобильной системы). В ГОСТ 15150-69 [12] указываются расширенные температурные диапазоны для различных климатических исполнений оборудования и входящих в него самостоятельных составных частей. Они могут быть учтены в рамках разработанной методики.

При уровне электромагнитного воздействия (ЭМВ) 100 В / м в частотном диапазоне от 1 МГц до 2 ГГц электрооборудование транспортного средства [11] должно работать нормально. Другие системы должны нормально функционировать как минимум при ЭМВ до 30 В / м, и до 100 В / м не должны выходить из строя. Проектируемая бортовая автомобильная электроника должна устойчиво работать при уровнях электромагнитных воздействий до 40–50 В / м в условиях свободного поля. Должна быть предусмотрена защита модуля РОСА от электростатического разряда.

Этап 1. Был проведен поиск электронных компонентов. Согласно методике в каждом классе было отобрано примерно по 5–7 компонентов [6, 7, 9]. Реализация по требованиям ТЗ и ТУ оценена как положительная, то есть требования не выходят за рамки возможностей существующей элементной базы. Поэтому реализация данной системы технически возможна.

Этап 2. Система состоит из 8 компонентов $M^1, \dots, M^8$ с 3-мя ключевыми параметрами $P^{k_1}, P^{k_2}, P^{k_3}$, соответствующими потребляемой мощности P [мВт], площади ПП S [мм²] и цене [руб.]. Каждый компонент элементной базы выбирается из 6 вариантов: $M_j^i \in V^i = \{M_1^i, \dots, M_6^i\}$ [9]. Значения весовых коэффициентов $\mathbf{a} = (a^1, a^2, a^3)$ целевой функции задаются с энтропией $a^1 = 0,5$, $a^2 = 0,3$, $a^3 = 0,2$. В результате оптимизации по алгоритму на рисунке 3б и формулам (3) и (4) была выбрана следующая элементная база для модуля РОСА (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика выбранной элементной базы

Мо- дуль	Тип, производитель, наименование, характеристики	S , мм ²	P , мВт	Цена, руб.
M^1	Микроконтроллер, Microchip, dsPIC33EP256MU806, 140 МГц, 16-Бит, PQFP64	174	231	500
M^2	Flash память, Microchip, SST25VF032B	30	30	117
M^3	ГЛОНАСС / GPS приемник, Навиа, ML8088sE	195	333	1297
M^4	GSM модем, Quectel, M66, GSM / GPRS+ sim holder (держатель sim карты для gsm модуля).	279,7	1580	500
M^5	Трансивер Silicon Lab, Si4461, 142–1050 МГц	16	116	290
M^6	Акселерометр, ST Microelectronics, LIS331DLH, $\pm 2 \text{ g} / \pm 4 \text{ g} / \pm 8 \text{ g}$, SPI/I2C	9	0,72	780
M^7	CAN драйвер, Microchip, MCP2562, высокоскоростной, SO-8 Никаких разъемов, CAN или внешних подключений к автомобилю нет, это полностью автономный блок.	30	350	75
M^8	DC-DC преобразователь, Texas Instruments, TPS54361-Q1	16	93	420

Этап 3. Электрическая принципиальная схема, топология печатной платы и внешний вид печатного узла разработанного автором модуля РОСА представлены на рисунках 6 и 7.

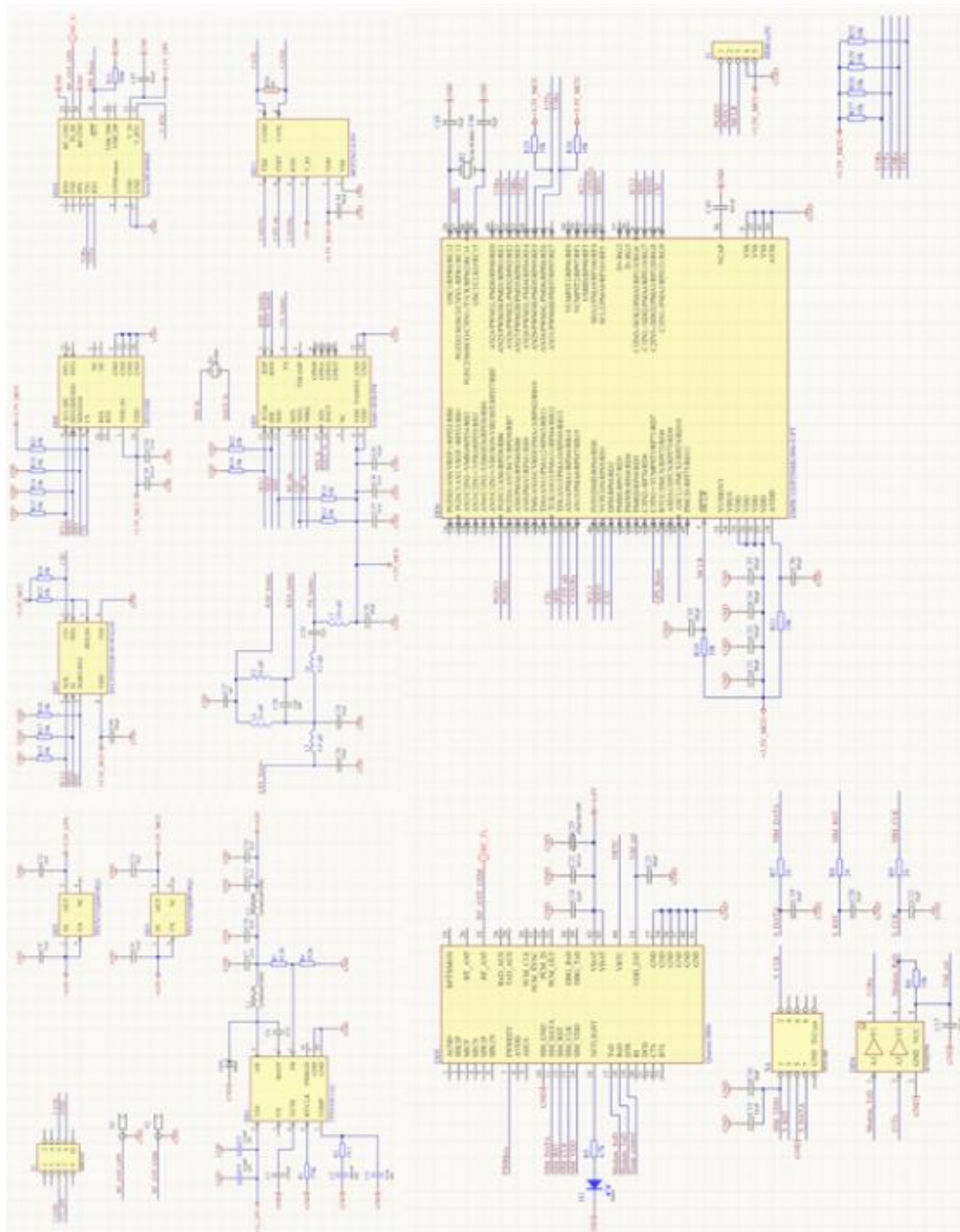


Рис. 6. Схема электрическая принципиальная модуля РОСА (обозначения расшифрованы в тексте)

На рисунке 6 использованы следующие обозначения: DD1 – импульсный преобразователь напряжения; DD2 и DD3 линейные преобразователи напряжения; DD4 – буфер для согласования уровней сигнала GSM модема; DD5 – GSM модем; DD6 – микроконтроллер; DD7 – Flash-память; DD8 – акселерометр; DD9 – трансивер; DD10 – GPS приемник; DD11 – CAN драйвер. Для подключения внешних антенн GPS и GSM модулей используются ВЧ разъемы стандарта SMA. Для подключения к CAN шине автомобиля и питания от бортовой сети автомобиля используется разъем Molex 34696-9100.

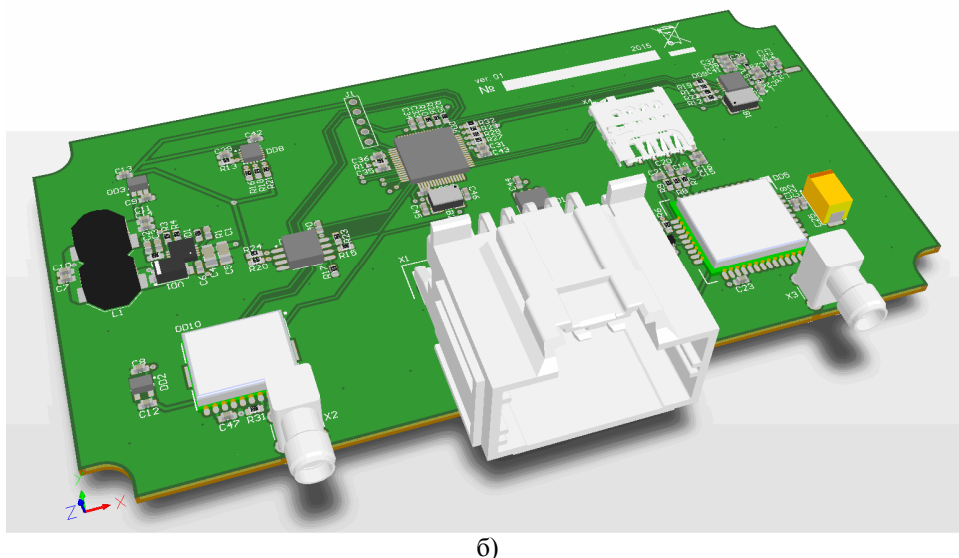
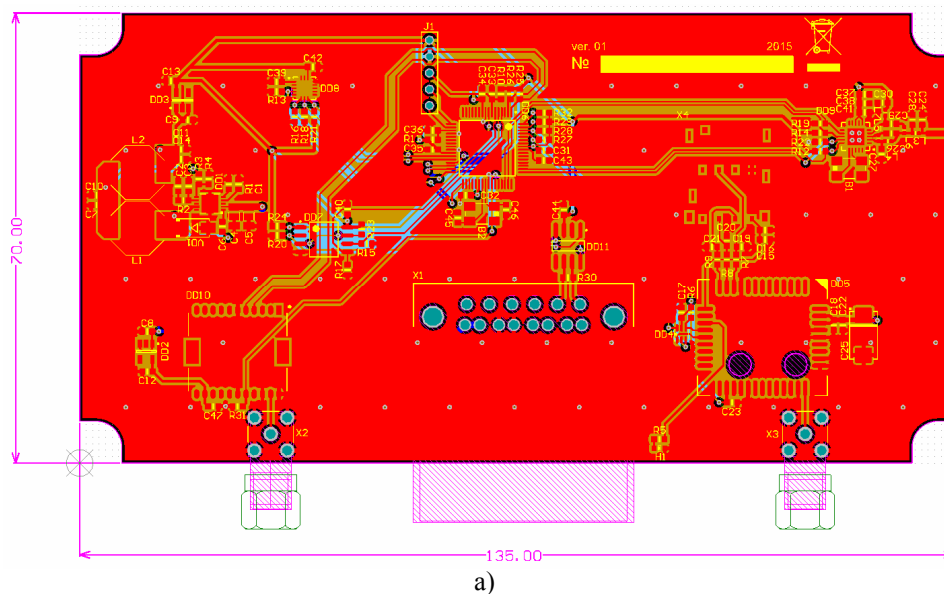


Рис. 7. Топология ПП (а) и внешний вид печатного узла (б) модуля РОСА

Схема реализована на многослойной (4 слоя) печатной плате размерами 135 мм × 70 мм из стеклотекстолита стандарта FR4, толщиной 1,5 мм. Такое решение для печатной платы с одной стороны позволяет реализовать топологию с учетом рекомендаций по ЭМС [7] (за счет использования дополнительных экранных слоев), с другой – разместить заказ на территории РФ (что снижает конечную стоимость печатной платы). Частотные диапазоны, задей-

стованные в схемотехнических решениях непосредственно на ПП – до 50 МГц. Специализированные микросхемы работают на таких частотах: трансивер 868 МГц; GSM модем от 900 до 2500 МГц; навигационный приемник 1500–1600 МГц.

Этап 4. Для приближения к реальным условиям эксплуатации при моделировании печатный узел был «размещен» в специально созданном в САПР Solidworks и импортированном в Ansys пластиковом корпусе размерами 140 мм × 75 мм. Он показан на рисунке 8. Все моделирование проводилось при условии использования установленной сверху крышки корпуса. На рисунке 8 она скрыта, чтобы показать упрощенную модель ПП для теплового анализа.

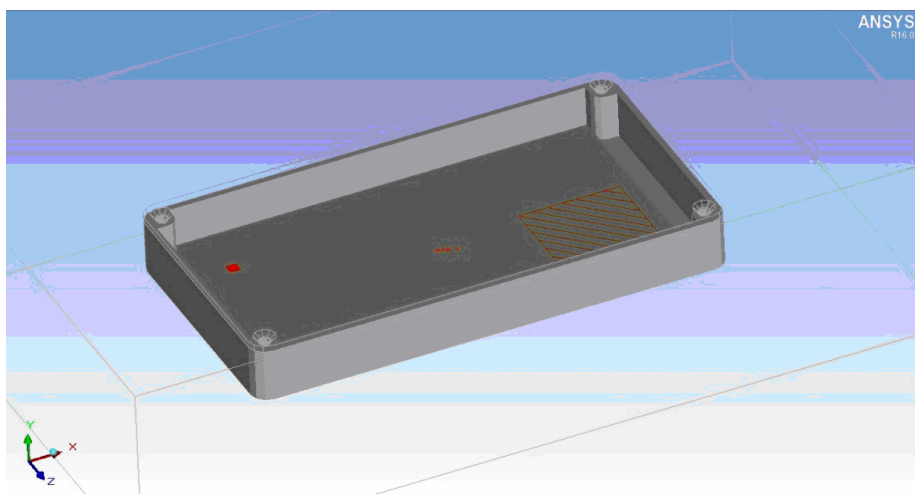


Рис. 8. Пластиковый корпус с «размещенной» в нем моделью печатного узла модуля РОСА. Модель представлена в упрощенном (плоском) виде

Штриховкой на упрощенной модели обозначены места расположения основных тепловыделяющих компонентов печатной платы: DD1 – импульсного преобразователя напряжения и DD5 – GSM модема, работающего в непрерывном режиме передачи данных.

В САПР Ansys Icerak было проведено численное тепловое моделирование печатного узла модуля РОСА при температурах окружающей среды от –10 до +40 °С (рис. 9).

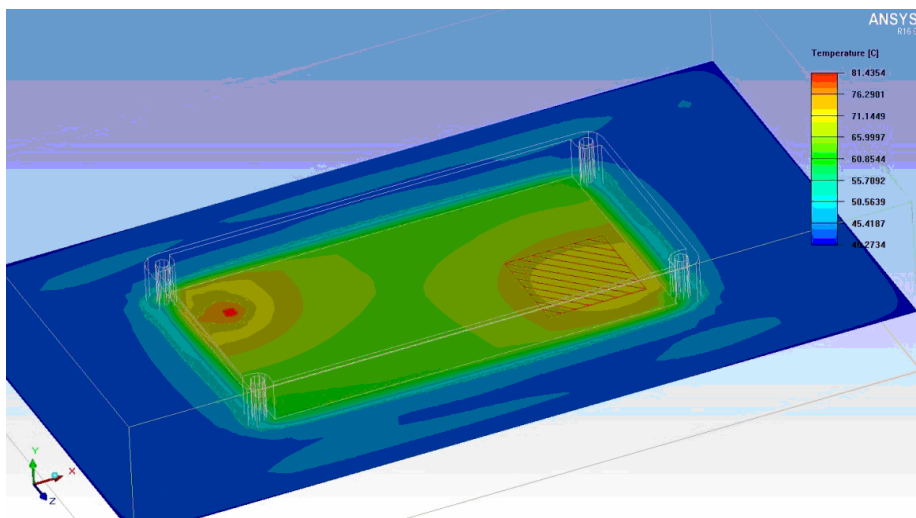


Рис. 9. Пример результатов теплового моделирования модуля РОСА при температуре окружающего воздуха 40 °С и атмосферном давлении 101325 Па (1 атм.)

Результаты расчетов показали, что температурные режимы модуля при всех допустимых сочетаниях температуры воздуха и его давления находятся в допустимых пределах. Место максимального нагрева платы – импульсный преобразователь. Его температура на 15 °С больше по сравнению с температурой печатной платы из-за малой площади микросхемы и как следствие, контакта с печатной платой. Однако данные значения укладываются в условия работы, описанные в документации к микросхеме.

Итак, сделаем **выводы**.

1. Предложенная методика позволяет инженеру спроектировать бортовую РОСА по заданным техническим требованиям с применением популярных САПР и математического аппарата, основанного на теории исследования операций. Кроме того, методика дает возможность исследования эксплуатационных «показателей» модуля РОСА при различных условиях – на основе использования имитационного моделирования.

2. При разработке РОСА по данной методике могут быть учтены специальные эксплуатационные требования, которыми предлагаемые на рынке РОСА обладают не в полном объеме.

3. С использованием предлагаемой методики возможна разработка охранных систем и не для автомобильного транспорта (например, водного). При этом в полной мере может быть учтена специфика эксплуатации таких мобильных объектов в России.

4. С применением предложенной методики спроектирована бортовая РОСА, соответствующая требованиям ТЗ как по назначению и массогабаритным параметрам, так и по устойчивости к электромагнитным, механическим, тепловым воздействиям. Модуль РОСА имеет размеры печатного узла 135 мм × 70 мм, а суммарное среднее энергопотребление элементной базы в его составе – около 2,7 Вт. Суммарная стоимость элементной базы устройства (по ценам середины сентября 2015 г.) составляет около 5000 руб., стоимость производства печатной платы при серийном выпуске – порядка 2000–3000 руб. Поэтому оценка итоговой стоимости разработанного модуля по уровням цен на 15.09.2015 г. находится в пределах 7500–8000 руб. Это приемлемо для владельцев автомобилей даже нижнего и среднего ценового уровня. Отметим, что аналогичные по функциональности системы, предлагаемые на рынке, относятся к более высокому ценовому уровню. Их стоимости (для той же даты) составляли от 10000 руб. и выше.

5. Приближенное к реальным условиям эксплуатации моделирование показало, что устройство будет работать в допустимых пределах по тепловому режиму, соответствующих требованиям ГОСТ [4].

Список литературы

1. Аминев Д. А. Топологическая тепловая модель пары «электронный компонент-термодатчик» / Д. А. Аминев, А. И. Манохин, А. Н. Семенов, С. У. Увайсов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 1 (29). – С. 146–155.
2. Брейман А. Д. Инфо-логическое проектирование баз данных на основе кинематического подхода / А. Д. Брейман // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2 (26). – С. 115–126.
3. Брумштейн Ю. М. Анализ моделей и методов выбора оптимальных совокупностей решений для задач планирования в условиях ресурсных ограничений и рисков / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Тарков, И. А. Дюдинов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3 (23). – С. 169–180.
4. ГОСТ Р 50905-96. Автотранспортные средства. Электронное оснащение. Общие технические требования. – Введен 1997-07-01. – Москва : Издательство стандартов, 1996. – 17 с.
5. ГОСТ Р 54618-2011. Глобальная навигационная спутниковая система. Система экстренного реагирования при авариях. Методы испытаний автомобильной системы / устройства вызова экстренных оперативных служб на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости, стойкости к климатическим и механическим воздействиям. – Введен 2012-09-01. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 28 с.

6. Кандырин Ю. В. Структурирование вариантов в электронных справочных системах выбора / Ю. В. Кандырин, В. А. Камаев, М. Е. Кононов, Г. Л. Шкурина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 2 (30). – С. 93–104.
7. Кечиев Л. Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры / Л. Н. Кечиев. – Москва : ООО «Группа ИДТ», 2007. – 616 с.
8. Колганов А. А. Автомобильные охраняемые системы. История, состояние и перспективы / А. А. Колганов // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции учащихся и студентов // под. ред. Ю. А. Романенко, Н. А. Анисинкиной, С. Г. Воеводиной. – Протвино : Управление образования и науки, 2013. – Ч. 2. – С. 791–794.
9. Колганов А. А. Анализ элементной базы для реализации современной автомобильной радиосигнализации / А. А. Колганов, И. Ю. Лисицын // Качество. Инновации. Образование. – 2015. – № 8. – С. 36–44.
10. Кофанов Ю. Н. Автоматизированная система АСОНИКА в проектировании радиоэлектронных средств : учебно-методическое пособие / Ю. Н. Кофанов. – Москва : Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», 2012. – 58 с.
11. Николаев П. А. Устойчивость автомобилей к электромагнитному воздействию / П. А. Николаев // Технологии ЭМС. – 2014. – № 4. – С. 72–75.
12. Приложение 1 к решению ГКРЧ от 7 мая 2007 г. № 07-20-03-001 // Минкомсвязь России. – Режим доступа: http://minsvyaz.ru/ru/doc/?id_4=302 (дата обращения: 10.10.2014), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
13. Приложение 3 к решению ГКРЧ от 7 мая 2007 г. № 07-20-03-001. Устройства охранной радиосигнализации. – Режим доступа: <http://minsvyaz.ru/common/upload/docs/20070619163831OU.doc> (дата обращения 10.10.2014), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
14. Приложение 13 к решению ГКРЧ от 7 мая 2007 г. № 07-20-03-001. Телематические устройства на транспорте. – Режим доступа: <http://minsvyaz.ru/common/upload/docs/20080625085835Jg.doc> (дата обращения: 10.10.2014), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
15. Aminev D. Recommendations for the choice of antenna transceivers of decentralized self-organizing networks / D. Aminev, R. Azizov, S. Uvaysov // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий : материалы Международной научно-технической конференции / отв. ред. И. А. Иванов; под общ. ред. С. У. Увайсова. – Москва : Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», 2013. – С. 480–481.
16. Kolganov A. GSM modules in energy efficient M2M-systems / A. Kolganov, A. Sviridov // Innovative information technologies : materials of the International scientific-practical conference. – 2014. – Part 3. – P. 333–337.

References

1. Aminev D. A., Manokhin A. I., Semenenko A. N., Uvaysov S. U. Topologicheskaya teplovaya model' pary «elektronnyy komponent-termodatchik» [Topological thermal model of the couple electronic component-sensor]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 1(29), pp. 146–155.
2. Breyman A. D. Infologicheskoe proektirovanie baz dannykh na osnove kinematicheskogo podkhoda [Infological database design using kinematics-based approach]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 2 (26), pp. 115–126.
3. Brumshteyn Yu. M., Tarkov D. A., Dyudikov I. A. Analiz modeley i metodov vybora optimalnykh sovokupnostey resheniy dlya zadach planirovaniya v usloviyakh resursnykh ogranicheniy i riskov [The models and methods analysis of optimum choice for decisions sets in conditions of resources restrictions and risks]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 3 (23), pp. 169–180.
4. GOST 50905-96. Road vehicles. Electronic equipment. General technical requirements. Introduced 1997–07–01. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 1996. 17 p.
5. GOST R 54618-2011. Global Navigation Satellite System. The system of extra-response in case of accidents. Methods of test for automotive systems / devices call the ex-friction operational services to

meet the requirements for electromagnetic compatibility, resistance to climatic and mechanical influences. Introduced 2012–09–01. Moscow, Standardinform Publ., 2012. 28 p.

6. Kandyrin Yu. V., Kamaev V. A., Kononov M. Ye., Shkurina G. L. Strukturirovanie variantov v elektronnykh spravochnykh sistemakh vybora [Structuring options in electronic reference systems of choice]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 2 (30), pp. 93–104.

7. Kechiev L. N. *Proektirovanie pechatnykh plat dlya tsifrovoy bystrodeystvuyushchey apparatury* [Design of printed circuit boards for high-speed digital hardware], Moscow, OOO «Gruppa IDT» Publ., 2007. 616 p.

8. Kolganov A. A. Avtomobilnye okhrannye sistemy. Istoriya, sostoyanie i perspektivy [Car security systems. History, current state and prospects]. *Sbornik trudov VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii uchashchikhsya i studentov* [Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference of Pupils and Students], Protvino, Upravlenie obrazovaniya i nauki Publ., 2013, part 2, pp. 791–794.

9. Kolganov A. A., Lisitsyn I. Yu. Analiz elementnoy bazy dlya realizatsii sovremennoy avtomobilnoy radiookhrannoy sistemy [Analysis of components for the implementation of modern automotive systems radiosecurity]. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie* [Quality. Innovation. Education], 2015, no. 8, pp. 36–44.

10. Kofanov Yu. N. *Avtomatizirovannaya sistema ASONIKA v proektirovanii radioelektronnykh sredstv* [Automated system ASONIKA in the design of electronic tools], Moscow, Moscow Institute of Electronics and Mathematics Publ. House, 2012. 58 p.

11. Nikolaev P. A. Ustoychivost avtomobiley k elektromagnitnomu vozdeystviyu [Vehicle Stability to electromagnetic interference]. *Tekhnologii EMS* [Technologies of EMC], 2014, no. 4, pp. 72–75.

12. Prilozhenie 1 k resheniyu GKRCCh ot 7 maya 2007 g. № 07-20-03-001 [Application 1 to the decision of the SCR by May 7, 2007 no. 07-20-03-001]. *Minkomsvyaz Rossii* [Russian Ministry of Communications]. Available at: http://minsvyaz.ru/ru/doc/?id_4=302 (accessed: 10.10.2014).

13. Prilozhenie 3 k resheniyu GKRCCh ot 7 maya 2007 g. № 07-20-03-001. *Ustroystva okhrannoy radiosignalizatsii* [Application 3 to the decision of the SCR on May 7, 2007 no. 07-20-03-001. Radiosignalization security devices]. Available at: <http://minsvyaz.ru/common/upload/docs/20070619163831OU.doc> (accessed: 10.10.2014).

14. Prilozhenie 13 k resheniyu GKRCCh ot 7 maya 2007 g. № 07-20-03-001. *Telematicheskie ustroystva na transporte* [Application 13 to the SCR decision of 7 May 2007 no. 07-20-03-001. Telematics devices for transport]. Available at: <http://minsvyaz.ru/common/upload/docs/20080625085835Jg.doc> (accessed: 10.10.2014).

15. Aminev D., Azizov R., Uvaysov S. Recommendations for the choice of antenna transceivers of decentralized self-organizing networks. *Innovatsii na osnove informatsionnykh i kommunikatsionnykh tekhnologiy: materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Innovations Based on Information and Communication Technologies. Proceedings of the International Scientific Conference], Moscow, Moscow Institute of Electronics and Mathematics Publ. House, 2013, pp. 480–481.

16. Kolganov A., Sviridov A. GSM modules in energy efficient M2M-systems. *Innovative information technologies. Materials of The International Scientific-Practical Conference*. 2014, part 3, pp. 333–337.

USING CONNECTIONIST METHODS IN THE DIAGNOSIS OF NETWORKED CONTROL SYSTEMS: APPLICATION TO THE OPERATION OF A WIND TURBINE

Article came to edition 12.09.2015, in a final version – 22.09.2015.

KODJO Koffi Mawugno, Associate Professor, National High School of Engineers, University of Lomé (Maitre Assistant, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs, Université de Lomé), BP 1515 Lomé (TOGO), e-mail: rig_kodjo@yahoo.fr

AJAVON Ayité Sénah Akoda, Associate Professor, National High School of Engineers, University of Lomé (Maitre de Conférences, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs, Université de Lomé), BP 1515 Lomé, Togo, e-mail: senajavon@hotmail.com

SALAMI Adekunlé Akim, Associate Professor, National High School of Engineers, University of Lomé (Maitre Assistant, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs, Université de Lomé), BP 1515 Lomé, Togo, e-mail: akim_salami@yahoo.fr

BEDJA Koffi-Sa, Professor, National High School of Engineers, University of Lomé (Professeur Titulaire, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs, Université de Lomé), BP 1515 Lomé, Togo, e-mail: bedjaeugene@yahoo.fr

For support of stable exploitation of various equipment types very often it is used computer applications, including special Computerized Maintenance Management Systems (CMMS). The diagnostic operations for equipment are the most important part of these CMMS. Often, the important aim of CMMS application is differentiating of various types of equipment failures. It is especially difficult to make it at remote diagnostics of equipment, located at long distances. Results of diagnostics can be used for decision-making about management of equipment operating modes (regimes), estimates of need of repair operations carrying out and so forth. Networked Control Systems (NCSs) are implied in all spheres of human activity. In the field of industrial production the development of those new technologies have been led to emergence of several categories of industrial local area networks (field networks, cell networks, control and monitoring networks) and several communication standards (Modbus, Profibus, FIP, Profinet and so fort). To improve quality of diagnostic results, it is necessary to know the parameters dynamics for various components of the system. It will allow, in particular, differentiating faults of control and communication systems, used for remote diagnostics and management of equipment. The main aim of this work – automating process of failure analysis for remote actuator of wind turbine, located on remote site. This aim is reached due to application of NCS, using connectionist methods. Authors utilized neural networks, which had the homeostasis property.

Keywords: wind turbine, wind generators systems simulator; network control systems, connectionist methods, neural networks, homeostasis, internal environment, external environment

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБЛАСТИ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ РАБОТЫ АЭРОГЕНЕРАТОРА

КОДЖО Коффи Мавуньо, доктор, доцент, Университет Ломе-Того, BP 1515, г. Ломе (Togo), e-mail: rig_kodjo@yahoo.fr

АЖАВОН Айте Сэна, доктор, професор, Университет Ломе-Того, BP 1515, г. Ломе (Togo), e-mail: senajavon@hotmail.com

САЛАМИ Аким Аденкуле, доктор, доцент, Университет Ломе-Того, BP 1515, г. Ломе (Togo), e-mail: akim_salami@yahoo.fr

БЕДЖА Коффи-Саа, доктор, професор, Университет Ломе-Того, BP 1515, г. Ломе (Togo), e-mail: bedjaeugene@yahoo.fr

Очень часто, когда нужно выполнить техническое обслуживание оборудования, используется программное обеспечение автоматизированных систем управления техобслуживанием (CMMS). Управляемые через сети системы (SCR) сейчас присутствуют во всех сферах деятельности человека. В области промышленного производства появление новых технологий привело к возникновению локальных промышленных сетей следующих категорий: полевые сети, цеховые сети, сети контроля и управления. Кроме того, было разработано несколько специальных стандартов связи, включая Modbus, Profibus, Fip, Profinet и др. Цель данной работы – решение задач автоматизации анализа отказов ветроэлектрогенераторов, вырабатывающих электроэнергию за счет силы ветра. Рассматриваемые задачи относятся к области дистанционной диагностики (теледиагностики). При этом в разработанной авторами системе мониторинга используются методы искусственного интеллекта, основанные на алгоритмах работы нейронных сетей, обладающих свойством гомеостазиса; коннективистских методов.

Ключевые слова: ветроэлектрогенератор, симулятор ветроэлектрогенератора, управляемые через сеть системы, методы искусственного интеллекта, дистанционная диагностика, нейронные сети, гомеостазис, внутренняя среда, внешняя среда

Introduction. With the development of automated systems and electronics (Actuators Sensors Interface Of Communication Circuits - ASICs), the reducing of costs and the current need to better manage of production system, that receive data related to an application as soon as possible, consult, control or modify the parameters of a remote application have emerged new wiring and communication technologies among the various components of automation. Also they ensure the diagnosis or maintenance of remote actuator.

Nowadays Automated Production System (APS) has important features which include integration of computation, control, and communication in a reliable system that can increase the performance of the process. The peer-to-peer architecture, which can connect the central computer or programmable controller (PLC) to sensors and actuators of the installation depending on whether you chose automation oriented to «system» or to «problem», is no longer sufficient because of the complexity and physical features increase of the latter. The introduction of the architecture of common bus communication network allows optimize the reliability, efficiency, and flexibility of these applications thus solving the problem of higher cost – by reducing time of implementation and maintenance.

The interest to the study of NCS (Networked Control Systems) is not new [3, 12, 15, 19]. The main characteristic of NCS is the information (the set point, the output signal, the control laws) which is exchanged between various components of the system (preactuators, actuators, sensors, and controllers) through a communication network.

The key problem of NCS monitoring is to detect first faults, affecting at the whole system and also to distinguish faults of communication channel (congestion or collusion of information, loss of data, and delay in the communication) from those of the target driven or controlled. In this area there are also several important works, such as Nilson [16] and Zhan et al. [21].

The aim of our work is to automate the failure analysis of remote actuator by applying tele-diagnosis of NCS with the usage of connectionist methods (known as neural networks). This methodology is applied to operation control of wind turbine, located on isolated site. The structure of this paper is the following: at first it is presented the study of environment for networked controlled systems and its specificities; at the second step it presents the transmission network; at the third step it has been analyzed the results of our simulation; finally a conclusion is derived.

Environment study system controlled network. NCS is a control system in which the control loops are closed through a communication network – as shown in the block diagram of figure 1.

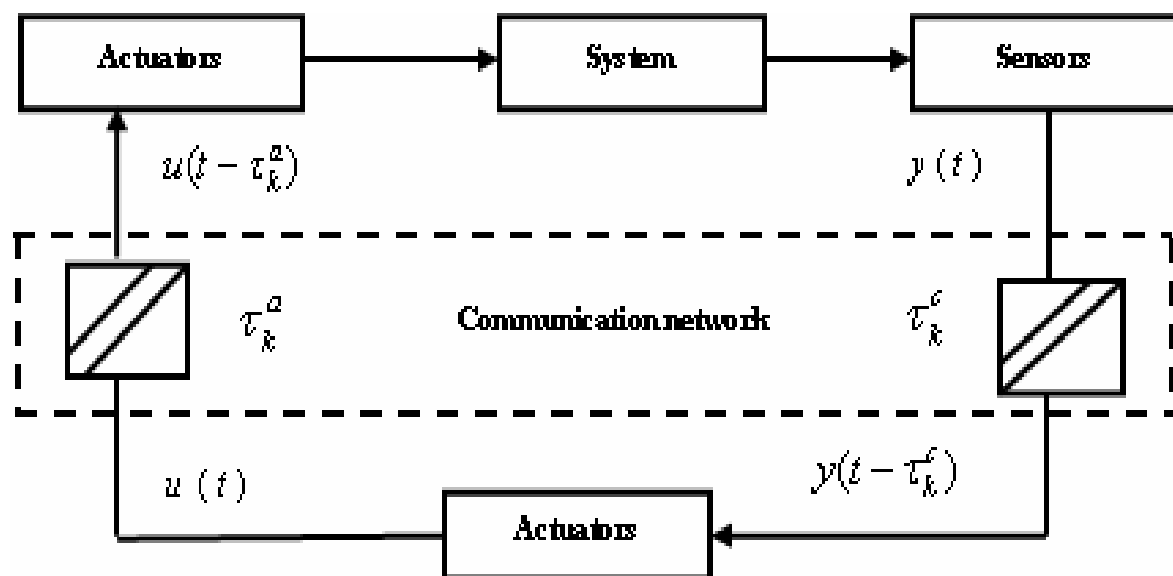


Fig. 1. Block diagram of a conventional system controlled network

For such system, the data arrive from the sensors to the controllers with a delay τ_k^c , generated by the communication network and controllers, and reach the actuators with a delay τ_k^a induced by the network controllers and actuators. The input control signals $u(t - \tau_k^a)$ and output signals $y(t - \tau_k^c)$ have respective delays of τ_k^a and τ_k^c . These delays may influence the performance and robustness of NCS components and can lead to significant degradation of control or diagnostic effectiveness of entire system [4, 13].

Control and diagnosis of NCS are based on dynamic models with a delay. Characteristics depend on several parameters such as transmission protocol, length of the network, network load and interconnection equipment of various system devices. Currently, the modeling of NCS can be subdivided into three categories (fig. 2): from modeling 'tools of physics and mathematics (knowledge models); modeling tools using industrial data (logic models); modeling tools from mathematics learning (models without a priori).

The paper refers to a combination of knowledge models of actuators (generator coupled with a wind turbine) obtained by the deterministic method in direct chain of system command, and in the feedback chain the «model without a priori» method.

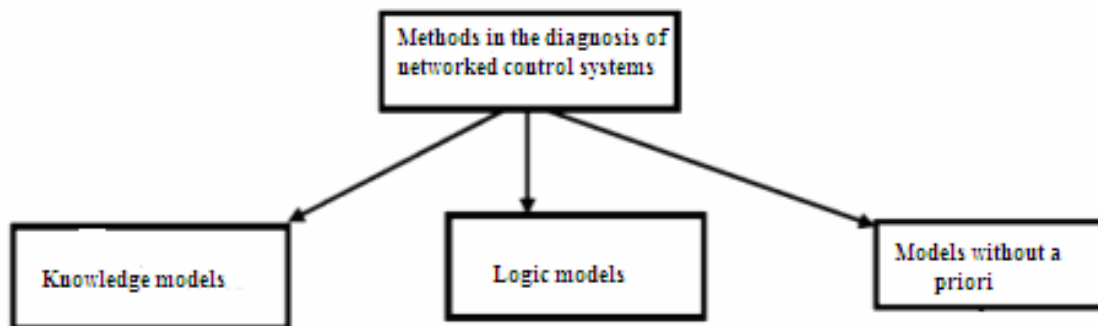


Fig. 2. Classification of methods of NCS diagnosis

The learning environment of networked control systems is used in this work and is named as NNWinTurbLab (Wind Turbine Neural Network Laboratory) - it is far from being a CMMS in a classical sense. We developed a wind simulator with a convenient for usage graphical interface. The NNWinTurbLab allows the linkage between two software types - such as MATLAB and Excel. This linkage is intended to access models of rotary electric actuators, to wind motors (rotors), which can be coupled to obtain various types of wind turbine, behavior patterns models and wind energy production exploration models implemented with MATLAB with its Simulink component [8, 9, 14]. This simulator has the ability to use the remote switch CODIS, allowing a remote equipment monitoring and control, providing a usage of remote diagnostic systems based on neural networks with connectionist methods, utilizing homeostasis.

In the development of laws for controlling systems and processes, the notion of «internal environment» and «external environment» is an essential one. The perfect machine, to which the control engineer tends to mimic in recent years through its models, being human. It was admitted in the late 19-th century by the famous assertion of La Mettrie and Cabanis brain secretes thought as the liver bile, «that the brain is the control center of the body» [5, 8].

This concept of «internal» and «external» environment expresses the correspondence between a living organism, a living body, and an internal environment that ensures the biological unity of the animal and gives its autonomy in the external environment [5].

The principle of the survival or the conservation instinct, that animates all living things, is expressed by the need for a constant of this internal environment which is called homeostasis. It reports on the existence of restoring forces whenever requested, under the influence of variations of internal environment to take abnormal values [5]. The two corollaries of homeostasis are stability and adaptability:

- stability, because the constancy of the internal environment means the ability to resist changes in external and internal environment;
- adaptability, which expresses a causal relationship between the perturbations and the regulatory mechanisms, they have caused.

The formulation of diagnosis is fundamentally based on the strength of industrial process to changes in the external and internal environment. Once the level of resistance is weakened or inhibited the causes of this weakening or inhibition would define the diagnosis. The state of homeostasis of industrial system is achieved by the supervised self-organizing properties and universal approximation of neural networks [8], driven by a remote data acquisition device.

The problem of stability and control of NCS has been demonstrated in [18]. However it is the deterministic models of Ye et al [20] developed under the diagnosis of CRS that will hold our attention. It is used in this case a discrete state observer to generate residues from system equations (1):

$$\begin{cases} x(k+1) = \bar{A}x(k) + \bar{B}_0(\tau_k)u(k) + \bar{B}_1(\tau_k)u(k-1) + \bar{B}_f f(k) \\ y(k) = \bar{C}x(k) \end{cases}, \quad (1)$$

where x is the state vector ($x \in \mathbb{R}^n$); u – is the input vector ($u \in \mathbb{R}^{k_u}$); y is the output vector ($y \in \mathbb{R}^{k_y}$); τ_k is the constant; $\bar{A} = e^{Ah}$ is the state matrix; h is the sampling period; $\bar{B}_i(\tau_k) = \int_{h-\alpha_i-1}^{h-\alpha_i} e^{A(h-t)} B dt$ avec ($i=0,1,\dots,m$) is the input matrix; τ_m is the maximum known delay; τ_k is the delay, imposed between sensors / controllers and controllers / actuators; α_i is the moment when the command $u(k-i)$ arrives at the actuator to the k -th sampling period and $f(k) = \int_0^h e^{A(h-t)} B_f f(kh+t) dt$ with B_f designating the matrix influence of defects; $\bar{C} = C$ is the output matrix.

Expressing the state observer through its gain, we receive the equation (2):

$$\begin{cases} \hat{x}(k+1) = \bar{A}\hat{x}(k) + \bar{B}u(k) + L(y(k) - \bar{C}\hat{x}(k)) \\ \hat{y}(k) = \bar{C}\hat{x}(k) \end{cases}, \quad (2)$$

where L is the gain of the state observer and:

$$\bar{B} = \int_0^h e^{At} B dt = \bar{B}_0(\tau_k) + \bar{B}_1(\tau_k).$$

The residual $r(k)$ is obtained as follows:

$$\begin{cases} r(k) = V(y(k) - \hat{y}(k)) \\ r(k+1) = V(y(k+1) - \hat{y}(k+1)) \\ \quad = V\bar{C}[(\bar{A} - L\bar{C})e(k) - \bar{B}_1(\tau_k)\Delta u(k) + \bar{B}_f f(k)] \end{cases}, \quad (3)$$

where $\Delta u(k) = u(k) - u(k-1)$; $e(k) = x(k) - \hat{x}(k)$ is the estimation error; $r(k)$ is the residual vector and $V \in \mathbb{R}^{n \times q}$ and orthogonal to $\bar{C} \in \mathbb{R}^{n \times q}$ is the projection matrix.

From the residue expression of (3) we notice that it depends on both the observation error $e(k)$ of the delayed input $\Delta u(k)$ and faults $f(k)$. In case when $\tau_k = 0$, $\bar{B}_1(\tau_k) = 0$ generates the following conditions: $r(k) = 0$ which implies $f(k) = 0$ and $r(k) \neq 0$ then $f(k) \neq 0$. In this case the residue signal depends both of a delay and a defect. A study of the sensitivity of residual $r(t)$ could identify the parameters that affect it [4, 11].

Ye et al [20] used the space parity for the robust diagnosis of NCS compared to the delay τ_k (a bounded delay) using Taylor approximation property of order 1 which yields the matrix $\bar{B}_1(\tau_k) \approx \tau_k B$. Subsequently this artifact allows multiplying the residual $r(k)$ of the delay and $x(k)$ to make it sensitive to the actuators defects. In our case, we replaced the Taylor approximation by the universal neural networks approximation. Hopfield's neural network was used in [6]. Hopfield's approach is relatively new, although it uses many known results. According to this approach, the neural system searches for stable states, attractors in its states' space. Neighboring states tend to approach a stable state, allowing the correction of errors, and the ability to complete missing information. The Hopfield network is a content addressable memory: a memorized shape is found by a stabilization of the network, if it has been stimulated by an appropriate part of this form. Hopfield proposed a model able to achieve such properties, based on a network of McCulloch and Pitts [8], all parts of this model are interconnected and the Hebb rule is a learning one [5]. Under such conditions the model can be presented by equation (4).

$$O_j^h = f(W_0^h + \sum_j W_j^h E_j^h), \quad (4)$$

where: E is a set of examples to classify; E_j^h is the value of the j -th element of example; W_j^h is the weight value, connecting the j -th input cell to that of decision. W_0^h is the bias – O^h is the response of the decision cell. For example h – T^h is the desired response for example h .

It shows that during the evolution of the network, which tends to approach its steady state, an energy function (5), similar to that of ISING spin glasses, decreases to a local minimum [8]. This analogy allows using of a large number of results from statistical physics to the study of its storage capacity.

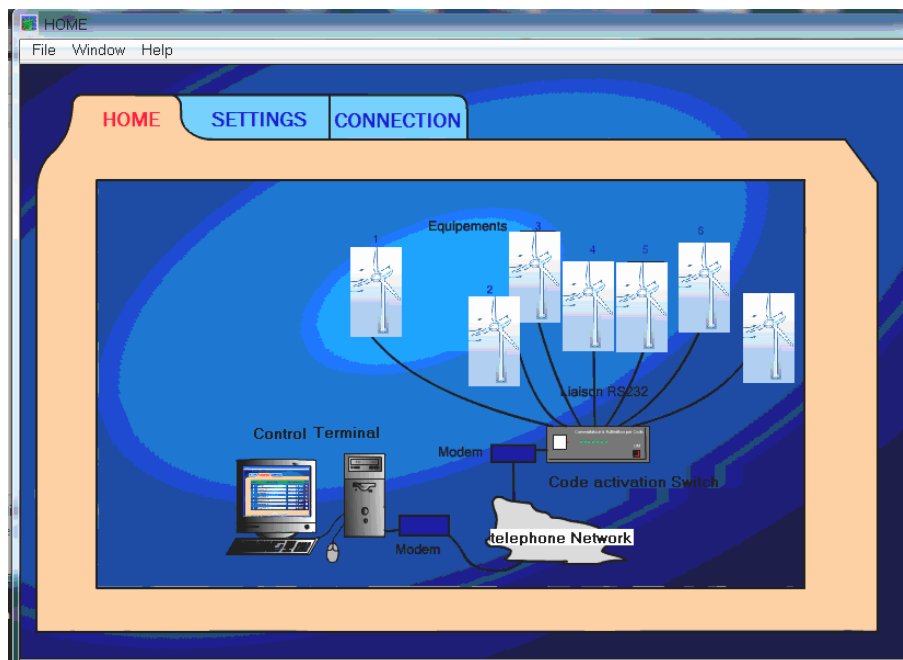
$$H(V) = \sum_i \sum_j T_{ij} V_i V_j, \quad (5)$$

where T_{ij} is the connection of a neuron i to a neuron j ; $\sum_j T_{ij} V_j$ is the total input of a neuron i ; V_i is the state of neuron i at time t .

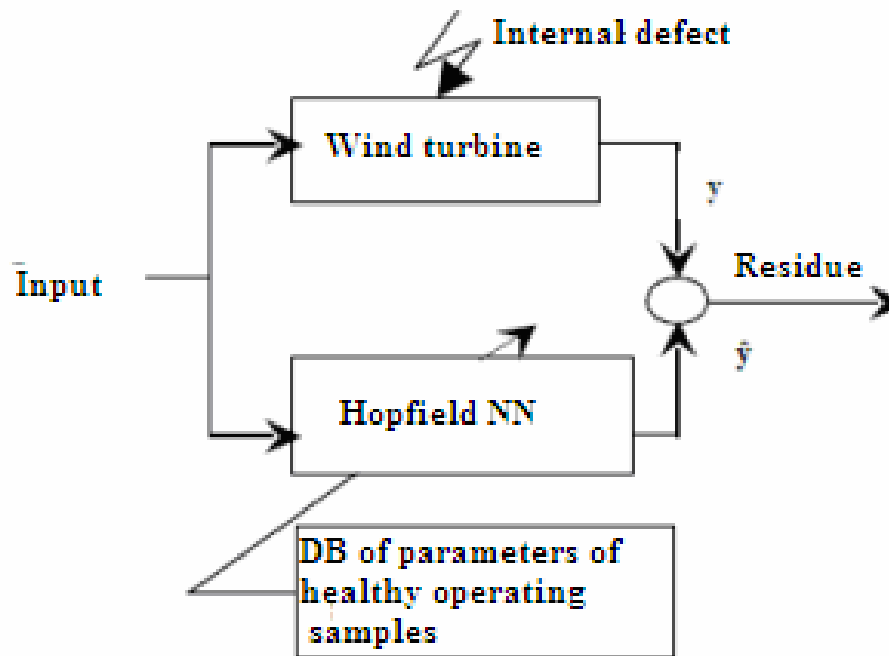
Hopfield's model is a fully connected neural network, operating according to a stochastic dynamic of states. This simple model yields interesting results in self- and hetero-association. In its simplest structure it nevertheless has some shortcomings. They are trash states and catastrophic forgetting [6]. Furthermore the «thermodynamic» approach can offer a dual use of Hopfield networks in optimization problems and classification by the simulated annealing algorithm. Thus, the problem of local minima finds a solution. The Hopfield network ultimately appears as a fully connected network, whose rule is a unsupervised learning [1, 8, 10].

NCS telediagnosis through NNWinTurbLab virtual environment. To identify defects in a system, an analysis, made by neural networks, must have sufficient number of good working examples of defects to be able to learn from. During the learning phase, the examples which presented to the network input corresponding with diagnoses at the output. The self-organizing network learns to combine the examples shown diagnostics. After training, the network not only recognizes learned examples, but also some similar paradigms, which corresponds to certain robustness with respect to the signal deformation by noises. The major drawback is how to determine a methodology to control inner problems, which are mainly the choice of the structure and size of the network and learning algorithms for a specific problem. However, the main reason for their interest in industrial diagnosis is their ability to learn and remember a large amount of information [10, 17].

The virtual environment study is shown in figure 3. It consists of NNWinTurbLab wind simulator, installed on the «Control Terminal»; a CODIS transmission medium, consisting of two modems; the switch activation code, developed by us as a part of this work; data acquisition interfaces from the sensors, associated with wind turbines from 1 to 7 – as shown in figure 3. The NNWinTurbLab simulator is also installed on the computers thereby (1) generating examples for the neural network learning; (2) simulates various types of defects.



a) Virtual Environment Study



b) Virtual Environment structure

Fig. 3. Virtual environment for an NCS study and diagnosis

The graphical interfaces of NNWinTurbLab. Each NNWinTurbLab GUI consists essentially of menu bar, a toolbar, links to the various tabbed pages, that describe the relevant models and a «Run» button to access them. These models and links are shown in figure 4. The knowledge

models of the generators developed in MATLAB with its component Simulink are deducted from the generalized model of two-phase to Ferrari-Tesla, applied to actual cases by PARK matrices for AC generators [9]. The models, presented in the turbine wind simulator, are implemented with a multilayer neural network using a learning algorithm, based on gradient descent of Levenberg-Marquardt method [8] for their regulation, or a neural predictive controller type NARMA-L2 (Non-Linear Autoregressive Moving Average) [10]. The simulator also allows modeling of the wind farm to assess its potential, using a neural network, the Hopfield network.

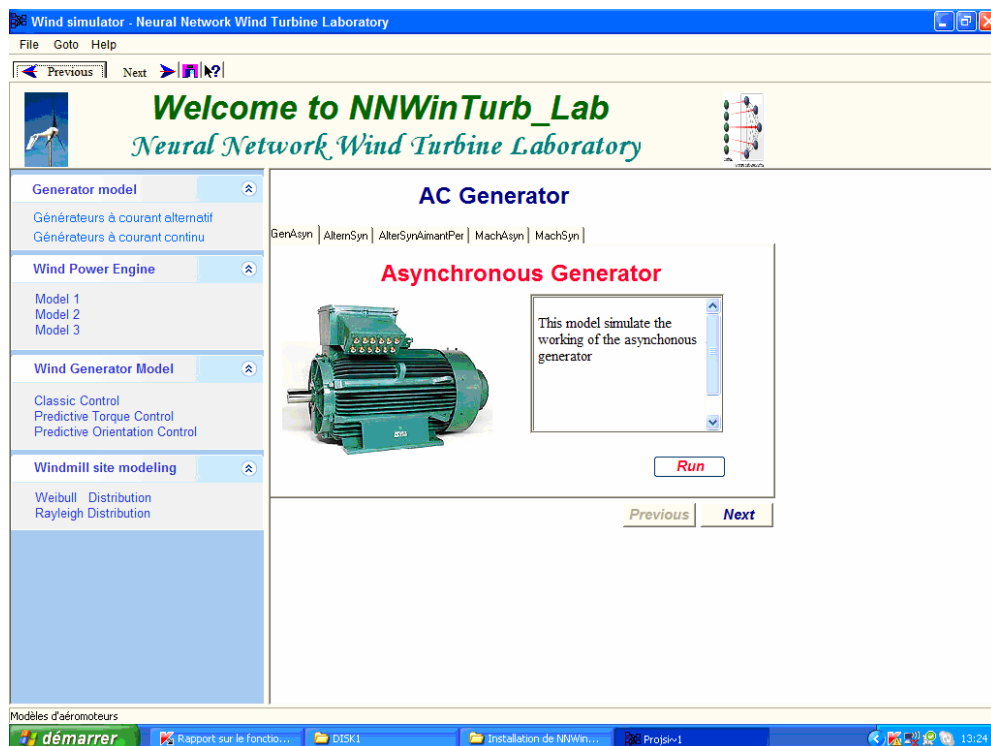
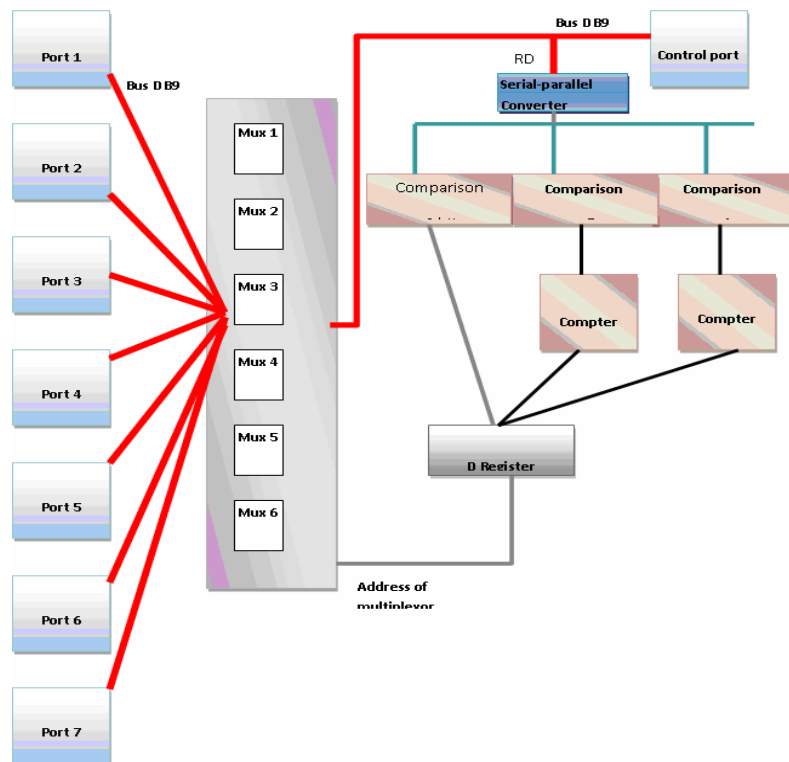


Fig.4. The GUIs NNWinTurbLab

Linkage of MATLAB, Excel and Circuit Maker in NNWinTurbLab. The linkage is essential for communication between the GUI and various software types. We implemented functions DDE (Dynamic Data Exchange) and COM (Component Object Model) of the Windows platform for the exchange of data, stored in memory. To establish this link, we have used the COM model to automate and to make exchanges more secure. Automation implements the COM protocol that defines how an application accesses an object residing in another application or DLL. An automation controller is a client application that controls an automation server via one or more objects provided by the server that implements the IDispatch interface [2, 14]. The graphical interface (a client) handles the automatic loading of MATLAB, Excel and Circuit-Maker (servers) at an application startup. The communication channel is then established and the data exchange via COM functions, built into MATLAB, Excel and Circuit-Maker (*Execute* namely) [2].

Description of the switch CODIS. The code activated switch is a device that is used to select local or remote equipment, which needs to be controlled. It has several communication ports on which equipment will be connected for remote monitoring, and a control port – to be connected either directly to the control computer or (through a modem) for remote control. The switch has seven DB9 ports – inputs, on which it is connected the equipment (computers with installed NNWinTurbLab) and an output, which is obviously connected to the transmission line through a modem. The output

also uses a DB9 port. The switch operates on an external power supply of 9 Volts. Then an integrated controller regulates the voltage at 5 V. It is virtual, because it is fully developed under the Circuit Maker. Its structure and graphical interface developed in Visual Basic are represented in figure 5.



a) Material Structure of CODIS



b) CODIS GUI

Fig. 5. Structure and physical GUI of CODIS

Through the switch two types of data pass: the data exchanged between the selected device and the controlling terminal; the control data for the switches. All these types of data are encoded in ASCII. The switch needs to analyze the received characters and to determine the type of data, to which the equipment belongs. To resolve this problem and to increase the reliability of the switch, it accomplishes a specific action, based on a specific received code - as listed in table 1.

Table 1

Codes of connection and disconnection by CODIS

Actions	Hexdecimal Codes
Port № 1 Connection	0040 0040 0040 0040.0040 0040 0040 0040 0031
...	...
Port № 7 Connection	0040 0040 0040 0040.0040 0040 0040 0040 0031
Port № 1 Disconnection	005E 005E 005E 005E 005E 005E 005E 005E 0031
...	...
Port № 7 Disconnection	005E 005E 005E 005E 005E 005E 005E 005E 0037

Results and the analysis. Now the imperative is to find the alternative sources to fossil energy ones. In this direction there is a growing enthusiasm for wind energy. Most wind turbines generators, that are converters of mechanical energy of wind into electricity, are asynchronous machines. In such devices multiple failures can occur. They can be predictable or untimely, mechanical or electrical. Their causes are diverse and can be classified into two main families. (1) External failures: mechanical (load torque pulsation, overload incorrect installation), environmental (temperature, humidity, dirt, salinity); electrical (transients, unbalance, voltage fluctuation). (2) Internal failures: mechanical (friction stator-rotor eccentricity, bearing defects, displacement of the windings); electrical (stator faults and rotor, insulation faults) [7].

The simulated faults in this paper are the rotor defects. The optimal approach possible to simulate a bar (or a broken ring portion) is artificially increasing of the value of the resistance of the bar (or ring portion) by a sufficient factor to extent that the current flowing through it is as possible close to zero in a steady state (a cracked bar can be taken into account for an example).

The structure of the Hopfield network, implemented for the treatment of various data consisting of the residues generated using equation (3), by classification is summarized in four tables. In table 2 classification is done by network architecture.

Table 2

Classification by network architecture

Designations	Values
Number of neurons in the hidden layer	21
Sampling interval (in seconds)	0,0001
Number of inputs	3
Number of Outputs	3

Table 3 is based on classification of data, used for network learning.

Table 3

Classification of data, used for network learning

Designations	Values
Number of elements in the training and validation set	200
Maximum value of the input	30
Minimum value of input	1
Maximum time interval (in seconds)	1
Minimum time interval (in seconds)	10^{-5}

Table 4 used learning parameters.

Table 4

Learning Parameters, used for network classification	
Designations	Values
Number of iterations	100
Output Activation function	Stochastic
Learning algorithm	Adaptive back propagation

The performance of this neural architecture is given by the parameters in table 5.

Table 5

Performance parameters of neuronal classifier		
	Accuracy	Rel. Entropy
All	0,594	0,232
Train	0,610	0,228
Test	0,558	0,241

This table shows that the used network is a Hopfield network. The key performance indicator is the relative entropy (Rel. Entropy). It can be noted, that the test has an accuracy rate of 94,4 % compared to learning examples. So the network implementation decreases the entropy.

The results, obtained by the virtual environment study described above for the simulation of malfunctions due to broken bars, are summarized in Figure 6.

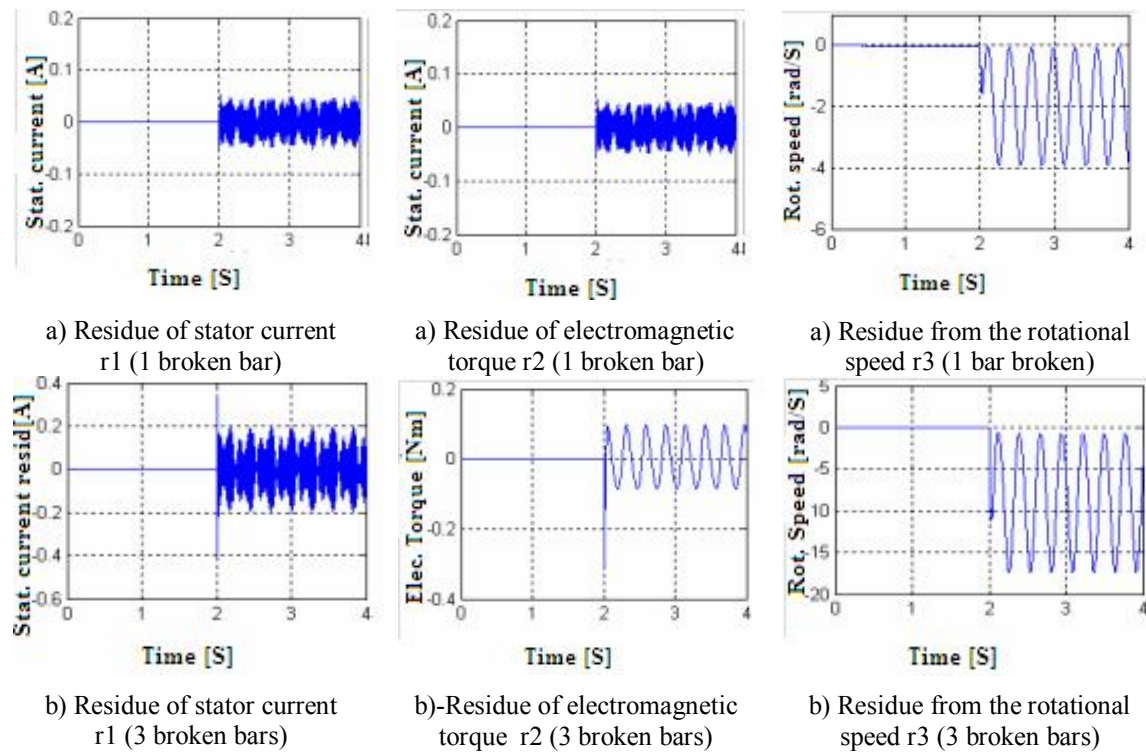


Fig.6: The residues, generated by the breaking of one bar (cases «a») or 3 bars (cases «b»)

The curves in figure 7 represent the residues, generated by the system during the break of a portion or portions of two rings.

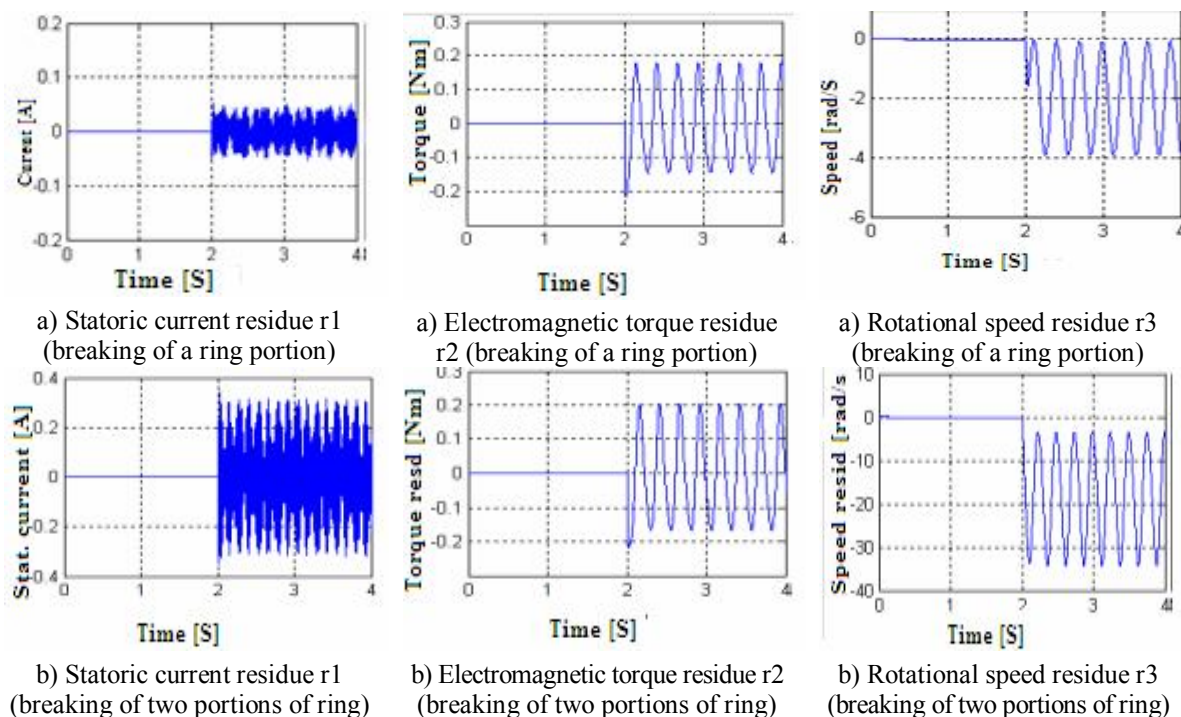


Fig. 7. Residues, generated during the breaking of a portion (cases «a») or two ring portions (cases «b»)

It was observed, that the amplitudes of generated residues classes compared to the system characteristics (stator current, electromagnetic torque and generator speed) shown on the figure 8 considered characteristics of normal or healthy operation, increases when the damage increases in each fault category.

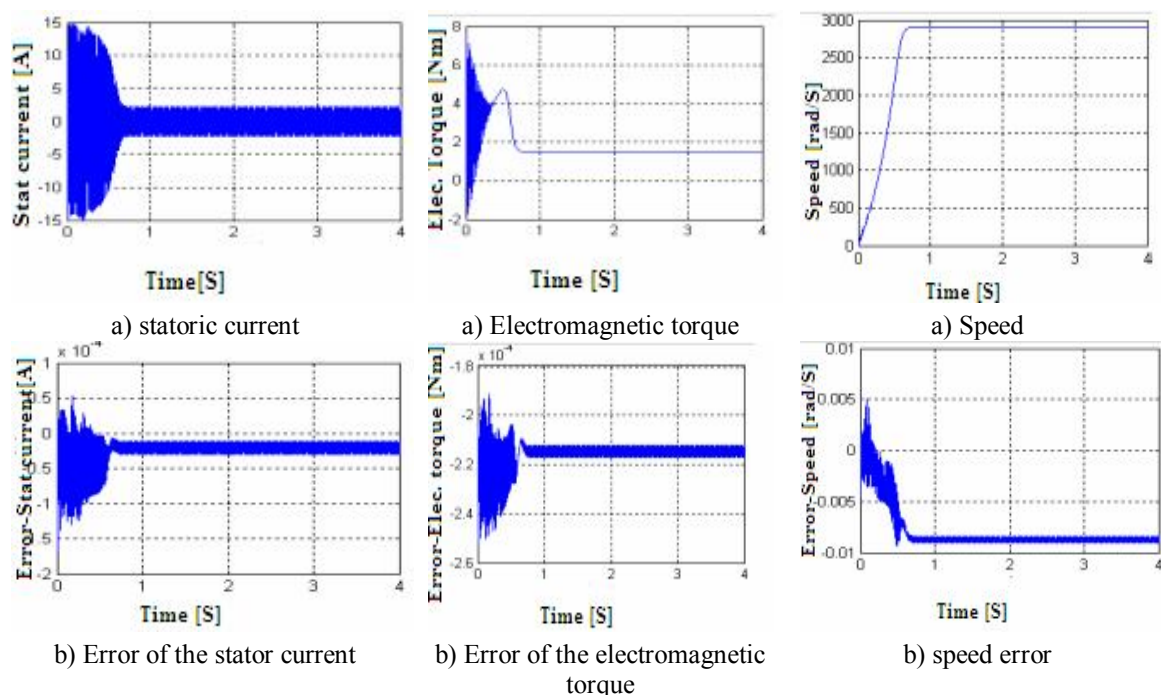


Fig. 8. Characteristics of the wind turbine generator in healthy operation
The classification results of Hopfield neural networks are shown in Table 6.

Table 6

Results of classification of defects by Hopfield network

State of the wind turbine generator	Amplitude of r1	Amplitude of r2	amplitude of r3
Healthy state	< 0,010	< 0,005	< 0,2
1 broken bar	< 0,060	< 0,030	< 4,0
3 barres adjacent broken	< 0,210	< 0,100	< 17,5
1 ring portion broken	< 0,300	< 0,200	< 29,0
2 portions of adjacent rings broken	< 0,350	< 0,215	< 34,5

From table 6 we noted that the usage of network, based on the connectionist calculation and cognitive techniques, not only allows more accurate detection of malfunctions for turbine of generator, but also provide their easier location.

Conclusion. The main purpose of this paper was to show, that connectionist methods are effective in the diagnosis of networked systems – on the example of controlling wind turbine through its electric generator (an induction machine). Such control can lead to improving of performances (in relation to the current level) due to usage of fast Fourier transform (FFT – Fast Fourier Transform) approach to process measurable quantities - such as current and voltage.

The results obtained in this paper can be considered as a contribution to a new approach that can be called «system approach», in particular based on the signal classification. This approach can be called «class-based signal approach» either by the time-frequency representation or by the amplitude or shape of the signal, which is generated in our case. The parameters of this signal are compared to another signal. The results of this comparison characterize stable and healthy operating condition of the actuator.

This new approach in the diagnosis would allow more detailed exploration of the defects (such as those mechanical – breakage of the blades, bearings wear various levels, the asymmetry of the axis of the wind generator) by increasing the number of inputs of the neural network. This increase would result in a proliferation of sensors and certainly would make the system more expensive. However it should be noted, that the expertise would not fail in cases, where it proves necessary to implement such systems diagnostics. This new approach opens the way for the use of remote diagnostics systems in new tools - such as fuzzy logic, the combination of neural networks and fuzzy logic, expert systems and genetic algorithms.

Список литературы

1. Ackley D. H. A learning algorithm for Boltmann machines / D. H. Ackley, G. E. Hinton, T. J. Sejnowski // Cognitive Science. – 1985. – Vol. 9. – P. 147–169.
2. Borland Inprise Corp. Delphi 5, Guide du Développeur. – Avril 1999.
3. Branicky M. S. Stability of Networked Control Systems Explicit Analysis of Delay / M. S. Branicky, S. M. Phillips, Zhang // Proceedings of American Control Conference. – 2000. – Vol. 4. – P. 2352–2357.
4. Faraz K. Ould-Bouamama, Intelligent Monitoring of an Industrial Robot / K. Faraz, R. Merzouki // 9th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems. – Szczecin Poland, October 2008.
5. Heeb D. O. The organisation of behaviour / D. O. Heeb. – New York : Wiley, 1949.
6. Hopfield J. J. «Unlearning» has a stabilizing effect in collective memories / J. J. Hopfield, D. I. Feinstein, R. G. Palmer // Nature. – 1983. – Vol. 304. – P. 158–159.
7. Ivanov-Smolenski A. Machines électriques / A. Ivanov-Smolenski. – Moscow : Mir, 1983.
8. Kodjo M. K. Approche connexionniste pour la modélisation et l'optimisation du rendement d'un aérogénérateur : thèse de doctorat / M. K. Kodjo. – Octobre 2005.
9. Kodjo M. K. Modélisation de la conversion électromécanique des machines électriques tournantes sous Simulink / M. K. Kodjo, K. Bedja, A. S. Ajavon, A. A. Salami // Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé (Togo). – 2005. – Vol. 7, № 1. – P. 9–24.

10. Kodjo M. K. C. Lishou: Neural networks for predictive control of the mechanism of orientation of a wind turbine / M. K. Kodjo, K. Bédja, A. S. A. Ajavon, R. M. Faye, C. Lishou // JSPI. – 2008. – № 9. – P. 75–85.
11. Lam J. A New Delay System Approach to Network-Based Control / J. Lam, H. Gao, C. Wang // Automatica. – 2008. – Vol. 44, issue 1. – P. 39–52.
12. Lian F. Analysis, Design, Modeling, and Control of Network Control Systems : Ph. D. dissertation / F. Lian. – Departement of Mechanic Engineering, the University of Michigan, 2001.
13. Malek-Zavarei M. Time-Delay Systems: Analysis, Optimization and Application / M. Malek-Zavarei, M. Jamshidi. – North-Holland, 1987.
14. Mokhtari M., Apprendre et maîtriser MATLAB / M. Mokhtari, A. Mesbah. – Springer-Verlag, Berlin, 1997.
15. Nilson J. Stochastic analysis and Control of Real – Time Systems with Random Time Delays / J. Nilson, B. Bernhardson // Automatica. – 1998. – Vol 34, issue 1. – P. 57–64.
16. Nilson J. Real-Time Control System with Delays / J. Nilson. – Lund : Departement of Automatic Control, Lund Institut of Technology, 1998.
17. Ondel O. Diagnostic par reconnaissance des formes : application à un ensemble convertisseur machine asynchrone : thèse de doctorat / O. Ondel. – Ecole centrale de Lyon, 2006.
18. Richard J. P. Systèmes Commandés en réseaux / J. P. Richard, T. Divoux. – 2006
19. Walsh G. C. Stability Analysis of Networked Control Systems / G. C. Walsh, H. Ye, Bushnell // Proceedings of American Control Conference. – 2000. – Vol. 4. – P. 2876–2889.
20. Ye H. A New Party Space Approach for Fault Detection Based on Stationary Wavelet Transform / H. Ye, G. C. Walsh // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2004. – Vol. 49, issue 2. – P. 281–287.
21. Zhan P. Fault Detection of Networked Control Systems with Missing Measurements / P. Zhan, S. X. Din, P. M. Franck, Sader // Proceedings of the 5th Asian Control Conference. – 2004. – P. 1258–1263.

References

1. Ackley D. H., Hinton G. E., Sejnowski T. J. A learning algorithm of Boltzmann machines. *Cognitive Science*, 1985, vol. 9, pp. 147–169.
2. Borland Inprise Corp. *Delphi 5, Guide du Développeur*, avril 1999.
3. Branicky M. S., Phillips S. M., Zhang Stability of Networked Control Systems Explicit Analysis of Delay. *Proceedings of American Control Conference*, 2000, vol. 4, pp. 2352–2357.
4. Faraz K., Merzouki R., Ould-Bouamama Intelligent Monitoring of an Industrial Robot, *9th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems*, Szczecin Poland, October 2008.
5. Hebb D. O., *The organisation of behaviour*. New York : Wiley (1949).
6. Hopfield J. J., Feinstein D. I., Palmer R. G. «Unlearning» has a stabilizing effect in collective memories. *Nature*, 1983, vol. 304, pp. 158–159.
7. Ivanov-Smolenski A. , *Machines électriques* (Volume 2). Edition «Mir», Moscow, 1983.
8. Kodjo M. K., *Approche connexionniste pour la modélisation et l'optimisation du rendement d'un aérogénérateur*, Thèse de Doctorat Unique Octobre 2005, ENSI.
9. Kodjo M. K., Bédja K., Ajavon A. S., Salami A. A. Modélisation de la conversion électromécanique des machines électriques tournantes sous Simulink. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé (Togo)*, 2005, vol. 7, no. 1, pp. 9–24.
10. Kodjo M. K., Bédja K., Ajavon A. S. A., Faye R. M., Lishou C. Neural networks for predictive control of the mechanism of orientation of a wind turbine. *JSPI*, 2008, no. 9, pp. 75–85.
11. Lam J., Gao H., Wang C. A New Delay System Approach to Network-Based Control. *Automatica*, 2008, vol. 44, issue 1, pp. 39–52.
12. Lian F. *Analysis, Design, Modeling, and Control of Network Control Systems*, Departement of Mechanic Engineering Publ. House, the University of Michigan Publ. House, 2001
13. Malek-Zavarei M., Jamshidi M. *Time-Delay Systems: Analysis, Optimization and Application*, North-Holland, 1987.
14. Mokhtari M., Mesbah A. *Apprendre et maîtriser MATLAB*, Springer-Verlag, Berlin, 1997.
15. Nilson J., Bernhardson B. Stochastic analysis and Control of Real – Time Systems with Random Time Delays, *Automatica*, 1998, vol 34, issue 1, pp. 57–64.

16. Nilson J. *Real-Time Control System with Delays*, Lund, Departement of Automatic Control Publ. House, Lund Institut of Technology Publ. House, 1998
17. Ondel O. *Diagnostic par reconnaissance des formes : application à un ensemble convertisseur machine asynchrone*, Ecole centrale de Lyon Publ. House, 2006.
18. Richard J. P., Divoux T. *Systèmes Commandés en réseaux*, 2006.
19. Walsh G. C., Ye H., Bushnell Stability Analysis of Networked Control Systems, *Procedings of American Control Conference*, 2000, vol. 4, pp. 2876–2889.
20. Ye H., Walsh G. C. A New Party Space Approach for Fault Detection Based on Stationary Wavelet Transform, *IEEE Trasactions on Automatic Control*, 2004, vol. 49, issue 2, pp. 281–287.
21. Zhan P., Din S. X., Franck P. M., Sader Fault Detection of Networked Control Systems with Missing Measurements, *Procceding of the 5th Asian Control Conference*, 2004, pp. 1258–1263.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

На страницах журнала представлены результаты исследований и новейшие разработки в области физических и технических наук. Ведущие направления публикаций отражены в следующих рубриках:

- Управление в социальных и экономических системах.
- Математические и инструментальные методы экономики.
- Системный анализ, управление и обработка информации.
- Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.
- Информационно-измерительные и управляющие системы.

1. В журнале публикуются материалы на английском и русском языках по тематике, соответствующей утвержденным для журнала отраслям наук и тематическим рубрикам.

2. Редакция принимает к рассмотрению следующие виды материалов:

- а) статьи с результатами оригинальных исследований и разработок;
- б) обзорно-аналитические статьи;
- в) информацию о результатах научных, научно-производственных и научно-методических мероприятиях по тематике журнала, которые проводились на базе Астраханского государственного университета (АГУ);
- г) сведения о юбилейных датах, новых публикациях Издательского дома «Астраханский университет» по тематике журнала.

3. Объем публикаций для пунктов «а» и «б» должен быть не меньше 5 и не больше 16 страниц, для остальных видов материалов – не более 2 страниц. Превышение объема в 16 страниц допускается только в виде исключения – на основе мотивированного заявления авторов статьи и письменного согласия проректора по научной работе АГУ.

4. Информация по пунктам «в» и «г» считается не научными публикациями, а информационными материалами. Такие материалы могут публиковаться от имени редакции журнала или конкретных авторов (соавторов). В списки научных работ авторов они не должны включаться.

5. Сроки экспертного рассмотрения редколлегией поступивших статей – не более 1 месяца.

6. Публикация материалов осуществляется в основном в порядке их поступления в редколлегию журнала. Однако редакция может принимать решения и о внеочередной публикации особенно важных или актуальных материалов.

7. Содержание каждой статьи должно включать следующие блоки (разделы):

- Название статьи и сведения об авторах.
- Аннотацию и ключевые слова. Объем аннотации – от 100 до 250 слов. Количество ключевых слов – от 8 до 12.
- Название статьи, сведения об авторах, аннотацию и ключевые слова на английском языке (для англоязычных статей – на русском).
- Введение должно заканчиваться формулировкой цели работы.
- Собственно текст статьи – при необходимости с заголовками разделов (подразделов).
- Выводы или заключение (должны соответствовать формулировке цели статьи).
- Для русскоязычных статей – библиографический список на языках оригиналов статей и дополнительный список с транслитерацией на латиницу.

8. В отношении содержания статей предъявляются следующие требования:

8.1. Количество авторов (соавторов) не должно превышать четырех. В обоснованных случаях это количество может быть увеличено, но при этом соавторы дополнительно должны представить обоснование с характеристикой содержания/объема работы, выполненной каждым из них. В список соавторов работ включаются только те, которые внесли творческий вклад в подготовку представленных материалов. Лицам, оказавшим только техническую помощь, можно выразить благодарность в конце статьи.

8.2. К статье приводится два списка литературы: первый – на языке оригиналов работ, второй – с транслитерацией первого списка на латиницу согласно правилам в журналах из списка SCOPUS (References).

В первом списке порядок следования источников – сначала русскоязычные, затем иноязычные. В обоих сегментах первого списка (русскоязычном и иноязычном) сортировка источников должна быть выполнена по алфавиту.

Во втором списке (на латинице) порядок следования источников должен совпадать с первым списком. В списке на латинице, помимо транслитераций названий статей и журналов, необходимо в квадратных скобках дополнительно приводить их переводы на русский язык.

Количество источников в списке литературы в представляемых статьях – не менее пяти. Верхняя граница количества источников не лимитируется. В список литературы целесообразно включать только источники, имеющие прямое отношение к теме/содержанию статьи и с момента опубликования которых прошло не более пяти лет.

На все источники, включенные в список литературы, должны быть даны ссылки в тексте статьи – в виде номеров источников внутри квадратных скобок. Если ссылка дается на несколько источников, то внутри квадратных скобок они перечисляются через запятую. При необходимости авторы могут указывать номера страниц в источниках. Приветствуются ссылки на иноязычные источники, а также на материалы, опубликованные ранее в журнале «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии».

Наличие в статьях ссылок на иноязычные источники, которые составляют преобладающую часть научных публикаций в мире, отражает знакомство авторов с зарубежными публикациями, современным мировым уровнем исследований. Отсутствие таких ссылок может оправдываться спецификой отдельных статей, посвященных исключительно внутрироссийской проблематике. Количество ссылок на учебники и учебные пособия необходимо ограничить, так как они не рассматриваются в качестве научных публикаций.

Ссылки в библиографическом списке на материалы, размещенные в Интернете, допускаются при соблюдении следующих условий:

- если у материала, на который дается ссылка, имеется автор и/или название, то они должны быть указаны для источника;
- должен быть приведен полный маршрут доступа к источнику в Интернете;
- должна быть указана дата обращения к источнику.

Если для статьи существует и печатный, и электронный варианты, то следует указывать ссылку только для первого из них.

Ограничения по списку литературы:

- доля самоцитирований для любого из авторов статьи, а также по совокупности всех авторов, не должна превышать 30 %;
- доля ссылок на статьи с участием одного автора, не являющегося автором (соавтором) статьи, не должна превышать 30 %.

8.3. Суммарная доля таблиц и иллюстраций в общем объеме представляемой статьи не должна превышать 40 %. Под иллюстрациями понимаются следующие объекты: диаграммы; графики; рисунки; эскизы; фотографии; карты и т.п.

8.4. Доля оригинального текста в статьях (оцениваемого через систему «Антиплагиат» на сайте www.antiplagiat.ru) должна быть не менее 85 %, для статей обзорного и экономико-управленческого характера – не ниже 80 %.

8.5. Один человек может быть автором (соавтором) не более двух статей в одном номере (выпуске) журнала. При этом единственным автором он может быть только в одной из статей. Ограничение по данному пункту не распространяется на материалы, соответствующие пунктам «в», «г», которые носят информационный характер.

8.6. Для уменьшения объемов текста в статьях могут использоваться аббревиатуры (сокращения). Все нестандартные сокращения должны быть расшифрованы при первом появлении их в тексте. Количество используемых нестандартных аббревиатур нужно ограничить, так как

большое количество аббревиатур ухудшает читаемость текста. Расшифровки аббревиатур в аннотациях и основном тексте следует давать независимо друг от друга.

8.7. Указание на то, что работа финансируется по какому-либо гранту, в рамках Федеральной целевой программы, государственного заказа и пр. дается в виде постраничной сноска после заголовка (названия) работы. Если источников финансирования более одного, то могут даваться две и более сноски.

8.8. В журнале «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии» по каждому публикуемому материалу указываются даты поступления в редколлегию:

- первоначального варианта статьи (материала);
- финального (окончательного) варианта с внесенными исправлениями по замечаниям рецензентов и редколлегии.

9. В отношении технического оформления статей (материалов) предъявляются следующие требования:

9.1. Текст должен быть расположен по ширине страницы формата А4 с учётом полей (левое, правое – 2,5 см, верхнее, нижнее – 2,5 см), набран шрифтом Times New Roman, кегль 14, межстрочный интервал 1,0.

Как правило, содержание работы должно быть размещено на страницах с книжной ориентацией. Альбомная ориентация страниц допускается только в порядке исключения для следующих случаев: широкоформатные таблицы с большим количеством колонок; иллюстрации большого размера, которые не умещаются на странице с альбомной ориентацией.

Абзацные отступы должны быть одинаковыми по всему тексту – 1,25 см. Кавычки («»), скобки ([], ()), маркеры и другие знаки должны быть сохранены аналогичными на протяжении всего предоставляемого для публикации материала.

9.2. Заголовки и подзаголовки в тексте представляемого авторами материала оформляются в виде соответствующих стилей (Заголовок 1, Заголовок 2 и т.д. с включенной автоматической нумерацией), отделяются от основного текста 1 (одним) интервалом и располагаются по центру строки. Заголовки (наименования разделов) записываются прописными буквами, подзаголовки (наименования подразделов) – строчными. Переносы слов в заголовках не допускаются, в подзаголовках – не рекомендуются. Точки в конце заголовков и подзаголовков не ставятся.

Переносы в текстах статей (материалов) автоматические (путь: сервис, язык, расстановка переносов). Желательно убирать переносы в словах, используемых в ссылках (сносках) и аннотациях.

Размерность всех величин, используемых в представляемых материалах, целесообразно давать в системе единиц СИ.

9.3. Требования к оформлению таблиц:

- шрифт Times New Roman, кегль 9; ширина таблиц – 13 см, портретная ориентация страниц;
- все таблицы в представляемом материале должны иметь сквозную нумерацию арабскими цифрами;
- в отдельной строке пишется слово «Таблица» (шрифт Times New Roman, кегль 9, выравнивание по правому краю), после которого через пробел следует порядковый номер таблицы;
- на следующей строке (без пропуска) размещается заголовок таблицы в виде 1–2 строк текста, набираемого стилем: шрифт Times New Roman, кегль 9, жирный, по центру, межстрочный интервал 1,0, запрет висячих строк, запрет переноса;
- тело таблицы размещается после заголовка по ширине поля;
- содержимое ячеек таблиц центрируется по горизонтали и вертикали границы – 0,5 пт;
- в представляемом материале таблицы должны располагаться сразу после окончания абзацев, в которых даны ссылки на них. Части таблиц не должны попадать в зону полей листа формата А4. При переносе таблиц на другую страницу следует повторять их шапки.

9.4. Требования к оформлению формул. Формулы должны быть выполнены с помощью средств Microsoft WORD в редакторе формул Microsoft Equation Editor (допускается создание формул в MathType).

Формулы последовательно нумеруют по всему тексту статьи с использованием круглых скобок, расположенных по правому краю листа. Нумерация формул осуществляется независимо от нумерации таблиц и рисунков.

При нумерации формул авторы могут исходить из двух подходов:

- нумеруются все формулы, расположенные в отдельных строках или группах строк;
- нумеруются только формулы, на которых есть ссылки в тексте статьи.

Редколлегия убедительно просит авторов не использовать без необходимости «многоэтажные» формулы, которые неоправданно увеличивают размер статьи и затрудняют восприятие.

Размеры шрифтов для формул в MS Equation Editor:

- основные символы – 14 пт.;
- подстрочные и надстрочные индексы – 10 пт.;
- дополнительные индексы для подстрочных и надстрочных индексов – 8 пунктов.

Если это допускает редактор формул или текстовый редактор, то константы в формулах записываются прямым шрифтом, переменные – курсивом (наклонным шрифтом); векторные и матричные величины – полужирным шрифтом.

Скобки в формулах применяются для определения старшинства операций. Могут использоваться записанные нежирным шрифтом круглые, а при необходимости и квадратные скобки.

Использование русских букв в формулах не допускается.

Достаточно распространенной практикой является представление векторных величин в фигурных скобках (предполагается, что это одномерный вектор). Если необходимо указать границы изменения индексов в векторных величинах, то это делается с помощью подстрочных индексов, вынесенных за пределы фигурных скобок. Например:

$$\{B_i\}_{i=1\dots I}.$$

Ссылка на конкретный элемент вектора приводится без фигурных скобок и с индексом. Например:

$$B_i.$$

Матричные величины (двух- и многомерные) могут представляться символами в квадратных скобках. При необходимости в обозначениях таких величин внутри квадратных скобок могут указываться индексы, а вне квадратных скобок – указываться границы изменения этих индексов.

$$[A_{i,j}]_{i=1\dots I; j=1\dots J}.$$

При необходимости сослаться на конкретный элемент матрицы (массива) он приводится без квадратных скобок: $A_{i,j}$.

С использованием указанных выше правил система линейных уравнений может быть записана так (предполагается, что размерности массивов «n» указаны ранее).

$$[A]\{X\} = \{B\},$$

где $[A]$ – квадратная матрица размерности «n», $\{X\}$ – вектор-строка неизвестных размерности «n»; $\{B\}$ – вектор-столбец свободных членов размерности «n».

То же самое с использованием «жирных» символов (относящихся к матричным и векторным величинам) может быть записано как:

$$\mathbf{A} \mathbf{X} = \mathbf{B}.$$

При этом должно быть пояснено, что является матрицей, а что – векторами.

Все применяемые в формулах обозначения должны быть расшифрованы в тексте статьи до места расположения формулы или после первого появления этих обозначений в формулах. Расшифровка обозначений осуществляется только однократно. Редакция просит авторов воздержаться от использования в формулах одинаковых символов для обозначения различных величин в разных местах текста.

В случае необходимости «длинные» формулы могут переноситься на следующие строки, при этом знаки арифметических операций в местах «разрывов» указываются только однократно. Например, так:

$$\begin{aligned} H_{m,l}(\Theta^{(i)}, \Theta^{(j)}) &= \sqrt{\omega_i \omega_j} (\sin \theta^{(i)} \sin \theta^{(j)})^{0.5} \\ &\times (K_{m,l}(\theta^{(i)}, \theta^{(j)}) \\ &+ K_{m-1,l}(\theta^{(i)}, \theta^{(j)})). \end{aligned}$$

Альтернативным решением для «длинных формул» является использование дополнительных обозначений, которые затем сразу расшифровываются. Также нежелательно использовать «многоэтажные» формулы. Например, формула

$$H_{i,j} = \left(\frac{\Omega}{\Delta} \right)^2 \frac{|J|^2}{E_g + \frac{1}{2}(W_c + W_v)} e^{\lambda K R_{i,j}}$$

может быть представлена как

$$H_{i,j} = A(B/C)D,$$

где

$$A = (\Omega/\Delta)^2; \quad B = |J|^2; \quad C = E_g + 0.5(W_c + W_v); \quad D = \exp(\lambda K R_{i,j}).$$

9.5. Иллюстрации размещаются непосредственно в тексте статьи (выбор места их размещения осуществляется исходя из логики изложения) и сопровождаются подписями под ними. Публикация иллюстраций в журнале осуществляется в черно-белом варианте. В статьях, размещенных на страничках сайта журнала, иллюстрации показываются в цветном варианте.

Каждая иллюстрация, включаемая в текст статьи (материала), представляется в графическом формате:

- графики, диаграммы, рисунки и т.п. представляются в векторных форматах;
- для фотографий, образов экранов и т.п. объектов целесообразно использовать растровый формат jpeg или tiff.

Требования к оформлению иллюстраций:

- ширина рисунков, фотографий, диаграмм, графиков, схем – не более 13 см;
- все обозначения на иллюстрациях должны быть разъяснены в тексте или в подписи к иллюстрациям;
- линии на рисунках: основная – 1,5, тонкая – 0,75;
- графические элементы, входящие в иллюстрации, должны быть «сгруппированы» средствами MsWord.
- подписи к иллюстрациям выполняются обычным стилем и начинаются с обозначения «Рис.», затем после одного пробела следует номер иллюстрации арабскими цифрами (нумерация сквозная), затем после пробела текст подписи. Шрифт: Times New Roman, 9, по центру, междустрочный интервал 1,0, запрет висячих строк, запрет переноса;
- все иллюстрации должны быть центрированы по ширине страницы.

10. Кроме собственно статей авторы представляют в редколлегию:

10.1. Сканированное изображение авторской справки с подписями всех авторов. Справка должна включать оценку доли оригинального текста в статье (на сайте www.antiplagiat.ru). Форму справки смотри ниже.

Авторские справки представляются также на материалы по пунктам «в» и «г», публикуемые от имени конкретных авторов.

10.2. Сканированное изображение внешней рецензии на статью с подписью рецензента, указанием его ученой степени, занимаемой должности, заверяющей подписью, печатью организации. Термин «внешняя рецензия» означает, что человек, дающий рецензию, не должен работать ни

в качестве штатного сотрудника, ни по совместительству в любой из организаций, где работают соавторы статьи. Рецензент должен быть специалистом именно в той отрасли знаний, по которой авторами направлена статья для опубликования и иметь соответствующую ученую степень.

Рецензент не может быть соавтором для авторов статьи в работах, которые опубликованы в любых изданиях в течение года до момента подписания им рецензии.

На материалы по пунктам «в» и «г», публикуемые от имени конкретных авторов, рецензии не представляются.

11. При необходимости редколлегия имеет право запросить у авторов отдельных работ представление в виде оригиналов на бумаге следующих материалов:

- текста статьи с визами всех авторов на каждом листе;
- авторской справки с подписями авторов;
- внешней рецензии;
- актов экспертизы в отношении возможности опубликования материалов статьи в открытой печати (такие акты представляются авторами только по требованию редакции).

12. Переписка авторов с редакцией ведется по адресу электронной почты журнала **U_i_VT@aspu.ru**. По этому же адресу могут быть направлены замечания и комментарии читателей, относящиеся к опубликованному в журнале материалам.

13. Оплата статей осуществляется авторами по требованию редакции только после принятия статей к публикации.

СПРАВКА

от авторов статьи «**»**

1. Результаты проверки статьи системой антиплагиат на сайте ****.

Дата проверки *****

Процент оригинального текста ****

2. Статья авторами вычитана, фамилии и инициалы авторов проверены, цитаты и фактические данные сверены с первоисточниками.

3. В отношении всех заимствований текста и графических объектов, в статье сделаны необходимые ссылки. Цитаты в тексте заключены в кавычки и источники их заимствования указаны в списке литературы.

4. В статье отсутствуют сведения, носящие секретный характер, являющиеся закрытыми служебными материалами организаций, а также представляющие собой коммерческую тайну.

5. Переданная в редакцию журнала статья не находится на рассмотрении в других изданиях в отношении определения возможности ее опубликования.

6. Авторы дают свое согласие на размещение материала статьи в электронной форме на сайте журнала в Интернете, а также на сайте www.elibrary.ru, ООО «Издательство "Лань"», ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М» и на сайте других организаций, с которыми у АГУ заключены договоры.

7. После опубликования статьи в журнале авторы имеют право размещать ее текст на личных страничках в Интернете, а также на сайтах тех организаций, где они работают – при условии обязательного указания на место опубликования материала.

8. В случае перевода по инициативе редакции текста статьи с русского языка на иностранный для размещения на «не русскоязычных» страницах сайта Астраханского государственного университета, текст перевода должен быть согласован с авторами статьи.

Авторы

ПОДПИСИ

По возможности, заверьте подписи в отделе кадров.

На основании приказа ректора АГУ № 08-01-01/193 от 25.03.2011 г. за размещение статей в журнале «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии» установлен следующий порядок оплаты:

- с иногородних и других авторов, не являющихся сотрудниками АГУ, взимать оплату за публикацию в размере 500 рублей за страницу;
- с авторов – сотрудников АГУ взимать оплату в размере 300 рублей за страницу;
- статьи аспирантов АГУ, равно как и любых других вузов и научных учреждений, в соответствии с требованиями ВАК публиковать бесплатно.
- аспирантам необходимо оформить годовую подписку на журнал.

При публикации в соавторстве статей аспирантов и других лиц, не являющихся аспирантами, оплату производить в соответствии с долевым участием авторов: аспиранты в соответствии с требованиями ВАК публикуются бесплатно, другие лица в соответствии с вышеперечисленными пунктами.

Оплата производится только после принятия решения редакционной коллегией журнала, о чем авторам сообщается в письме.

В адрес редакционной коллегии просим направлять:

- внешнюю рецензию на статью, заверенную подписью рецензента и печатью учреждения, а для иногородних авторов – электронную копию рецензии или факсограмму;
- сопроводительное письмо с указанием рубрики, к которой относится статья, полных имён, отчеств и фамилий авторов, регалий, места работы, должности (на русском и английском языках), а также номеров контактных телефонов и адреса электронной почты (обязательно);
- отсканированную квитанцию об оплате (после принятия решения редакционной коллегией).

Реквизиты для оплаты публикаций:

ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный университет»

Адрес г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

Тел. 48-53-47, 48-53-46, факс 48-53-46

ИНН 3016009269 КПП 301601001

УФК по Астраханской области (Астраханский государственный университет) л /с 20256Ц14780)

Расчетный счет № 40501810400002000002

в ГРКЦ ГУ Банка России по Астраханской области г. Астрахань

БИК 041203001

Код ОКОНХ 92110

Код ОКПО 02079218

КБК 000000000000000000130

Код ТОФК 2500

ОКТМО 127 010 000 00

Обязательно указывать назначение платежа: Ф.И.О. автора, название и номер журнала, название статьи.

При несоблюдении указанных правил статьи публиковаться не будут.

Главный редактор журнала – д-р экон. наук, проф. Александр Павлович Лунев.

Ответственный секретарь – канд. техн. наук, Юрий Моисеевич Брумитейн.

Адрес редколлегии: 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, ауд. 216,
тел. (8512) 61-08-03, 54-18-17 (раб.), факс (8512) 61-08-43, e-mail: U_i_VT@aspu.ru.

Телефоны Издательского дома «Астраханский университет»: (8512) 48-53-47 (отдел маркетинга), 48-53-44, тел./факс (8512) 48-53-46.

RULES FOR THE AUTHORS

The results of the researches and the latest developments are presented on the pages of the journal. The leading directions of the journal are reflected in the following headings:

- “Management in social and economic systems”.
- “Mathematical and instrumental methods of economy”.
- “System analysis, management and information processing”.
- “Mathematical modeling, numerical methods and program systems”.
- “Informational-measuring and measuring systems”.

The article requirements: urgency, high scientific level, good style of statement.

Publication frequency is 4 times a year.

All the materials entering the editorial board of the journals are checked on citing and percentage of the borrowed text using Internet-service “Anti plagiarism”. The ratio of the original and borrowed texts should be 70 % to 30 %, that is the percentage of borrowings should not exceed 30 %. The articles not meeting this requirement are not admitted to publication.

The volume of publications is no less than 0.3 printed sheets (5 pages) and no more than 1.0 printed sheets (16 pages).

Article design

The text should be disposed along the width of the page taking into account the margins (left, right ones – 2.5 cm, upper, lower ones – 2.5 cm), be typed by Times New Roman, size of type 14, interlinear interval 1.0. The indentations should be equal along the whole text – 1.25 cm. Quotation marks (“”), brackets ([], ()), markers and other signs should be kept similar over the whole material.

The dimension of all units of measurement is in the size of SI.

Photos, figures, diagrams, graphs, schemes are only black-and-white, should be made in graphic editors supporting vector graphics. Raster images, for example, scanned or made in the editor Paint, are admitted only in exceptional cases (for example, photos of samples). All figures should be numbered and have subpicture captions.

In the address data of the authors it’s necessary to use the generally accepted variant of the organization name. For all the variants of way of writing of the author’s surname be considered under one profile (identifier), the authors should indicate one place of employment.

The author’s abstract (annotation) is called upon to fulfill the function of the information source independent of the article.

1. The annotations should be informative, interesting, structured, compact, original, correspond to the requirements of novelty, urgency, academism, reliability.

2. The annotations should be structured. The annotation should reveal the novelty, urgency, the aim of the work, method or methodology of carrying out the work, the results of the work, the field of application of the results, conclusions.

In the annotation, as in the article, it is necessary to cite the concrete data received as a result of the research.

The volume of the annotation is 100–250 words.

The text of the author’s abstract should be laconic and clear, minor information free, notable for convincing statements.

The payment is performed only after making a decision by the editorial board of the journal that is informed to the authors in the letter.

We ask to send to the address of the editorial board:

- electronic copy of the review or fax;
- accompanying letter with indication of the heading to which the article is referred, full names, patronymic names, last names of the authors, regalia, place of employment, and also contact phone numbers and e-mail addresses (it is obligatory);
- scanned payment receipt (after making a decision by the editorial board).

Address of the editorial board: room 216, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, phone 8 (8512) 61-08-03, 54-18-17 (work), fax 8 (8512) 61-08-43, e-mail: *U_i_VT@aspu.ru*.

Phone of the Publishing House “Astrakhan University”: 8 (8512) 48-53-47 (marketing department), 48-53-44, phone/fax 8 (8512)48-53-46.

ПОРЯДОК РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ РУКОПИСЕЙ

Автор представляет в редакцию рукопись, оформленную в соответствии с «Правилами для авторов».

Затем рукопись направляется по профилю научного исследования или по тематике рассматриваемых в рукописи вопросов на рецензию членам редколлегии соответствующей области научного издания, курирующим данную тематику, или экспертам – ученым и специалистам в данной области (докторам, кандидатам наук).

Рецензенты уведомляются о том, что присланные им рукописи являются частной собственностью авторов и относятся к сведениям, не подлежащим разглашению. Рецензентам не разрешается делать копии рукописей для своих нужд.

Рецензирование проводится конфиденциально. Рецензия носит закрытый характер и предоставляется автору рукописи по его письменному запросу, без подписи и указания фамилии, должности, места работы рецензента. Нарушение конфиденциальности возможно только в случае заявления рецензента о недостоверности или фальсификации материалов, изложенных в рукописи.

Рецензия может быть предоставлена по соответствующему запросу экспертных советов в ВАК РФ.

В случае положительной рецензии и рекомендации рецензентом материала к публикации рукопись и текст рецензии рассматриваются на заседании редколлегии. Наличие положительной рецензии не является достаточным основанием для публикации статьи. Решение о целесообразности публикации принимается редколлегией и фиксируется в протоколе заседания.

Если рецензент указывает на необходимость доработки материала, рукопись возвращается автору. В таком случае датой поступления в редакцию считается дата возвращения доработанной рукописи. Разъяснение нуждающихся в улучшении аспектов производится редакторами журнала на основании полученной рецензии.

Редколлегия информирует автора о принятом решении. Автору не принятой к публикации рукописи редколлегия направляет мотивированный отказ.

Оригиналы рецензий хранятся в редколлегии в течение пяти лет.

Не рецензируются:

- рецензии на научную литературу, опубликованные в разделе «Рецензии»;
- тексты выступлений на круглых столах.

ORDER OF REVIEWING

The author should submit to the editorial staff the manuscript executed in accordance with the “Rules for the authors”.

The manuscript presented by the author is sent according to the profile of scientific research or topics of the issues considered in the manuscript for review to the editorial board members of the corresponding field of scientific knowledge, supervising this topics, or experts – scientists and specialists in this field (doctors, Ph.D).

The reviewers are notified that the manuscripts sent to them are a private property of the authors and are referred to the information not subject to disclosure. The reviewers are not allowed to make copies of the manuscripts for their needs.

Reviewing is carried out confidentially. The review has a confidential nature and is available to the author at his written request, without a signature and name, position, workplace of the reviewer. Breach of confidentiality is possible only in case of the reviewer’s statement about unreliability or falsification of the materials given in the manuscript.

The review can be provided in Higher Attestation Commission of the Russian Federation at corresponding request of expert councils.

In case of positive review and recommendation of material for publication by the reviewer the manuscript and the review text are considered at the meeting of the editorial board. The presence of positive review is not a sufficient ground for publication of the article. The decision of publication expediency is made by the editorial board and recorded in the minutes of the meeting.

If the reviewer points to the need to rework the material, the manuscript is returned to the author. In this case, the date of receipt to the editorial staff is considered to be the date of return the modified manuscript. Clarifying the aspects needed to be improved is made by the journal’s editors based on the received review.

The editorial board informs the author of the decision made. The editorial board sends a reasoned refusal to the author of the manuscript not accepted for publication.

The review originals have been stored at the editorial office for five years.

Not reviewed:

- reviews on the scientific literature published in the “Reviews”;
- texts of speeches at round tables.

**Подписка на наши издания осуществляется
по Объединенному каталогу «Пресса России»**

Журнал фундаментальных и прикладных исследований **«Естественные науки»**
Подписной индекс – 11172

Журнал публикует теоретические, обзорные (проблемного характера), а также экспериментально-исследовательские статьи по всему спектру естественнонаучных проблем химии, физики, математики, биологии, науки о Земле, истории естествознания, краткие сообщения и информацию о новых методах экспериментальных исследований, а также работы, освещающие современные технологии преподавания естественных наук.

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 1419 р.

Телефон: (8512) 48-53-47. E-mail: asupress@yandex.ru

Журнал фундаментальных и прикладных исследований **«Гуманитарные исследования»**
Подписной индекс – 11171

В журнале публикуются статьи по широкому спектру проблем гуманитарного знания. Ведущие направления публикаций отражены в следующих рубриках: «Язык. Коммуникации», «Проблемы художественного слова», «Воспитание. Образование. Школа», «Юридическая практика. Теория права», «Психология».

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 1760 р.

Телефон: (8512) 48-53-47. E-mail: asupress@yandex.ru

Научно-технический журнал **«Геология, география и глобальная энергия»**
Подписной индекс – 11173

Редколлегия журнала принимает к рассмотрению статьи по проблемам геологии, нефтегазоносности различных регионов, охватывающие важнейшие и крайне полезные для науки и производства, а также для обучения студентов естественного направления.

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 2703 р.

Телефон: (8512) 48-53-47. E-mail: asupress@yandex.ru

Научный журнал **«Каспийский регион: политика, экономика, культура»**
Подписной индекс – 11170

Профиль журнала – анализ проблем настоящего, прошлого и будущего Каспийского региона в их взаимосвязи с современным развитием мира.

Издание имеет многоплановый, междисциплинарный характер, знакомит читателя с исследованиями и дискуссиями во всех областях социальных и гуманитарных знаний по проблемам Каспийского региона.

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 765 р.

Телефон: (8512) 48-53-47. E-mail: asupress@yandex.ru

Научно-технический журнал **«Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии»**
Подписной индекс – 73313

На страницах журнала представлены результаты исследований и новейшие разработки в области физических и технических наук.

Ведущие направления публикаций отражены в следующих рубриках: «Вычислительные системы и сети», «Электроника и схемотехника», «Управление в технических системах», «Технология производства программного обеспечения», «Конструирование датчиков, приборов, систем» и др.

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 998 р.

Телефон: (8512) 48-53-47. E-mail: asupress@yandex.ru

Предлагаем всем желающим разместить в наших изданиях рекламу.

Адрес Издательского дома «Астраханский университет»:
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а; тел. (8512) 48-53-47 (отдел маркетинга),
48-53-41; тел./факс (8512) 48-53-46,
e-mail: asupress@yandex.ru

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ: управление и высокие технологии

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**2015
№ 3 (31)**

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
Федеральной службы по надзору в сфере массовых коммуникаций,
связи и охраны культурного наследия
ПИ № ФС77-31932 от 16 мая 2008 г.

Учредитель
Астраханский государственный университет
Россия, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

Главный редактор А.П. Лунёв

Редактирование, компьютерная правка
Компьютерная верстка

*С.С. Кострыкина
Н.П. Туркиной*

Адрес редакции: Россия, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

Дата выхода в свет 26.10.2015

Цена свободная
Ризография. Уч.-изд. л. 16,3. Усл.-печ. л. 22,8.
Формат 70×108 ¹/₁₆. Заказ №3229.
Тираж 500 экз. (первый завод – 30 экз.)

Оттиражировано на базе Издательского дома «Астраханский университет»
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а
Тел. (8512) 48-53-47 (отдел маркетинга), 48-53-41,
48-53-44, тел./факс (8512) 48-53-46
E-mail: asupress@yandex.ru