

№ 6 (92) ноябрь-декабрь 2015

Издается с 2002 года. Выходит 6 раз в год

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет —
учебно-научно-производственный комплекс» (Госуниверситет – УНПК)

Редакционный совет

Голенков В.А., председатель
Радченко С.Ю., заместитель председателя
Борзенков М.И., секретарь

Астафичев П.А., Иванова Т.Н., Киричек А.В.,
Колчунов В.И., Константинов И.С.,
Новиков А.Н., Попова Л.В., Степанов Ю.С.

Главный редактор

Константинов И.С.

Редколлегия

Архипов О.П. (Орел, Россия)
Аверченков В.И. (Брянск, Россия)
Еременко В.Т. (Орел, Россия)
Иванников А.Д. (Москва, Россия)
Коськин А.В. (Орел, Россия)
Подмастерьев К.В. (Орел, Россия)
Поляков А.А. (Москва, Россия)
Савина О.А. (Орел, Россия)
Раков В.И. (Орел, Россия)

Сдано в набор 15.10.2015 г.

Подписано в печать 26.10.2015 г.

Формат 60x88 1/8.

Усл. печ. л. 7,5. Тираж 300 экз.

Заказ № 146/15П2

*Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65*

Подписной индекс 15998

по объединенному каталогу

«Пресса России»

Материалы статей печатаются в авторской редакции.

**Право использования произведений предоставлено
авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части
ГК РФ.**

Журнал входит в **Перечень ведущих рецензируемых
научных журналов и изданий**, определенных ВАК для
публикации трудов на соискание ученых степеней
кандидатов и докторов наук.

Рубрики номера

1. Математическое и компьютерное моделирование.....5-47
2. Информационные технологии в социально-экономических и организационно-технических системах48-75
3. Математическое и программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем.....76-87
4. Телекоммуникационные системы и компьютерные сети.....88-140
5. Информационная безопасность и защита информации.....141-146

Редакция

*О.И. Константинова
А.А. Митин*

Адрес учредителя журнала

*302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 42-00-24; www.gu-unpk.ru;
E-mail: unpk@ostu.ru*

Адрес редакции

*302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40
(4862) 43-40-39; www.gu-unpk.ru;
E-mail: konstaoksana@yandex.ru; isit@ostu.ru*

*Зарег. в Федеральной службе по надзору в сфере
связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций.*

*Св-во о регистрации средства массовой
информации ПИ № ФС77-47350 от 03.11.2011 г.*

©Госуниверситет – УНПК, 2015

№ 6 (92) November-December 2015

The journal is published since 2002, leaves six times a year

The founder – State University – Education-Science-Production Complex

Editorial council

Golenkov V.A., president
Radchenko S.Y., vice-president
Borzenkov M.I., secretary

Astafichev P.A., Ivanova T.N., Kirichek A.V.,
Kolchunov V.I., Konstantinov I.S.,
Novikov A.N., Popova L.V., Stepanov Y.S.

Editor-in-chief

Konstantinov I.S.

Editorial board

Arhipov O.P. (Orel, Russia)
Averchenkov V.I. (Bryansk, Russia)
Eremenko V.T. (Orel, Russia)
Ivannikov A.D. (Moscow, Russia)
Koskin A.V. (Orel, Russia)
Podmasteriev K.V. (Orel, Russia)
Polyakov A.A. (Moscow, Russia)
Savina O.A. (Orel, Russia)
Rakov V.I. (Orel, Russia)

*It is sent to the printer's on 15.10.2015,
26.10.2015 is put to bed
Format 60x88 1/8.*

*Convent. printer's sheets 7,5. Circulation 300 copies
The order № 146/15П2*

*It is printed from a ready dummy layout
on polygraphic base of State University – ESPC
302030, Orel, Moskovskaya street, 65*

*Index on the catalogue
«Pressa Rossii» 15998*

Journal is included into the list of the Higher Attestation Commission for publishing the results of theses for competition the academic degrees.

In this number

1. Mathematical and computer simulation....5-47
2. Information technologies in social and economic and organizational-technical systems.....48-75
3. Software of the computer facilities and the automated systems.....76-87
4. Telecommunication systems and computer networks.....88-140
5. Information and data security.....141-146

The editors

Konstantinova O.I.
Mitin A.A.

The address of the founder of journal

302020, Orel, Highway Naugorskoe, 29
(4862) 42-00-24; www.gu-unpk.ru;
E-mail: unpk@ostu.ru

The address of the editorial office

302020, Orel, Highway Naugorskoe, 40
(4862) 43-40-39; www.gu-unpk.ru;
E-mail: konstaoksana@yandex.ru; isit@ostu.ru

*Journal is registered in Federal Service for
Supervision in the Sphere of Telecom, Information
Technologies and Mass Communications.
The certificate of registration
ПИ № ФС77-47350 from 03.11.2011.*

© State University – ESPC, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- Е.Е. ВОРОБЬЕВА, И.Н. КОРСАКОВ, С.М. КУПЦОВ*
Использование метода аппроксимации результатов измерений в системе дистанционного мониторинга.....5-11
- П.А. ЛОМОВ, М.Г. ШИШАЕВ*
Формирование когнитивных фреймов на основе онтологических паттернов для визуализации онтологий....12-22
- С.Ю. МАКАРОВА, А.А. ЗАЙЦЕВА*
Оптимизация компетентностной модели образовательных результатов высшего профессионального образования с учетом требований работодателя.....23-31
- О.А. САВИНА, А.Л. МАШКОВА, С.В. САРАПКИНА*
Программная реализация и оценка адекватности модуля «демография» вычислительной модели экспериментальной экономики.....32-38
- Г.С. ТУПИЦИН, А.И. ТОПНИКОВ, А.Л. ПРИОРОВ*
Модификация двухступенчатого алгоритма шумоподавления для улучшения качества идентификации диктора в условиях шумов.....39-47

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

- Д.В. БУДЫЛЬСКИЙ, Е.В. КАРПЕНКО, А.Г. ПОДВЕСОВСКИЙ*
Методика отбора агентов онлайн-социальной сети для мониторинга и анализа общественного мнения.....48-58
- С.С. КОЗУНОВА, А.А. БАБЕНКО*
Система принятия решений инвестирования информационной безопасности предприятий в условиях полной неопределенности.....59-67
- Ю.Б. САВВА, В.Т. ЕРЁМЕНКО, Ю.В. ДАВЫДОВА*
О проблеме лингвистического анализа сленга в задаче автоматизированного поиска угроз распространения наркомании в виртуальных социальных сетях.....68-75

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

- Н.И. КОРСУНОВ, А.А. НАЧЕТОВ*
Метод обнаружения ошибок при выполнении операций сдвигов в вычислительных устройствах.....76-82
- Н.А. ОРЕШИН, С.Н. ЛАЗАРЕВ, В.С. ШУМИЛИН, Е.А. ТАРШИНАЕВ*
Однопродуктовая многополюсная потоковая модель транспортной сети.....83-87

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

- Ю.Б. ИВАНОВ*
Моделирование процесса передачи импульсов по несогласованной линии связи и питания датчиков.....88-96
- В.Ф. МАКАРОВ, В.Ю. ПЕТРОВА*
Аспекты математического моделирования системы ортогонального кодирования.....97-111
- А.И. ОФИЦЕРОВ, А.Б. ФОКИН*
Модель и алгоритм оптимального распределения информационных потоков обмена данными в АСУ промышленного предприятия.....112-121
- А.П. ФИСУН, А.В. НИКОЛАЕВ, А.В. КОЛИНЬКО, Е.Н. ДЕРКАЧ*
Анализ адаптивных алгоритмов повышения качества приема сигналов КВ-диапазона с использованием антенных решеток.....122-133
- Д.С. ХАБАРОВА, В.И. ГРАКОВ*
Задача выбора оптимального проекта сети обмена данными территориальной автоматизированной информационной системы.....134-140

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

- Н.А. ОВЧИННИКОВ, Е.А. МАКСИМОВА*
Разработка модели угроз системы защиты информации «умный дом»141-146

CONTENT

MATHEMATICAL AND COMPUTER SIMULATION

- VOROB'YOVA E.E., KORSAKOV I.N., KUPCOV S.M.*
Using approximations of results of measurements in remote monitoring system.....5-11
- LOMOV P.A., SHISHAEV M.G.*
Approach to ontology visualization based cognitive frames.....12-22
- MAKAROVA S.Yu., ZAJCEVA A.A.*
Optimize competency models educational outcomes of higher professional education with the requirements of the employer.....23-31
- SAVINA O.A., MASHKOVA A.L., SARAPKINA S.V.*
Programming and verification of module demography in computational model of experimental economics.....32-38
- TUPICIN G.S., TOPNIKOV A.I., PRIOROV A.L.*
Modification of the two-step noise reduction technique for improving the quality of speaker identification in noisy conditions.....39-47

INFORMATION TECHNOLOGIES IN SOCIAL AND ECONOMIC AND ORGANIZATIONAL-TECHNICAL SYSTEMS

- BUDY'L'SKIJ D.V., KARPENKO E.V., PODVESOVSKIJ A.G.*
A method of social network agents selection for public opinion analysis and monitoring task.....48-58
- KOZUNOVA S.S., BABENKO A.A.*
System of decision making investment of information security for companies in full uncertainties.....59-67
- SAVVA Yu.B., ERYOMENKO V.T., DAVY'DOVA Yu.V.*
About the problem of the linguistic analysis of the slang in the problem of the automated search of threats of spread of drug addiction on virtual social networks.....68-75

SOFTWARE OF THE COMPUTER FACILITIES AND THE AUTOMATED SYSTEMS

- KORSUNOV N.I., NACHETOV A.A.*
Error detection methods of performing a shift operation on the computing device.....76-82
- ORESHIN N.A., LAZAREV N.S., SHUMILIN V.S., TARSHINAEV E.A.*
Single-product multi-pole streaming model of the transport network.....83-87

TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND COMPUTER NETWORKS

- IVANOV Yu.B.*
Process modeling of transmission impulses on communication and power mismatched line sensors.....88-96
- MAKAROV V.F., PETROVA V.Yu.*
Aspects of mathematical modeling of the system of orthogonal coding.....97-111
- OFICEROV A.I., FOKIN A.B.*
Model and algorithm of optimum allocation of information flows of the data interchange in the automated management system of the industrial enterprise.....112-121
- FISUN A.P., NIKOLAEV A.V., KOLIN'KO A.V., DERKACH E.N.*
Analysis of adaptive algorithms improve the quality of the receiving signal SW-band using antenna arrays.....122-133
- XABAROVA D.S., GRAKOV I.V.*
The task of choosing an optimal project of data interchange network of the territorial automated information system.....134-140

INFORMATION AND DATA SECURITY

- OVCHINNIKOV N.A., MAKSIMOVA E.A.*
Development of a threat model of information security system «smart house».....141-146

УДК 614.2

Е.Е. ВОРОБЬЕВА, И.Н. КОРСАКОВ, С.М. КУПЦОВ

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АППРОКСИМАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ
В СИСТЕМЕ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА**

В данной статье рассмотрены вопросы использования математических методов аппроксимации пропущенных результатов измерений в системе дистанционного мониторинга здоровья человека. Рассмотренные методы могут быть с успехом применены для восстановления пропущенных данных измерений, что важно при проведении дальнейшего их анализа.

Ключевые слова: мониторинг здоровья; метод аппроксимации.

Приверженность – это степень совпадения поведения пациента с рекомендациями врача. Наиболее часто приверженность в отношении лекарственной терапии определяется как прием по крайней мере 70-90% препарата от должного. «Золотого стандарта» для оценки приверженности к лечению не существует. Используются фармакологические, клинические, физические методы оценки приверженности, а также специально разработанные опросники и шкалы. В системе дистанционного мониторинга здоровья в качестве теста хорошей приверженности служит ведение пациентом дневника самоконтроля с отметками приема препаратов и выполненными процедурами. Врачам необходимо соотносить тактику лечения со степенью готовности пациента выдерживать здоровый образ жизни и соблюдать своевременный прием лекарств. При стандартном подходе врачу трудно контролировать ход лечения, зачастую получить достоверную информацию возможно только при прохождении анализов и то в рамках одного медицинского учреждения. Единственный способ – это увеличить количество посещений медучреждения пациентом, что увеличивает расходы на лечение и нагрузку на врача. В случае использования технологии дистанционного мониторинга этот вопрос решается двумя способами: 1) врач инициирует бизнес-процесс – план лечения, по которому пациент производит прием лекарств, лечебные процедуры и измерения, результаты которых поступают в электронную медицинскую карту пациента и сразу становятся доступными лечащему врачу; 2) сам пациент ежедневно заполняет опросник – дневник самонаблюдения [2, 3]. Пример типового плана ведения пациента представлен на рисунке 1.

И даже при том, что пациенту поступают напоминания о необходимости того или иного действия, 67% требуемых данных в вопроснике и 55.7% данных измерений отсутствуют [1]. Основная проблема заключается в том, что нельзя измерить давление или любой другой параметр задним числом. Данные потеряны, что значительно затрудняет медикаментозное лечение пациента. Для решения подобного рода задач на практике применяются те или иные методы восстановления данных [4, 7].

В качестве эмпирической формулы на отрезке изменения аргумента табличной функции чаще всего берут степенной многочлен [6]

$$P_n(x) = a_0x^n + a_1x^{n-1} + \dots + a_n,$$

где a_0, a_1, \dots, a_n – неизвестные, которые должны быть определены из уравнений.

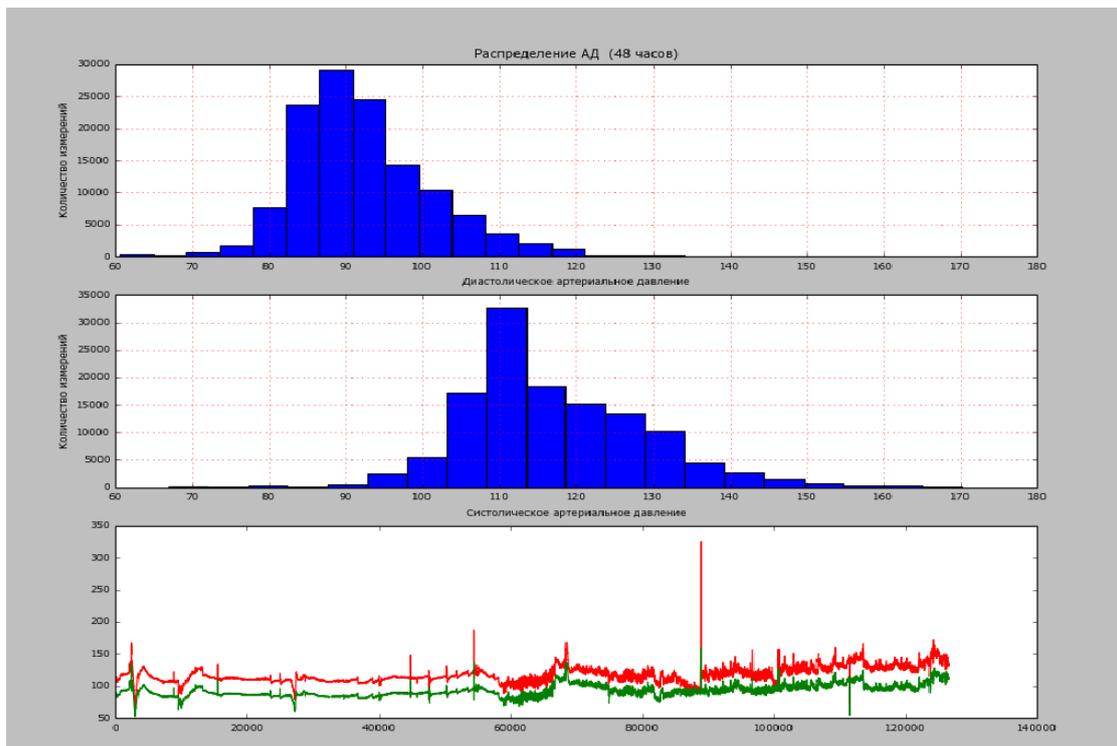


Рисунок 2 – Плотность распределения диастолического и систолического АД, тренд АД

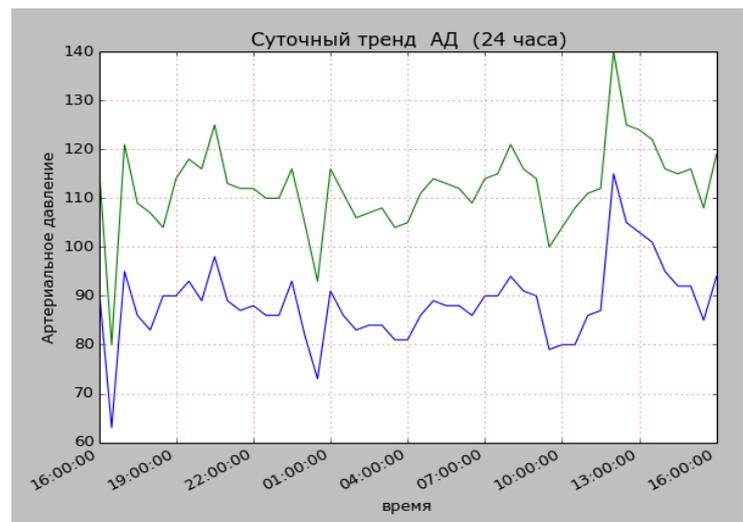


Рисунок 3 – Суточный тренд АД (48 измерений)

Лагранж предложил свой подход к определению степенного многочлена, строго проходящего через точки интерполяции и не требующий определения коэффициентов этого многочлена. Полином Лагранжа имеет вид

$$L(x) = \sum_{i=0}^n y_i \frac{\Pi(x)}{(x-x_i)\Pi'(x_i)}, \quad \text{где } \Pi(x) = (x-x_0)(x-x_1)\dots(x-x_n),$$

$$\Pi'(x_i) = \frac{d\Pi(x)}{dx} \Big|_{x=x_i}.$$

В качестве примера построим степенной полином, проходящий через четыре точки $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$. Имеем

$$L(x) = y_0 \frac{(x-x_1)(x-x_2)(x-x_3)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)(x_0-x_3)} + y_1 \frac{(x-x_0)(x-x_2)(x-x_3)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)(x_1-x_3)} +$$

$$+ y_2 \frac{(x-x_0)(x-x_1)(x-x_3)}{(x_2-x_0)(x_2-x_1)(x_2-x_3)} + y_3 \frac{(x-x_0)(x-x_1)(x-x_2)}{(x_3-x_0)(x_3-x_1)(x_3-x_2)}.$$

Для определения значения $y(\theta) = L(\theta)$ нет необходимости вычислять коэффициенты a_0, a_1, a_2, a_3 . Необходимо подставить $x = \theta$ в формулу Лагранжа и определить значения, на которые нужно умножить y_0, y_1, y_2, y_3 .

На рисунке 4 представлены точечный график измерения диастолического и систолического артериального давления, а также непрерывные функции, полученные на основе полинома Лагранжа, которые позволяют получить значение диастолического и систолического давления в любой момент времени.

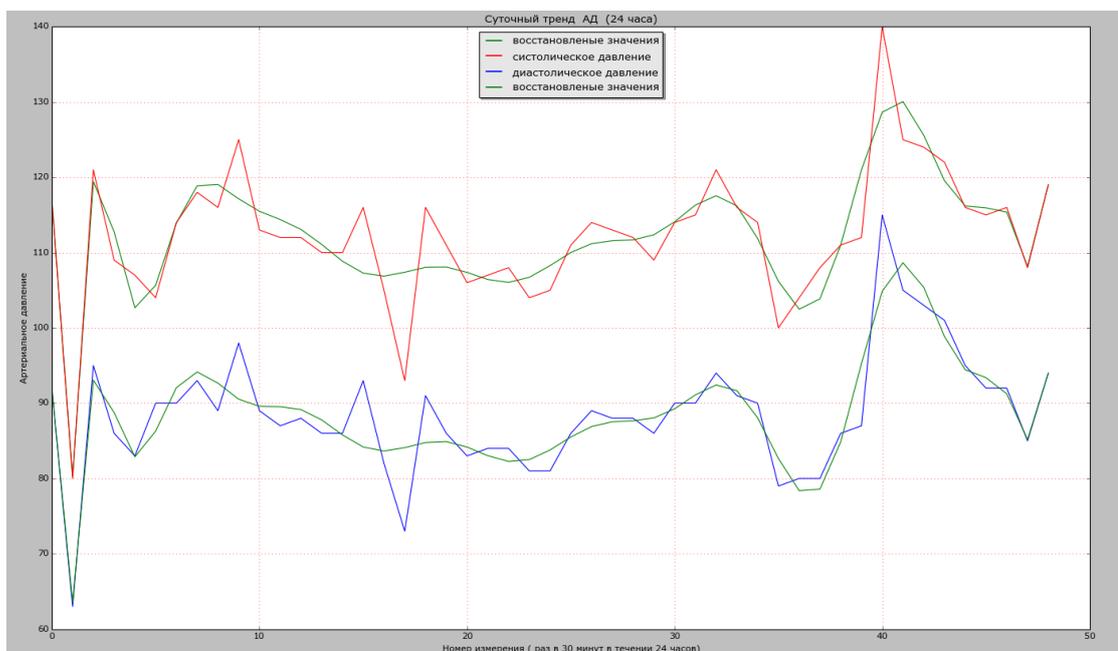


Рисунок 4 – Значения диастолического и систолического давления и их интерполирующие функции

Вместе с восстановленным значением давления нам необходимо знать полученную ошибку (погрешность). Вычислить точное значение погрешности интерполяции невозможно, так как нам неизвестно значение \bar{x} . Однако можно оценить предельную погрешность интерполяции.

Обозначим $M = \max |y^{(n+1)}(x)|$. Тогда

$$|R(\theta)| \leq \frac{M}{(n+1)!} |\Pi(\theta)|.$$

Мы получили формулу, позволяющую определить предельную абсолютную погрешность интерполяции функции $y(x)$ с помощью полинома степени n .

В результате данных исследований был получен практический опыт использования математических методов для восстановления пропущенных результатов измерений кровяного артериального давления пациентом в системе дистанционного мониторинга здоровья. Практический интерес такого подхода важен, когда речь идет о вычисляемых на определенный момент параметрах. Заполнение пропусков отдельных параметров с помощью математических методов позволяет строить диагностическую и прогностическую модели. Особое значение имеет возможность практической реализации данных алгоритмов на языке программирования Python с использованием библиотек NumPy и SciPy. Восстановление пропущенных данных измерения артериального давления 62 пациентами за 48 часов занимает менее одной секунды на сервере класса HP DL380 G6. Полученный результат позволяет рекомендовать данный подход для использования в системах дистанционного мониторинга здоровья.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (договор № 02.G25.31.0033).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бых А.И., Высоцкая Е.В., Рак Л.И. Выбор метода восстановления пропущенных данных для оценки сердечно-сосудистой деятельности подростков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2010. – № 4(45). – С. 4-7.
2. Шалковский А.Г. и др. Дистанционный мониторинг здоровья пациентов с сахарным диабетом 2 типа / А.Г. Шалковский, С.М. Купцов, И.Н. Корсаков, В.Д. Атабаева // Доктор.Ру, 2013. – № 7(85). – С. 61-64.
3. Злоба Е., Яцкив И. Статистические методы восстановления пропущенных данных // Computer Modeling & New Technologies, 2004. – № 6. – С. 55-56.
4. Россиев А.А. Моделирование данных при помощи кривых для восстановления пробелов в данных // Методы нейроинформатики / под ред. А.Н. Горбаня. – КГТУ: Красноярск, 1998. – С. 6-22.
5. Myung-kyung Suh and other. Missing Data Imputation for Remote CHF Patient Monitoring Systems / Myung-kyung Suh, Moin T., Woodbridge J., Lan M., Ghasemzadeh H., Bui A., Ahmadi S. Sarrafzadeh // Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2011. – Annual International Conference of the IEEE.
6. Myung-kyung Suh and other. Dynamic Self-adaptive Remote Health Monitoring System for Diabetics / Myung-kyung Suh, Moin T., Woodbridge J., Lan M., Ghasemzadeh H., Bui A., Ahmadi S., Sarrafzadeh M. // Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012. – Annual International Conference of the IEEE. – P. 2223-2226.
7. Suh M., Wanda B. Weight and Activity with Blood Pressure Monitoring System for Heart Failure Patients // 2010 IEEE International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM). – P. 1-17.

8. Lei Clifton and other/ Gaussian Process Regression in Vital-Sign Early Warning Systems / Lei Clifton, David A. Clifton, Marco A.F. Pimentel, Peter J. Watkinson, Lionel Tarassenko // 34th Annual International Conference of the IEEE EMBS, 2012.
9. George B. Moody, Roger G. Mark. A Database to Support Development and Evaluation of Intelligent Intensive Care Monitoring // Computers in Cardiology Conference, 1996. – P. 657-660.

Воробьева Екатерина Евгеньевна

ФГАОУ ВПО Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва
Заместитель директора НЦ информационных систем мониторинга здоровья человека
Тел.: 8 (495) 772-95-90* 33005
E-mail: evorobyeva@hse.ru

Корсаков Игорь Николаевич

ФГАОУ ВПО Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва
Кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник НЦ информационных систем мониторинга здоровья человека
Тел.: 8 (964) 320-8000
E-mail: igor.korsa@gmail.com

Купцов Сергей Михайлович

ФГАОУ ВПО Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва
Директор НЦ информационных систем мониторинга здоровья человека

E.E. VOROB'YOVA (*Deputy Director of the Scientific Center
of Information Systems for Monitoring Human Health*)

I.N. KORSAKOV (*Candidate of Physico-mathematical Sciences,
Leading Researcher of the Scientific Center of Information Systems for Monitoring Human Health*)

S.M. KUPCOV (*Director of the Scientific Center of Information Systems for Monitoring Human Health
Higher School of Economics – National Research University, Moscow*)

**USING APPROXIMATIONS OF RESULTS OF MEASUREMENTS
IN REMOTE MONITORING SYSTEM**

This article describes the use of mathematical methods of approximation missing measurements in remote health monitoring system. The above methods can be successfully applied to restore the missing data measurements, which are important for further analysis.

Keywords: remote health monitoring; approximation.

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Бу'х А.И., Вы'sockaya E.V., Rak L.I. Vy'bor metoda vosstanovleniya propushheny'x danny'x dlya ocenki serdechno-sosudistoj deyatel'nosti podrostkov // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovy'x tehnologij, 2010. – № 4(45). – С. 4-7.
2. Shalkovskij A.G. i dr. Distancionny'j monitoring zdorov'ya pacientov s saxarny'm diabetom 2 tipa / A.G. Shalkovskij, S.M. Kupcov, I.N. Korsakov, V.D. Atabaeva // Doktor.Ru, 2013. – № 7(85). – С. 61-64.
3. Zloba E., Yackiv I. Statisticheskie metody' vosstanovleniya propushheny'x danny'x // Computer Modeling & New Technologies, 2004. – № 6. – С. 55-56.
4. Rossiev A.A. Modelirovanie danny'x pri pomoshhi krivy'x dlya vosstanovleniya probelov v danny'x // Metody' nejroinformatiki / pod red. A.N. Gorbanya. – KGTU: Krasnoyarsk, 1998. – С. 6-22.

5. Myung-kyung Suh and other. Missing Data Imputation for Remote CHF Patient Monitoring Systems / Myung-kyung Suh, Moin T., Woodbridge J., Lan M., Ghasemzadeh H., Bui A., Ahmadi S. Sarrafzadeh // Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2011. – Annual International Conference of the IEEE.
6. Myung-kyung Suh and other. Dynamic Self-adaptive Remote Health Monitoring System for Diabetics / Myung-kyung Suh, Moin T., Woodbridge J., Lan M., Ghasemzadeh H., Bui A., Ahmadi S., Sarrafzadeh M. // Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012. – Annual International Conference of the IEEE. – P. 2223-2226.
7. Suh M., Wanda B. Weight and Activity with Blood Pressure Monitoring System for Heart Failure Patients // 2010 IEEE International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM). – P. 1-17.
8. Lei Clifton and other/ Gaussian Process Regression in Vital-Sign Early Warning Systems / Lei Clifton, David A. Clifton, Marco A.F. Pimentel, Peter J. Watkinson, Lionel Tarassenko // 34th Annual International Conference of the IEEE EMBS, 2012.
9. George B. Moody, Roger G. Mark. A Database to Support Development and Evaluation of Intelligent Intensive Care Monitoring // Computers in Cardiology Conference, 1996. – P. 657-660.

ФОРМИРОВАНИЕ КОГНИТИВНЫХ ФРЕЙМОВ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ ПАТТЕРНОВ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ОНТОЛОГИЙ

В статье продолжено исследование, ориентированное на передачу эксперту знаний, представленных в онтологиях. В прошлой работе для этого предлагалось формировать для понятий онтологии специальные структуры – когнитивные фреймы. В данной статье рассматривается формирование когнитивных фреймов на основе распространенных онтологических паттернов, используемых при разработке онтологий. Также в статье представлены результаты экспериментальной оценки когнитивных свойств полученных фреймов для понятий прикладной онтологии.

Ключевые слова: онтология; визуализация; шаблоны онтологического проектирования.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время онтологические модели становятся распространенным средством представления знаний в сети Интернет. Однако применение для их описания языка веб-онтологий (Ontology Web Language, OWL), основанного на дескрипционной логике ALC (Attributive Language with Complement), хоть и позволяет обеспечить высокие выразительные возможности с сохранением разрешимости, но по мере роста онтологии (увеличении в ней числа логических утверждений – аксиом) создает проблемы ее понимания человеком. Целью предлагаемого подхода к визуализации онтологий является решение данной проблемы, то есть обеспечение эффективной (в смысле затрат труда и времени) передачи онтологических знаний пользователю. Для этого авторами предлагается использовать когнитивный фрейм (КФ) [1]. Под КФ в общем случае понимается визуализированный фрагмент онтологии, позволяющий передать человеку (эксперту) знания о некотором целевом понятии. Формирование КФ производится с учетом психологических особенностей восприятия и структурирования человеком информации, а также принципов определения понятий в онтологии. По своей функции когнитивный фрейм близок к понятию «точка зрения» [2], однако в отличие от последнего он включает помимо набора фактов о понятии еще и соответствующий ему визуальный образ.

Формально определение когнитивного фрейма можно записать следующим образом:

$$KF(t) = \langle CT, VS \rangle \quad (1)$$

где t – целевое понятие когнитивного фрейма; CT – содержание фрейма-множество дуг вида «понятие-отношение-понятие», отражающих смысловое значение целевого понятия; VS – визуальный образ, формируемый на основе содержания.

В прошлых работах мы рассматривали процедуру формирования КФ на основе инвариантных к предметным областям понятийных отношений [3, 4], таких, как «таксономия», «партономия» и «зависимость». Это позволяло получить приемлемую визуализацию для простых онтологий, понятия которых заданы с использованием только данных отношений. В данной работе мы рассмотрим формирование КФ на основе паттернов онтологического проектирования, применяемых при разработке онтологий, а также с учетом гештальт-принципов организации человеческого восприятия [5]. В завершении работы

представлены результаты экспериментальной оценки когнитивных свойств, полученных КФ для прикладной онтологии.

ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ ПАТТЕРНЫ СОДЕРЖАНИЯ КАК ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НА ПОНЯТИЯ ОНТОЛОГИИ

В работе [2] точка зрения (viewpoint) определяется как согласованный набор фактов, описывающий понятие с определенного ракурса. Визуализация понятия с учетом точки зрения, заданной разработчиком онтологии, облегчает и обеспечивает правильность интерпретации смысла понятия пользователем. Основной проблемой при оперировании точками зрения является извлечение из базы знаний фактов, соответствующих им (viewpoint extraction). Для произвольной базы знаний это может быть затруднительно ввиду довольно абстрактных определений точек зрения, что позволяет реализовывать их произвольным образом.

В последние годы развивающимся подходом к построению онтологий является использование онтологических паттернов проектирования (Ontology Design Patterns, ODP) [6, 7]. ODP представляют собой рекомендуемые решения распространенных проблем онтологического инжиниринга. Их применение упрощает создание онтологии, а также делает ее структуру более понятной для других разработчиков, знакомых с ODP. ODP подразделяются на несколько типов в зависимости от решаемых задач: структурные паттерны (Structural ODPs), паттерны соответствия (Correspondence ODPs), паттерны содержания (Content ODPs), паттерны логического вывода (Reasoning ODPs), паттерны представления (Presentation ODPs), лексико-синтаксические паттерны (Lexico-Syntactic ODPs). В данной работе будет рассмотрено использование онтологических паттернов содержания (CDP) ввиду их сходства с понятием точки зрения. Они представляют собой небольшие фрагменты онтологий, на основе которых можно описать типовые положения вещей в предметной области (участие в событиях, части целого, последовательность сущностей и др.). Отличием CDP является большая детализация структуры такого фрагмента и ориентация на онтологии, описанные OWL. Таким образом, CDP можно рассматривать как формализованное описание некоторой точки зрения, которое потенциально может быть использовано для определения понятий прикладных онтологий. Учет смысла CDP, использованных при определении понятий, позволит задать общий подход к формированию соответствующих им когнитивных фреймов.

Для определения CDP, которые могли бы быть использованы в качестве основы когнитивных фреймов, был произведен анализ паттернов, представленных в каталоге ODP[8]. В результате были отобраны инвариантные по отношению к области применения паттерны, такие, как «Агент-роль» (Agent-Role), «Роль участника» (Participant Role), «Выполнение задачи» (Task Execution), «Описание-ситуация» (Description-Situation), «Временной интервал» (Time Interval), «Список» (List), «Набор» (Bag), «Последовательность» (Sequence).

ФОРМИРОВАНИЕ КОГНИТИВНЫХ ФРЕЙМОВ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ ПАТТЕРНОВ СОДЕРЖАНИЯ

Основными компонентами когнитивного фрейма для некоторого понятия онтологии являются содержание и визуальный образ. Рассмотрим формирование данных компонентов на основе ODP с учетом требований к когнитивному фрейму.

Формирование содержания КФ на основе CDP предполагает, в первую очередь, в их обнаружении (Design Pattern Detection) [9, 10]. Данная задача заключается в выявлении факта

использования того или иного паттерна в онтологии. После чего необходимо извлечь реализацию этого паттерна – фрагмент онтологии, соответствующей его структуре. Решение задачи извлечения вообще требует синтаксического и семантического анализа аксиом онтологии, что заслуживает отдельного исследования. На данном этапе обнаружение и извлечение реализаций паттернов осуществляется по упрощенной схеме путем обнаружения множеств понятий и отношений с идентификаторами IRI (Internationalized Resource Identifier), сходными с IRI элементов того или иного паттерна:

$$P_k = \{(c_i, c_j)\}, \quad (2)$$

где P_k – реализация CDP в онтологии; $\langle c_i, c_j \rangle$ – отношение между понятиями c_i и c_j .

Таким образом, содержание КФ для некоторого понятия t определяется множеством реализаций паттернов, использованных для его определения:

$$CT = \bigcup_{k \in I} P_k, \quad (3)$$

где P_k – реализация CDP для целевого КФ понятия t .

ПОСТРОЕНИЕ ВИЗУАЛЬНОГО ОБРАЗА КОГНИТИВНЫХ ФРЕЙМОВ

Формируемый визуальный образ должен обеспечить быструю и правильную с точки зрения разработчика онтологии интерпретацию его смысла пользователем. Именно это является главным показателем когнитивных свойств полученного образа.

Предполагается, что созданию «хорошей» визуализации способствует учет принципов организации восприятия, сформулированных сторонниками гештальтпсихологии [5]. Базовая предпосылка этих принципов состоит в том, что при восприятии человеком объектов окружающего мира самопроизвольно происходит упорядочивание полученных чувственных ощущений с образованием в итоге целостной структуры – гештальта. Тем самым сознание навязывает ощущениям определенные организационные принципы. Таким образом, их учет при формировании визуальных образов КФ позволит предопределить неосознанное формирование пользователем гештальта, соответствующего смыслу паттерна. Поэтому пользователь будет затрачивать меньше ментальных усилий при последующем осознанном анализе визуализации, так как сформированный бессознательно гештальт будет наводить его на правильную интерпретацию ее смысла.

В пользу предлагаемого подхода к формированию говорят результаты, полученные в работах [11], посвященных оценке когнитивной эргономичности онтологий. В них, в частности, отмечалось, что следование принципам гештальтпсихологии при разработке онтологий позволит облегчить понимание людьми.

При формировании визуальных образов КФ учитывались следующие принципы восприятия:

1. Принцип близости (Principle of Proximity). Элементы, расположенные близко во времени или пространстве, воспринимаются совместно.
2. Принцип непрерывности (Principle of Common Fate). Связывание наблюдаемых элементов в непрерывную последовательность или придание им определенной ориентации.
3. Принцип сходства (Principle of Similarity). Восприятие похожих объектов в виде групп.
4. Принцип замыкания (Principle of Closure). Стремление завершить или дополнить представленный «неполный» образ.
5. Принцип симметрии (Principle of Symmetry). Симметричное расположение элементов в процессе формирования образа.

б. Принцип включения В. Келлера. Тенденция воспринимать только большую фигуру, а не ту меньшую, которую она включает.

Данные принципы лежат в основе формирования в сознании «хорошего гештальта» (Good Gestalt) – наиболее простого, неизменного, симметричного образа наблюдаемых объектов. Если наблюдаемый объект будет обладать деталями, не вписывающимися в «хороший гештальт», то они могут быть восприняты человеком только при последующем детальном рассмотрении объекта. Таким образом, при визуализации КФ, построенных на основе паттернов, необходимо, чтобы компоненты паттернов «попали» в «хороший гештальт».

С точки зрения сложности построения визуализации можно разделить рассматриваемые нами CDP на следующие группы:

1. Простые CDP. Данные паттерны состоят из пары понятий, связанных некоторым инвариантным по отношению к предметным областям отношением. Например, к таковым паттернам относятся «Агент-роль» (Agent-Role), «Выполнение задачи» (Task Execution), «Последовательность» (Sequence) и другие.

2. Составные CDP. К данной группе были отнесены разновидности паттерна «Ситуация» (Situation) и «Описание-ситуация» (Description and Situation), а также более специфические паттерны, имеющие сложную структуру, такие, как «Передача сообщения» (Communication Event), «Обработка сообщения» (Event Processing).

Основной целью визуализации простых паттернов является обеспечение восприятия их элементов в виде отдельной группы, а также представление смысла отношения между ними. При этом важно исключить использование текстового наименования отношения. Это обусловлено тем, что данные CDP часто выступают в комбинациях с другими паттернами, поэтому необходимо делать их визуализации компактными. Исходя из этого, основными гештальт-принципами при формировании образа для них являются принципы близости и включения.

Далее при рассмотрении примеров визуализации паттернов будем использовать следующие обозначения:

- $VC(c)$ – визуальный образ понятия c ;
- $VR(<c,n>)$ – визуальный образ отношения между понятиями c и n ;
- $LC(VC(c), VC(n))$ – визуальный образ, полученный в результате применения принципа сближения к образам для понятий c и n
- $LS(VC(c), VC(n))$ – визуальный образ, полученный в результате применения принципа сближения к образам для понятий c и n
- $LF(VC(c), VC(n))$ – визуальный образ, полученный в результате применения принципа непрерывности к образам для понятий c и n ;
- $LI(VC(c), VC(n))$ – визуальный образ, полученный в результате применения принципа включения образа понятия c в образ понятия n ;
- $LE(VC(c), VC(n))$ – визуальный образ, полученный в результате применения принципа сходства к образам для понятий c и n ;
- $VP(P)$ – визуальный образ реализации паттерна P .

В качестве примера визуализации для простого CDP рассмотрим визуальный образ для реализации паттерна Agent-Role:

$$P_{AG} = \{a, r\}, \quad (4)$$

$$VP(P_{AG}) = \{LI(VC(a), VC(r))\}, \quad (5)$$

где P_{AG} – реализация паттерна «Агент-Роль»; a – понятие «агент»; r – понятие «роль»; $\langle a, r \rangle$ – отношение «играет роль».

Пример рассмотренного образа представлен на рисунке 1.

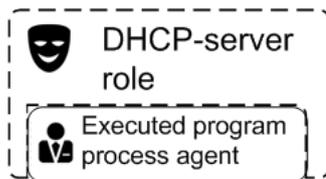


Рисунок 1 – Пример визуального образа для реализации паттерна «Агент-Роль»

В данном случае был использован принцип включения – визуальный образ понятия «роли» «поглощает» образ понятия «агента». Это позволяет подчеркнуть смысл данного паттерна, который предлагает рассматривать некоторого агента как действующего в контексте некоторой роли.

Заметим, что в образе отсутствует представление отношения. В данном случае оно неявно следует из наличия в названиях понятий наименований суперклассов – Role и Agent. Это, в свою очередь, является реализацией одного из шаблонов представления онтологий (Presentation ODP), предписывающего использовать в наименованиях подклассов название суперкласса. Еще более предпочтительным приемом является использование пиктограммы вместо названия суперкласса. В данном случае она будет служить когнитивной графической метафорой [12], позволяющей пользователю быстро понять вид понятия, а также преодолеть возможный языковой барьер. Однако при ее подборе следует позаботиться о том, чтобы пользователь верно интерпретировал ее.

Ситуационные паттерны представляют некоторые положения вещей в предметной области или представляют n-арные отношения между объектами. Таким образом, основное их отличие от простых паттернов состоит в том, что они включают более 2 понятий различных видов.

В рамках ситуационных паттернов понятие-ситуация связывается с понятиями-компонентами ситуации», имеющими в ней некоторое значение. Это выражается определением между ними и понятием-ситуацией разновидностей отношения «присутствует (Has-setting)». Например, в ситуационном паттерне Basic Plan Execution между понятием-ситуацией Plan Execution и понятием-исполнителем действия, предусмотренного планом, определено отношение «включает агента» Includes Agent.

При визуализации ситуационных паттернов важным является передать смысл каждого понятия-компонента для данной ситуации. При этом следует разделить образы понятий представляющих различный смысл по разным группам. Для этого можно использовать принципы сходства, непрерывности, близости. В качестве иллюстрации рассмотрим пример визуализации реализации паттерна «N-арное участие» (N-ary Participation). Данный паттерн позволяет отразить участие нескольких объектов в событии, происходящем в определенное время.

Формальная запись реализации данного паттерна и его визуализации выглядит следующим образом:

$$P_{NP} = \{ \langle n, t \rangle, \langle n, e \rangle, \langle n, o \rangle, \langle o_1, e \rangle, \dots \langle o_n, e \rangle \}, \quad (6)$$

$$VP(P_{NP}) = \{ LF(VC(e), VC(t)), LC(VC(e), VC(t)), LC(VC(o_1), \dots VC(o_n)), LF(VR(\langle o_1, e \rangle), \dots VR(\langle o_n, e \rangle)) \}, \quad (7)$$

где P_{NP} – реализация паттерна «N-арное участие»; n – понятие-ситуация; t – понятие-временной интервал; e – понятие-событие; o_1, \dots, o_n – понятия-участники события; $\langle n, t \rangle, \langle n, e \rangle, \langle n, o \rangle$ – отношение между понятием-ситуацией и ее компонентами; $\langle o_1, e \rangle, \dots, \langle o_n, e \rangle$ – отношения «участвует в» (Participant-in) между понятием-участником и понятием-событием.

Возможная визуализация представлена на рисунке 2.

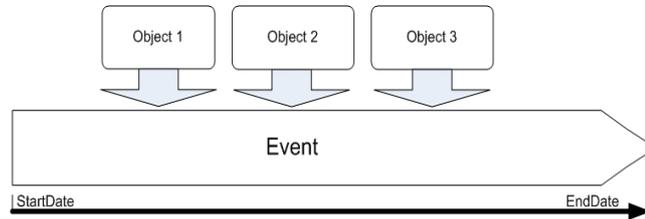


Рисунок 2 – Пример визуального образа для реализации паттерна «N-арное участие»

В данной визуализации отсутствует образ для самого понятия-ситуации, которое необходимо лишь при представлении понятия в онтологии. Значение понятий для данной ситуации неявно следуют из расположения и видов их образов. Так, например, понятия «Событие» (Event) и соответствующего ему понятия «Временной интервал» имеют схожую форму и направление. В то же время образы понятий-участников события имеют другую форму и «направлены» перпендикулярно образу понятия-события, поэтому образуют свою группу образов.

Паттерн «Описание-ситуация» (Description-situation) используется для концептуализации некоторой ситуации с помощью иной понятийной системы. Например, некоторое действие, произведенное кем-либо, может описываться (концептуализироваться) в законе как преступление. Понятия-компоненты описания связываются с соответствующими им понятиями-компонентами ситуации посредством разновидностей отношения «классифицирует» (Classifies). Конкретный тип отношения зависит от соединяемых им понятий. Например, между понятием-ролью и понятием-агентом определяется отношение «играется» (played-by), а между понятием-параметром и понятием-значением – отношение «оценивается» (Valued-by). Если все понятия-компоненты ситуации были «классифицированы» понятиями-компонентами описания, то ситуация удовлетворяет описанию, что выражается определением отношения «удовлетворяет» (Satisfies) между ними.

Основной целью визуализации реализации паттерна «Описание-ситуация» является передача смысла понятий-компонентов ситуации в контексте понятия-описания. Для этого целесообразно применять принцип подобия и включения для представления соответствия компонентов ситуации и описания. Рассмотрим формальное определение реализации паттерна «Описание-ситуация» и ее визуального образа:

$$P_{DS} = \{ \langle s, d \rangle, \langle d, c_1 \rangle, \dots, \langle d, c_n \rangle, \langle s, o_1 \rangle, \dots, \langle s, o_n \rangle \}, \quad (8)$$

$$VP(P_{DS}) = \{ LI(VC(o_1), VC(c_1)), \dots, LI(VC(o_n), VC(c_n)), \\ LE(VC(o_1), \dots, VC(o_n)), LE(VC(c_1), \dots, VC(c_n)), VR(\langle s, o_1 \rangle), \dots, VR(\langle s, o_n \rangle), \\ VR(\langle d, c_1 \rangle), \dots, VR(\langle d, c_n \rangle) \}, \quad (9)$$

где P_{DS} – реализация паттерна «Описание-ситуация»; d – понятие-описание; s – понятие-ситуация; c_1, \dots, c_n – понятия-компоненты описания; o_1, \dots, o_m – понятия-компоненты ситуации; $\langle d, s \rangle$ – отношение «удовлетворяет» (Satisfies); $\langle d, c_1 \rangle, \dots, \langle d, c_n \rangle$ – отношение между понятием-описанием и его понятиями-компонентами; $\langle s, o_1 \rangle, \dots, \langle s, o_m \rangle$ – отношения между

понятием-ситуацией и его компонентами; $\langle c_1, o_1 \rangle, \dots, \langle c_n, o_n \rangle$ – отношения «классифицирует» (Classifies) между понятия-компонентами описания и соответствующими им понятиями-компонентами ситуации. Возможная реализация рассмотренного образа представлена на рисунке 3.

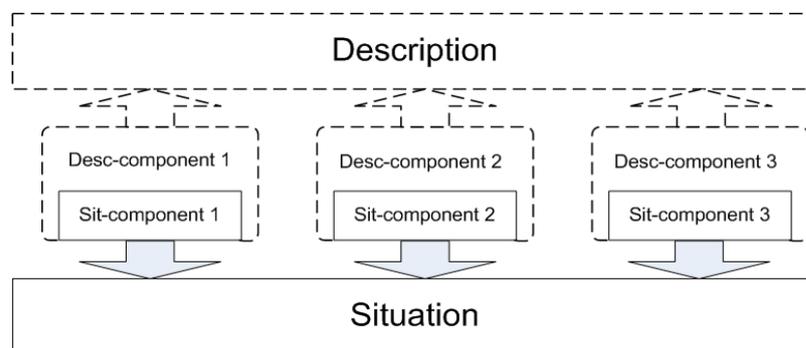


Рисунок 3 – Пример визуального образа для реализации паттерна Description-situation.

В данной визуализации образы понятий-компонентов описания «поглощают» образы понятий-компонентов ситуации. Это передает смысл паттерна, заключающегося в переопределении понятий-компонентов ситуации.

Визуализация специфических паттернов ввиду их меньшей распространенности на данном этапе исследования не рассматривалась.

В результате визуальный образ КФ будет состоять из комбинации визуальных образов, сформированных для реализаций паттернов, присутствующих в содержании:

$$VS = \{VP(P_i)\}, \quad (9)$$

где P_i – реализация CDP.

Пример визуального образа КФ для понятия Network Routing Task из разрабатываемой авторами прикладной онтологии сетевых устройств представлен на рисунке 4.

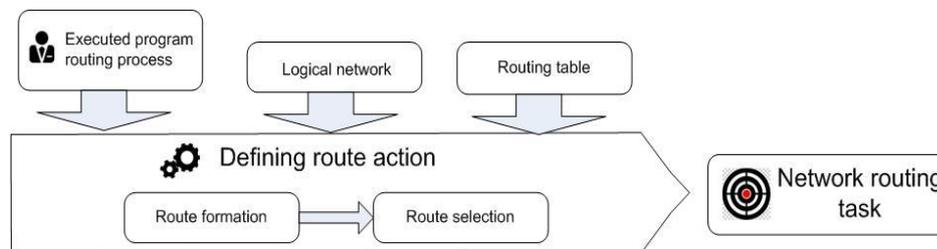


Рисунок 4 – Визуальный образ КФ для понятия Network Routing Task

Данный образ включает комбинированную визуализацию 3-х паттернов «Выполнение задачи» (Task Execution), «Последовательность» (Sequence), «Участие в событии» (Participation).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРЕДЛОЖЕННОГО СПОСОБА ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Оценка эффективности предлагаемого способа визуализации онтологий на основе КФ производилась экспериментально. В ходе эксперимента двум группам людей

предоставлялись визуальные образы, представляющие 5 понятий из онтологии предметной области. Данные понятия были определены в онтологии с использованием CDP.

Группе А предлагались образы в виде графовых схем (Node-link Diagram), построенных без учета семантики использованных паттернов. Образы были сформированы и представлены с помощью визуализатора Ontograph в редакторе онтологий Protégé в виде отдельных именованных вкладок (рис. 5).

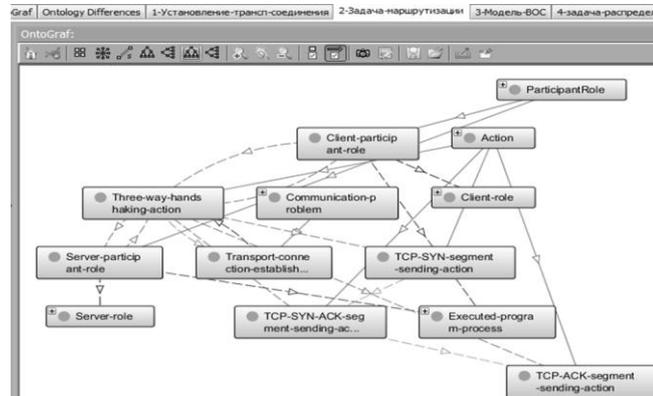


Рисунок 5 – Пример визуализации понятия «Трехфазовое квитирование» в виде графовой структуры (Node-link Diagram)

Группе В предлагались наборы распечатанных когнитивных фреймов.

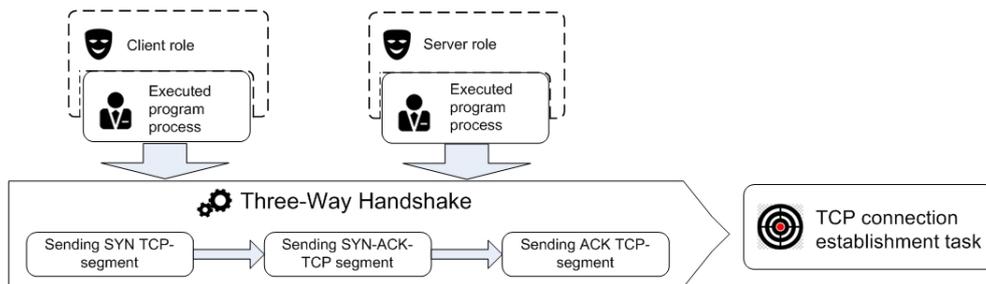


Рисунок 6 – Пример визуализации понятия «Трехфазовое квитирование» посредством КФ

В ходе эксперимента группам предлагалось дать ответы на 10 вопросов. Заметим, что участники групп были не знакомы с концепцией КФ и предметной областью, которой принадлежали понятия. Дополнительно перед ними было поставлено условие использовать для получения ответов только представленные визуальные материалы без учета своих познаний. В ходе эксперимента учитывалось время ответа на вопрос, а также его правильность. Результаты опросам представлены в таблице (рис. 7).

Номер вопроса	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Графовая виз-ия										
- среднее время ответа, сек	57	54	75	54	53	43	15	9	15	15
- ошибки, %	10	40	90	10	100	100	20	30	100	90
КФ виз-ия										
- среднее время ответа, сек	52	22	46	14	56	19	21	10	28	32
- ошибки, %	0	30	0	0	20	40	0	0	70	30

Рисунок 7 – Сравнительная оценка времени и правильности ответов на вопросы.

В результате проведения эксперимента группа, использовавшая КФ для ответов на вопросы, тратила в среднем на 10 секунд меньше времени. При этом количество допущенных группой ошибок значительно меньше, чем у группы, использовавшей простую визуализацию. Особенно это касается ответов на вопросы 3, 5, 6 и 9. При определении в онтологии понятий, рассматриваемых в них, были использованы комбинации паттернов. Это усложняло поиск ответа с помощью графовой визуализации, что и подтверждается большим количеством ошибок в ответах на них группы А.

Ошибки в ответе на вопрос 9 у группы В в большинстве связаны с неточностью заголовка соответствующего ему КФ. Это приводило к тому, при рассмотрении данного вопроса пользователи выбирали неверный КФ, используя который дать правильный ответ было невозможно.

Необходимо отметить, что для упрощения работы группы А им предоставлялся уже сформированный образ, потенциально содержащий правильный ответ на вопрос. Хотя в общем случае пользователю надо предварительно самому построить его, добавив совокупность понятий в визуализацию. Однако, несмотря на это допущение для графовой визуализации, применение КФ показало лучший результат. Таким образом, можно сделать вывод о том, что предлагаемая технология визуализации позволяет обеспечить более эффективную с точки зрения времени и правильности интерпретацию визуальных образов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье мы рассмотрели вопрос генерации CF на основе CDP и его визуального представления с учетом гештальт-принципов. Использование CDP для формирования содержимого CF гарантирует целостность и полноту полученной на его основе визуализации. Учет гештальт-принципов организации восприятия человека при формировании образа КФ предоставляет возможность быстрой и правильной интерпретации смысла пользователем.

Рассмотренный подход к визуализации онтологии обеспечивает более эффективное решение задачи передачи содержащихся в ней знаний пользователю по сравнению с простой визуализацией понятийной системы в виде графовой структуры. В свою очередь, широкое использования ODP при разработке прикладных онтологий делает возможным его применения для визуализации во многих случаях.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований – грант 15-07-03321.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lomov P.A., Shishaev M.G. Technology of Ontology Visualization Based on Cognitive Frames for Graphical User Interface // In Proceedings of KESW 2013, Communications in Computer and Information Science. – Vol. 394. – Springer, 2013. P. 54-68. – ISBN: 978-3-642-41359-9.
2. Acker L., Porter B. Extracting Viewpoints from Knowledge Bases // In Proceedings of the 12th National Conference on Artificial Intelligence, 1994. – P. 547-552.
3. Ломов П.А., Шишаев М.Г. Подход к визуализации онтологий на основе когнитивных фреймов // Информационные системы и технологии, 2014. – № 6(86). – С. 21-30. – ISSN 2072-8964.
4. Ломов П.А., Данилов Е.Ю. Визуализация с помощью когнитивных фреймов для передачи знаний // Информационные системы и технологии, 2015. – № 3(89). – С.10-18. – ISSN 2072-8964.

5. Kohle W. Gestalt Psychology: an Introduction to New Concepts in the Modern Psychology // Liveright Publishing Corporation, 1947. – 367 pages.
6. Gangemi A. Ontology Design Patterns for Semantic Web Content // Proceedings of the Fourth International Semantic Web Conference, Galway, Ireland, Springer, 2005. – P. 262-276.
7. Gangemi A., Presutti V. Ontology Design for Interaction in a Reasonable Enterprise // Handbook of Ontologies for Business Interaction, IGI Global, Hershey, PA (November 2007).
8. Ontology Design Patterns Portal [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ontologydesignpatterns.org>.
9. Khan M., Blomqvist E. Ontology Design Pattern Detection – Initial Method and Usage Scenarios. – In: Proceedings of the Fourth International Conference on Advances in Semantic Processing (SEMAPRO 2010). XPS, ThinkMind Digital Library, 2010. – P. 19-24.
10. Svab-Zamazal O., Scharffe F., Svatek V. Preliminary Results of Logical Ontology Pattern Detection Using SPARQL and Lexical Heuristics // Proc. 1st ISWC 2009 Workshop on Ontology pattern (WOP), 2009. – P. 139-146.
11. Гаврилова Т.А., Горовой В.А., Болотникова Е.С. Оценка когнитивной эргономичности онтологии на основе анализа графа // Искусственный интеллект и принятие решений, 2009. – № 3. – С. 33-41.
12. Валькман Ж.Р. Когнитивные графические метафоры // Труды международной конференции «Знания-Диалог-Решение» (ЗДР 95). – Ялта, 1995. – С. 261-272.

Ломов Павел Андреевич

ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
Кандидат технических наук, научный сотрудник
Тел.: 8 (952) 296 76 33
Email: lomov@iimm.ru

Шишаев Максим Геннадьевич

ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
Доктор технических наук, заведующий лабораторией
Тел.: 8 (81555) 74050
Email: shishaev@iimm.ru

P.A. LOMOV (*Candidate of Engineering Science, Research Associate*)

M.G. ShISHAEV (*Doctor of Engineering Science, Head of the Laboratory*)
Institute of Informatics and Mathematical Modelling Process
Kola Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Apatity'

APPROACH TO ONTOLOGY VISUALIZATION BASED COGNITIVE FRAMES

In this paper we continue the study focused mainly on simplification of getting knowledge from ontologies by the user. In our previous work it was proposed to form the special structures – cognitive frames for concepts of ontology. It is expected that using cognitive frames for concept visualization will increase effectiveness of ontology knowledge transmission to user. In this paper, we consider the formation of cognitive frames based on popular ontology design patterns. We also provide some experimental evaluation of cognitive qualities of such frames created for the concepts of application ontology.

Keywords: *ontology; visualization; ontology design patterns.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Lomov P.A., Shishaev M.G. Technology of Ontology Visualization Based on Cognitive Frames for Graphical User Interface // In Proceedings of KESW 2013, Communications in Computer and Information Science. – Vol. 394. – Springer, 2013. P. 54-68. – ISBN: 978-3-642-41359-9.
2. Acker L., Porter B. Extracting Viewpoints from Knowledge Bases // In Proceedings of the 12th National Conference on Artificial Intelligence, 1994. – P. 547-552.
3. Lomov P.A., Shishaev M.G. Podxod k vizualizacii ontologij na osnove kognitivny'x frejmov // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2014. – № 6(86). – S. 21-30. – ISSN 2072-8964.
4. Lomov P.A., Danilov E.Yu. Vizualizaciya s pomoshh'yu kognitivny'x frejmov dlya peredachi znaniy // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2015. – № 3(89). – S.10-18. – ISSN 2072-8964.
5. Kohle W. Gestalt Psychology: an Introduction to New Concepts in the Modern Psychology // Liveright Publishing Corporation, 1947. – 367 pages.
6. Gangemi A. Ontology Design Patterns for Semantic Web Content // Proceedings of the Fourth International Semantic Web Conference, Galway, Ireland, Springer, 2005. – P. 262-276.
7. Gangemi A., Presutti V. Ontology Design for Interaction in a Reasonable Enterprise // Handbook of Ontologies for Business Interaction, IGI Global, Hershey, PA (November 2007).
8. Ontology Design Patterns Portal [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.ontologydesignpatterns.org>.
9. Khan M., Blomqvist E. Ontology Design Pattern Detection – Initial Method and Usage Scenarios. – In: Proceedings of the Fourth International Conference on Advances in Semantic Processing (SEMAYRO 2010). XPS, ThinkMind Digital Library, 2010. – P. 19-24.
10. Svab-Zamazal O., Scharffe F., Svatek V. Preliminary Results of Logical Ontology Pattern Detection Using SPARQL and Lexical Heuristics // Proc. 1st ISWC 2009 Workshop on Ontology pattern (WOP), 2009. – P. 139-146.
11. Gavrilova T.A., Gorovoj V.A., Bolotnikova E.S. Ocenka kognitivnoj e'rgonomichnosti ontologii na osnove analiza grafa // Iskusstvenny'j intellekt i prinyatie reshenij, 2009. – № 3. – S. 33-41.
12. Val'kman Zh.R. Kognitivny'e graficheskie metafory' // Trudy' mezhdunarodnoj konferencii «Znaniya-Dialog-Reshenie» (ZDR 95). – Yalta, 1995. – S. 261-272.

УДК 378.141.4

С.Ю. МАКАРОВА, А.А. ЗАЙЦЕВА

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ РАБОТОДАТЕЛЯ

В статье рассматривается подход к подбору оптимального набора дисциплин, позволяющего наиболее эффективно реализовать компетентностную модель выпускника ВУЗа (обучаемого по определенному направлению бакалавриата) с учетом требований работодателя к компетенциям и уровню сформированности компетенций выпускника и ограничений учебного плана.

Ключевые слова: компетенции; учебный модуль; учебный план; компетенции; образовательный стандарт; компетентностная модель.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Соответственно темпам развития вычислительной техники, средств телекоммуникаций, информационных технологий, наукоемких производств изменяются требования к квалификации специалистов, востребованных экономикой, появляются новые направления и специальности, вводятся новые компетенции, изменяются профессиональные стандарты, совершенствуются образовательные технологии. Динамичный переход от стандартов ФГОС ВПО (3 поколение) к стандартам ФГОС ВО (поколение 3+) влечет за собой значительные изменения в подходах к организации образовательных процессов, предъявляет новые требования к задачам повышения качества и конкурентоспособности образования. В связи с этим компетентностная модель выпускника в области информационных технологий должна также оперативно корректироваться в соответствии с происходящими переменами и нововведениями. Как следствие, в результате вносятся изменения в образовательную программу, на основе которой планируется образовательный процесс в ВУЗе. Компетентностный подход к обучению в настоящее время является основным аспектом в сфере высшего профессионального образования, одним из основополагающих принципов разработки образовательных программ, обучающих материалов и прочих прикладных разработок. При проектировании основных образовательных программ и технологий обучения, нацеленных на формирование перечня компетенций, которыми должен обладать выпускник, необходимо разработать структуру компетентностной модели специалиста (бакалавра, магистра), отражающую идеологию нового образовательного стандарта и позволяющую осуществить практическую реализацию сложного процесса подготовки компетентных кадров, отвечающих потребностям рынка труда [1].

Проектирование компетентностной модели выпускника (по определенному направлению) включает следующие этапы:

– анализ квалификационных требований (КТ) в соответствующей сфере профессиональной деятельности (Национальное агентство развития квалификаций, Национальный реестр профессиональных стандартов), формирование базового списка, включающего требования к знаниям к группе профессий, которыми может овладеть обучающийся по данному направлению бакалавриата (для учета требований профилей);

- декомпозиция требований на сферы деятельности, для каждой из которых определяются базовые функции, которые должен выполнять выпускник после обучения;
- определение в соответствии с ФГОС для каждой функции профессиональной компетенции (ПК), которую должен освоить студент в процессе обучения;
- разработка дополнительных (специальных) профессиональных компетенций для более полного отражения особенностей профиля, региональных особенностей ВУЗа, учета требований производства, особых компетенций кафедры (ППК, ДПК);
- определение перечня необходимых дисциплин и ранжирование его по уровню сформированности компетенций;
- проектирование матрицы соответствия компетенций и формирующих их составных частей ООП (дисциплины, учебные блоки);
- разработка учебного плана на основе матрицы компетенций [2].

Разработка учебного плана по направлению (специальности) осуществляется на основе матрицы компетенций с учетом комплекса соответствующих требований ФГОС ВО к трудоемкости дисциплин, рекомендуемой учебной нагрузки обучающегося в течение учебной недели, графика учебного процесса на весь период обучения и т.п. В связи с этим проектирование матрицы компетенций приобретает ключевое значение.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ДАННОЙ ЗАДАЧИ

Различным подходам к проблемам внедрения компетентного подхода в системе высшего образования посвящены работы многих российских авторов: И.А. Зимней [8], Э.Ф. Зеера, В.А. Богословского, Е.А. Караваевой, В.И. Байденко [9], И.Г. Галяминой, Ю.Г. Татура., Харитонов И.М., Лавлинской О.Ю., Котова С.С. [4] и др.

Лавлинская О.Ю. предлагает критерий эффективности построения УП в виде достижения максимума идеальной массы учебного материала, который, в отличие от известных, позволяет учитывать значения ресурсных признаков, количественно выраженных в плотности и объеме информационных ресурсов. Данный метод не позволяет сформировать оптимальную компетентностную модель, не учитывает требования работодателя.

Котов С.С. предлагает метод решения задачи нахождения сформированного набора вариантов допустимых учебных планов, который наилучшим образом соответствует предпочтениям различных групп. Для оценки этого соответствия вводится интегральный критерий, зависящий от частных критериев оптимальности, используемых каждой социальной группой для оценки качества учебного плана [6]. В данной работе требования к оптимальности УП выражены в виде степени удовлетворенности работодателей, обучающихся и преподавателей распределением трудоемкости по компетенциям, которая в построенном учебном плане вычисляется, исходя из важностей, а не сформированности компетенций, указанных при анкетировании. В данном методе не учитывается вклад дисциплин в формирование компетенции.

Харитонов И.М. предлагает формализованный модульно-компетентностный подход к представлению учебной дисциплины в виде системы взаимосвязанных модулей, ответственных за формирование компетенций выпускающегося специалиста, с ориентацией требований местного рынка труда в формате опроса ведущих специалистов организаций и предприятий региона, заинтересованных в выпуске специалистов заданного профиля [5]. Данный метод не рассматривает задачу оптимизации учебного плана.

Анализ работ, форм представлений компетентностной модели и методов ее проектирования позволяет сделать вывод, что процесс проектирования трудно формализуем,

предложенные методы направлены на автоматизацию составления учебных планов, но задачу оптимизации учебного плана с учетом требований работодателя и уровней сформированности компетенций выпускника не решают.

Имеющиеся в настоящий момент инструментально-программные средства, позволяющие автоматизировать составление учебных планов, такие, как, программный комплекс «ПЛАНЫ ВПО+СПО» (ММИС лаборатория), пакет GosInsp (ООО «Интеллект», г. Шахты), модуль «Планирование учебного процесса» (компания Infosuite), «БИТ. ВУЗ. Учебная часть» (Центр автоматизации вузов компании «Первый БИТ»), КИС УЗ Модус (ЗАО «Информационные системы»), АСУ Галактика «Управление ВУЗом» и др., не учитывают компетентностную модель выпускника.

ПРЕДЛАГАЕМАЯ МОДЕЛЬ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Итак, подходы, изложенные в официальных и других документах, и практика разработки образовательных программ не дают инструмента, позволяющего оптимизировать компетентностную модель, в соответствии с этим возникает задача подобрать оптимальный набор дисциплин, позволяющий наиболее эффективно реализовать набор компетенций выпускника ВУЗа (обучаемого по определенному направлению бакалавриата) с учетом заданного (работодателем) уровня сформированности компетенций и ограничений учебного плана.

Исходными данными являются:

– C – множество компетенций (размерность M), включает в себя:

- 1) общекультурные компетенции (ОК);
- 2) общепрофессиональные компетенции (ОПК);
- 3) профессиональные компетенции (ПК);

4) профессиональные компетенции профиля (ПКП) или дополнительные профессиональные компетенции (ДПК) (вводятся в соответствии с профилем по направлению, требованиями работодателя, профилем кафедры, ВУЗа);

– D – множество учебных модулей (дисциплин, размерность N), включающее в себя базовые и дисциплины по выбору.

В проектировании компетентностной модели, на основе которой затем формируется учебный план, ключевая роль в принятии решений принадлежит эксперту или группе экспертов. Эксперты формируют множество (перечень) дисциплин по выбору, из которого затем лицо, принимающее решение, отбирает необходимые дисциплины для матрицы компетенций.

Необходимо определить уровень сформированности компетенции. За основу возьмем обобщенную систему целевых дидактических показателей усвоения учебного материала, предложенную в работе [3]:

1. «Нулевой» уровень (Понимание) – это такой уровень, при котором учащийся способен понимать, т.е. осмысленно воспринимать новую для него информацию. Строго говоря, этот уровень нельзя называть уровнем усвоения учебного материала по изучаемой теме. Фактически речь идет о предшествующей подготовке учащегося, которая дает ему возможность понимать новый для него учебный материал. Условно деятельность учащегося на «нулевом» уровне называют Пониманием.

2. Первый уровень (Знание) – это узнавание изучаемых объектов и процессов при повторном восприятии ранее усвоенной информации о них или действий с ними, например, выделение изучаемого объекта из ряда предъявленных различных объектов. Условно

деятельность первого уровня называют Знанием, а знания, лежащие в ее основе, – Знаниями-знакомствами.

3. Второй уровень (Воспроизведение) – это воспроизведение усвоенных ранее знаний от буквальной копии до применения в типовых ситуациях. Примеры: воспроизведение информации по памяти; решение типовых задач (по усвоенному ранее образцу). Деятельность второго уровня условно называют Воспроизведением, а знания, лежащие в ее основе, – Знаниями-копиями.

4. Третий уровень (Применение) – это такой уровень усвоения информации, при котором учащийся способен самостоятельно воспроизводить и преобразовывать усвоенную информацию для обсуждения известных объектов и применения ее в разнообразных нетиповых (реальных) ситуациях. При этом учащийся способен генерировать субъективно новую (новую для него) информацию об изучаемых объектах и действиях с ними. Примеры: решение нетиповых задач, выбор подходящего алгоритма из набора ранее изученных алгоритмов для решения конкретной задачи. Деятельность третьего уровня условно называют Применением, а знания, лежащие в ее основе, – Знаниями-умениями.

5. Четвертый уровень (Творческая деятельность) – это такой уровень владения учебным материалом темы, при котором учащийся способен создавать объективно новую информацию (ранее не известную никому). Вышеописанную таксономию применим для описания уровня сформированности компетенций в процессе изучения дисциплины (табл. 1).

Таблица 1 – Уровень сформированности компетенций в процессе изучения модуля (дисциплины)

Уровни высшего образования	Уровень (описание)	Виды учебной нагрузки		
		Аудиторная	СРС	Контроль
Бакалавриат	1 – Узнавание – Знания-знакомства	+		
	2 – Воспроизведение – Знания-копии	+	+	+
	3 – Применение – Знания-умения.	+	+	+
Магистратура	4 – Творческая деятельность – Способность создавать объективно новую информацию	-	+	-

Компетенция излагается в рамках курса учебной дисциплины (одной или нескольких) с целью формирования ее у обучаемого. Необходимый уровень сформированности компетенции Z (принимает значения от 1 до 3 для бакалавриата) определяется требованием эксперта (работодателя).

Под обучающим объектом следует понимать учебный модуль (УМ) (учебную дисциплину или ее часть, формирующую компетенцию на определенном уровне).

Следует учитывать, что отдельную компетенцию формируют различные дисциплины на протяжении всего периода обучения и отдельная дисциплина формирует несколько компетенций (рис. 1).

В формировании данной компетенции K_i ($i = 1, \dots, m$) до требуемого уровня участвуют несколько учебных модулей (дисциплин) D_j ($j = 1, \dots, n$). Аналогично один учебный модуль (дисциплина) участвует в формировании нескольких компетенций.

Простейший случай, когда в формировании одной компетенции K_i участвует один УМ D_j , показан на рисунке 1.

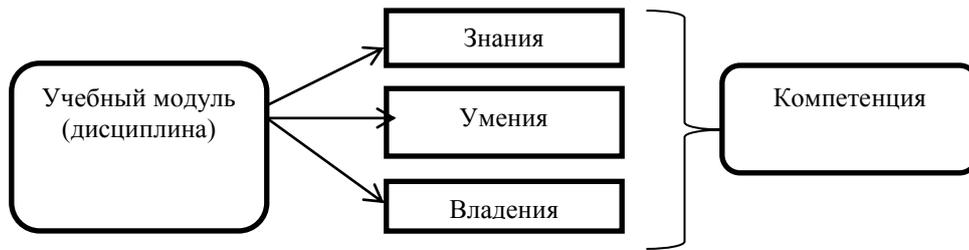


Рисунок 1 – Формирование компетенций в процессе изучения дисциплины

Частные веса (уровни сформированности) f_i по составляющим компетенции определим так: f_1 – знания; f_2 – умения; f_3 – владения.

Матрица F (табл. 2) отражает уровень сформированности составляющих компетенцию знаний, умений, владений учебными модулями (УМ).

$\sum_{i=1}^n f_{1,i}$ – показатель сформированности знаний, составляющих компетенцию K_1 ,

$$f_{1,i} \rightarrow [0; 1]; \quad (1)$$

$\sum_{i=1}^n f_{2,i}$ – показатель сформированности умений, составляющих компетенцию K_2 ,

$$f_{2,i} \rightarrow [0; 1]; \quad (2)$$

$\sum_{i=1}^n f_{3,i}$ – показатель сформированности владений, составляющих компетенцию K_3 ,

$$f_{3,i} \rightarrow [0; 1]. \quad (3)$$

$\mu_1 = \sum_1^3 f_i$ – уровень сформированности (интегральный вес) компетенции, формируемой УМ, одним или несколькими, – числовой коэффициент, принимающий значения от 0 до 3.

Таблица 2 – Матрица F

ЗУВ / Учебные модули	K_1			K_2			K_n
	З1	У1	В1	З2	У2	В2	...
УМ ₁	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}	f_{15}	f_{16}	...
УМ ₂	f_{21}	f_{22}	f_{23}	f_{24}	f_{25}	f_{26}	...
	f_{31}	f_{32}	f_{33}	f_{34}	f_{35}	f_{36}	...
....
УМ _n	f_{m1}	f_{m2}	f_{m3}	f_{m4}	f_{m5}	f_{m6}	...

Матрица R (табл. 3) отражает уровень формирования компетенций учебными модулями (УМ).

Показатель $\mu_i \rightarrow [0; 3]$ – уровень формирования компетенции учебным модулем (УМ).

$K_i = \sum_{j=1}^n \mu_{ij}$ – интегральный вес K_i – компетенции. (4)

Таблица 3 – Матрица R

Компетенции / Учебные модули	УМ ₁	УМ ₂	....	УМ _n
K_1	μ_{11}	μ_{12}	....	μ_{1n}
K_2	μ_{21}	μ_{22}	....	μ_{2n}
K_3	μ_{31}	μ_{32}	....	μ_{3n}
....
K_m	μ_{m1}	μ_{m2}	....	μ_{mn}

Таким образом, получаем перечень УМ, необходимых для формирования компетенции K_i . Данный перечень ранжируется по интегральным весам компетенции от наибольшего показателя к меньшему. При выборе УМ (одного или нескольких) эксперт должен учитывать соотношение интегрального веса компетенции с требуемым (заявленным работодателем) значением Z для данной компетенции, т.е.

$$K_i \leq Z, \quad (5)$$

и трудоемкостью УМ, выраженной в зачетных единицах (з.е.). Обозначим ее S .

Так как одна дисциплина формирует несколько компетенций, то трудоемкость дисциплины (S) определяется так:

$$K_1 t_1 + K_2 t_2 + \dots + K_m t_m = T_m = S, \quad (6)$$

где K_i – интегральные веса компетенций; t_i – время, требуемое на формирование соответствующих компетенций, определяемое экспертом (лицом, принимающим решение), или

$$S = \sum_{i=1}^m T_i K_i, \quad (7)$$

где m – кол-во компетенций, формируемых данной дисциплиной.

Трудоемкость компетентностной модели:

$$\sum_{i=1}^n S_i Z_i \rightarrow \min, \quad (8)$$

где S_i – трудоемкости дисциплин, $S_i > 1$ з. ед. (зачетная единица=36 ч); $Z_i \rightarrow [0;3]$ – уровни сформированности компетенций.

Трудоемкость компетентностной модели регламентируется требованиями ФГОС к учебному плану (рис. 2).

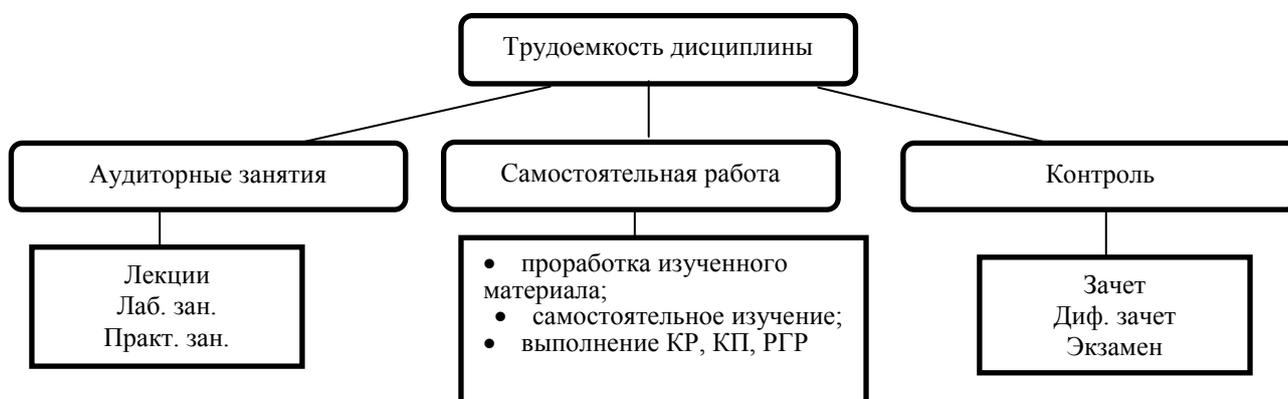


Рисунок 2 –Трудоемкость дисциплины

Предлагаемый алгоритм формирования компетентностной модели выпускника с учетом требований работодателя:

– сформулировать требования работодателей к выпускнику определенного направления подготовки бакалавра на языке «знать, уметь, владеть»;

– определить соответствие сформулированных знаний, умений, владений компетенциям, указанным во ФГОС ВО (3+) по выбранному направлению, в случае необходимости выделить дополнительные профессиональные компетенции;

- составить матрицу соответствия (F) учебных модулей и формируемых ими знаний, умений, владений, указывая значение уровня сформированности составляющих компетенций обучающими модулями в соответствии с ФГОС по данному направлению (решение о величине данной метрики принимает эксперт или группа экспертов);
- проанализировать матрицу соответствия (F) дисциплин (УМ) и ЗУВ, сформировать матрицу (R) соответствия компетенций и УМ, отражающую уровни сформированности (интегральные веса) компетенций, формулы (1-4);
- сформировать перечень дисциплин, используя метод анализа иерархий (МАИ), обозначив в качестве критериев максимальный уровень сформированности компетенций (сравнения интегральных весов (сумм весов) компетенций со значением, определенным работодателем (Z)) и трудоемкости дисциплин;
- используя полученный перечень дисциплин сформировать матрицу компетенций, на основе которой составляется учебный план.

ВЫВОДЫ ПО ДАННОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ

Получаем список дисциплин, необходимых для формирования востребованных работодателем компетенций; эксперты (ЛПР) используют данный список при проектировании учебного плана с учетом трудоемкостей дисциплин и других ограничений ФГОС. Далее в соответствии с формулами (5-9) строится компетентностная модель, на основе которой формируется оптимальный учебный план.

Данный подход является новым, т.к. позволяет построить оптимальный учебный план, учитывающий требования работодателя, уровни сформированности компетенций, требования к трудоемкости дисциплин и другие ограничения учебного плана.

Для реализации данной задачи используется аппарат теории множеств и объектно-ориентированные методология и инструментарий моделирования.

Таким образом, данный подход позволит разработать эффективную компетентностную модель выпускника с учетом требований, заявленных работодателем, и спроектировать оптимальный учебный план.

Целью дальнейших исследований является разработка инструментальных средств, позволяющих автоматизировать работу по проектированию учебного плана на основе компетентностной модели.

Полученную модель можно ежегодно по существующим нормам внесения изменений в учебный план корректировать в соответствии с изменившимися требованиями работодателей, внося в ограничения трудоемкость уже пройденных дисциплин. В результате по окончании обучения на выходе получаем бакалавра, обладающего необходимыми компетенциями, сформулированными работодателями год назад.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матушкин Н.Н., Столбова И.Д. Методологические аспекты разработки структуры компетентностной модели выпускника высшей школы // Высшее образование сегодня, 2009. – № 5. – С. 24-29.
2. Мартынов В.В., Макарова С.Ю. Компетентностный подход в профессиональном образовании: методы и проблемы // Актуальные проблемы науки и техники. – Т. 3. // Управление в социально-экономических системах: сборник научных трудов 8-й Всероссийская зимняя школа-семинар аспирантов и молодых ученых. – Уфа: УГАТУ, 2013. – 326 с.

3. Беспалько В.П. Педагогика и прогрессивные технологии обучения. Инструменты профессионального образования. – М., 1995. – 336 с.
4. Татур Ю. Г. Проектирование образовательного процесса в ВУЗе. Компетентностный подход. Модульная структура. Рейтинговая оценка: экспериментальная учебная авторская программа / Московский государственный институт стали и сплавов (технологический университет) и др.; под ред. Н.А. Селезневой. – Москва: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов.
5. Харитонов И.М. Алгоритм формирования исходного варианта учебного плана ВУЗа на основе формализованной модели представления учебной дисциплины // Современное образование: методология и методика реализации стандартов нового поколения: материалы международной научной конференции. – Ульяновск, 2011. – 146 с.
6. Котов С.С. Модель управления учебными планами компетентностно-ориентированных образовательных программ с учетом предпочтений различных социальных групп: диссертация кандидата технических наук: 05.13.10 / Котов Сергей Сергеевич. Место защиты – Национальный исследовательский технологический университет. – Пермь, 2010. – 152 с.
7. Лавлинская О.Ю. Модели, методы и алгоритмы управления процессом оптимального формирования учебного плана с учетом внешних требований: диссертация кандидата технических наук: 05.13.10 / Лавлинская Оксана Юрьевна. Место защиты – Воронежская государственная лесотехническая академия. – Воронеж, 2008. – 161 с.
8. Зимняя И.А. Компетенция и компетентность в контексте компетентностного подхода в образовании // Иностранные языки в школе, 2012. – № 6. – С. 2-11.
9. Байденко В.И. Болонский процесс: результаты обучения и компетентностный подход (книга-приложение 1). – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2009.

Макарова Светлана Юрьевна

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный университет, г. Уфа
Соискатель, старший преподаватель кафедры экономической информатики
Тел.: 8 917 4423484
E-mail: svet_makarova1@mail.ru

Зайцева Алёна Алексеевна

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный университет, г. Уфа
Аспирант, ассистент кафедры экономической информатики
Тел.: 8 960 3998998
E-mail: alenazaitseva@yahoo.com

S.Yu. MAKAROVA (*Applicant, Senior Teacher of the Department of Economic Informatics*)

A.A. ZAJCEVA (*Post-graduate Student, Assistant of the Department of Economic Informatics*)
Ufa State Aviation Technical University, Ufa

**OPTIMIZE COMPETENCY MODELS EDUCATIONAL OUTCOMES OF HIGHER
PROFESSIONAL EDUCATION WITH THE REQUIREMENTS OF THE EMPLOYER**

The article discusses the approach to the selection of an optimal set of disciplines, allowing for the most efficient implementation of competence model of a graduate of the University student in a certain direction (baccalaureate) subject to the employer's requirements to competences and competence of a graduate and limitations of the curriculum.

Keywords: competence; learning module; curriculum; competencies; educational standard; competence model.

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Matushkin N.N., Stolbova I.D. Metodologicheskie aspekty' razrabotki struktury' kompetentnostnoj modeli vy'pusknika vy'sshej shkoly' // Vy'sshee obrazovanie segodnya, 2009. – № 5. – S. 24-29.
2. Martynov V.V., Makarova S.Yu. Kompetentnostny'j podxod v professional'nom obrazovanii: metody' i problemy' // Aktual'ny'e problemy' nauki i tekhniki. – T. 3. // Upravlenie v social'no-e'konomicheskix sistemax: sbornik nauchny'x trudov 8-j Vserossijskaya zimnyaya shkola-seminar aspirantov i molody'x ucheny'x. – Ufa: UGATU, 2013. – 326 s.
3. Bespal'ko V.P. Pedagogika i progressivny'e tekhnologii obucheniya. Instrumenty' professional'nogo obrazovaniya. – M., 1995. – 336 s.
4. Tatur Yu. G. Proektirovanie obrazovatel'nogo processa v VUZe. Kompetentnostny'j podxod. Modul'naya struktura. Rejtingovaya ocenka: e'ksperimental'naya uchebnaya avtorskaya programma / Moskovskij gosudarstvenny'j institut stali i splavov (texnologicheskij universitet) i dr.; pod red. N.A. Seleznevoj. – Moskva: Issledovatel'skij centr problem kachestva podgotovki specialistov.
5. Xaritonov I.M. Algoritm formirovaniya isxodnogo varianta uchebnogo plana VUZa na osnove formalizovannoj modeli predstavleniya uchebnoj discipliny' // Sovremennoe obrazovanie: metodologiya i metodika realizacii standartov novogo pokoleniya: materialy' mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. – Ul'yanovsk, 2011. – 146 s.
6. Kotov S.S. Model' upravleniya uchebny'mi planami kompetentnostno-orientirovanny'x obrazovatel'ny'x programm s uchetom predpochtenij razlichny'x social'ny'x grupp: dissertaciya kandidata texnicheskix nauk: 05.13.10 / Kotov Sergej Sergeevich. Mesto zashhity' – Nacional'ny'j issledovatel'skij texnologicheskij universitet. – Perm', 2010. – 152 s.
7. Lavlinskaya O.Yu. Modeli, metody' i algoritmy' upravleniya processom optimal'nogo formirovaniya uchebnogo plana s uchetom vneshnix trebovanij: dissertaciya kandidata texnicheskix nauk: 05.13.10 / Lavlinskaya Oksana Yur'evna. Mesto zashhity' – Voronezhskaya gosudarstvennaya lesotexnicheskaya akademiya. – Voronezh, 2008. – 161 s.
8. Zimnyaya I.A. Kompetenciya i kompetentnost' v kontekste kompetentnostnogo podxoda v obrazovanii // Inostranny'e yazyki v shkole, 2012. – № 6. – S. 2-11.
9. Bajdenko V.I. Bolonskij process: rezul'taty' obucheniya i kompetentnostny'j podxod (kniga-prilozhenie 1). – M.: Issledovatel'skij centr problem kachestva podgotovki specialistov, 2009.

УДК 519.876.5:314.02

О.А. САВИНА, А.Л. МАШКОВА, С.В. САРАПКИНА

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МОДУЛЯ «ДЕМОГРАФИЯ» ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

В статье рассматриваются вопросы построения и анализа адекватности программного модуля «Демография», предназначенного для воспроизведения демографических процессов в вычислительной модели экспериментальной экономики. Динамика населения задается через набор статистических показателей. В качестве метода оценки адекватности были выбраны сравнения результатов моделирования с ретроспективными данными по Орловской области.

Ключевые слова: вычислительная модель экспериментальной экономики; оценка адекватности; моделирование демографических процессов.

ВВЕДЕНИЕ

Воспроизведение демографических процессов является неотъемлемой частью любой вычислительной модели экспериментальной экономики, поскольку они влияют на протекание таких экономически значимых процессов, как трудоустройство и связанная с ним миграция, получение образования, воспроизводство человеческого капитала через рождение и воспитание детей [2-6, 11].

Существует множество способов описания анализа и прогнозирования демографических процессов. Для решения малых задач применяются статистические методы, основанные на наблюдениях и опросах. Альтернативным подходом является агентное моделирование [1, 4]. Главное различие между статистической демографией и агентным моделированием (далее АМ) заключается в том, что в АМ сгенерированные при помощи компьютера индивиды-агенты, наделенные определенными правилами поведения, позволяют достоверно объяснить существующие особенности населения, наделять сущность качествами и определенными знаниями, давать актуальную информацию, подходящую именно для данного агента [7-10].

Целью данной работы является описание универсального модуля для вычислительных моделей экспериментальной экономики, основанных на агентном подходе. В данном модуле отражается динамика населения (рождение, взросление и смерть агентов) через основные статистические показатели рождаемости и смертности. В модуле также осуществляется группировка агентов по семьям-домохозяйствам на основе обращения к статистике вступления в брак.

Важным аспектом создания модуля «Демография» и внедрения его в модель экспериментальной экономики является оценка его адекватности на основе сравнения получаемых результатов с ретроспективными данными. Источниками данных являются такие организации, как ЗАГС и УФМС, публикующие статистическую информацию в соответствующих сборниках [6].

МЕТОДЫ УЧЕТА ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В данном разделе будут систематизированы основные характеристики, которые необходимы для описания населения. Изменение численности населения в результате рождений и смертей называют естественным движением населения. Естественное движение населения изучают с помощью абсолютных и относительных показателей. К абсолютным

показателям относятся: численность родившихся в данном регионе за определенный период времени (человек) (P), численность умерших (Y), величина естественного прироста (естественной убыли) населения, которая определяется как разность между численностью родившихся и умерших (ЕП) [2, 3].

К относительным показателям относятся: общий коэффициент рождаемости, показывающий, сколько человек рождается в данном регионе в течение определенного периода времени в среднем на каждую 1000 человек наличного населения (в промилле ‰); общий коэффициент смертности; коэффициент естественного прироста; коэффициент жизненности населения, который характеризует воспроизводство населения [11].

Для программной реализации использовались абсолютные демографические показатели:

1. Общая численность населения:

$$P = P_0 + (N - M) + (V_+ - V_-) = P_0 + E + V_{пр} \text{ (уравнение демографического баланса),}$$

где P – общая численность населения; P₀ – численность населения на начало года; N – общее число родившихся; M – общее число умерших; E – естественный прирост населения; V₊ – число прибывших; V – число выбывших, по каким-либо причинам.

2. Общий прирост населения:

$$P_1 - P_0 = P_{пр},$$

где P₀ – численность населения на начало периода (обычно год); P₁ – на конец периода.

3. Естественный прирост населения:

$$N - M = E,$$

где N – общее число родившихся; M – общее число умерших.

Значение показателя может быть отрицательным, если имеет место естественная убыль населения (в России с 1992).

4. Миграционное сальдо (чистая миграция):

$$V_+ - V_- = V_{пр};$$

V₊ – число прибывших (иммигранты);

V₋ – число выбывших (эмигранты);

V = O – E (косвенный метод);

$$O = P_1 - P_0.$$

В отношении прибывших и выбывших во многих странах существует недоучет, тогда ищут сальдо косвенно из уравнения демографического баланса [6].

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДУЛЯ «ДЕМОГРАФИЯ»

С помощью программной среды NetLogo была разработана компьютерная агентная модель, охватывающая все описанные выше характеристики [12]. Интерфейс программы представлен на рисунке 1.

В начале процесса моделирования необходимо ввести статистические данные на конец года, предшествующие году моделирования. Данные показатели берутся из официальных источников, одни из них – показатели ЗАГСов, данные переписи населения. Параметры вводятся в программу согласно описанию [9, 10]:

P₀ – численность населения на начало года;

N – общее число родившихся;

M – общее число умерших;

E – естественный прирост населения;

V_{pr} – миграционное сальдо;

k-men – коэффициент количества мужского населения;

k-women – коэффициент количество женского населения;

count-family – количество семей на начало года;

k-family – коэффициент образования новых семей;

После окончания ввода данных программа рассчитывает исходные данные для начала процесса моделирования, после чего начинается непосредственно моделирование демографических процессов.

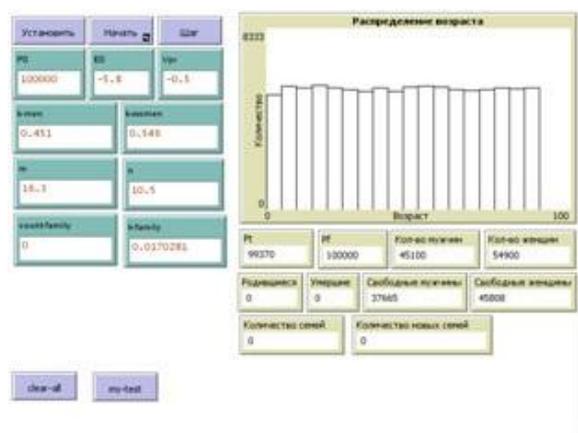


Рисунок 1 – Интерфейс программного блока «Демография»

АНАЛИЗ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ РЕТРОСПЕКТИВНЫХ ДАННЫХ

Оценка адекватности модуля «Демография» проводилась на основе сравнения со статистическими данными по Орловской области. Наблюдения показывают, что численность населения Орловской области неуклонно падает [9, 10]. В 2010 году по сравнению с 2009 численность населения сократилась на 26 тысяч человек (или на 2,88%) и составила 876 тысяч человек (в 1999 году – 902 тысяч человек). Определяющим фактором процесса сокращения численности населения остается естественная убыль, составившая в 2003 г. 8,4 тысячи человек, и миграционный отток населения за пределы области (0,2 тысячи человек). Несмотря на увеличение рождаемости (более чем на 200 человек), число умерших превысило число родившихся в 2,1 раза (родилось 7,7 тысяч младенцев, умерло 16,1 тысяч человек) (рис. 2).

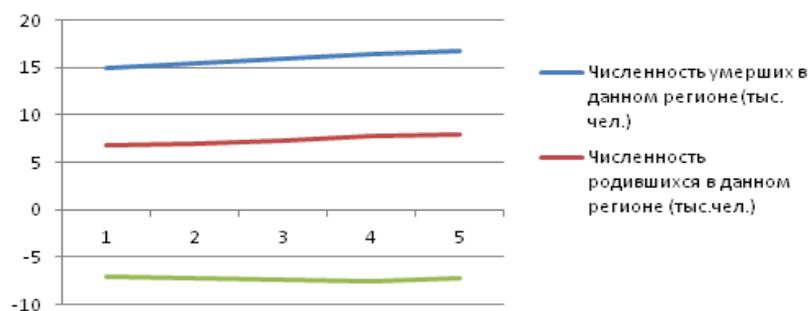


Рисунок 2 – Динамика рождаемости, смертности и естественной убыли населения в Орловской области

По прогнозу численность родившихся в 2010 будет равна 9665 человек (на 1965 человек больше, чем в 2003 году), умерших – 18307 человек (на 2207 человек больше, чем в 2003 году). Соответственно, естественная убыль в 2010 году составит 8642 человек, что на 242 человека превышает уровень 2003 года. Коэффициент рождаемости в расчете на 1000 человек населения увеличился с 8,4 до 8,8 промилле (на 5%). Коэффициент смертности увеличился с 16,5 промилле в 1999 году до 18,4 в 2003 г.

Коэффициент жизненности в 2003 году по сравнению с 1999 годом возрос на 3,64% и составил 47,88%. Однако, несмотря на его увеличение, он все же остается очень низким и свидетельствует о том, что население вымирает. Смертность детей в возрасте до 1 года в расчете на 1000 родившихся сократилась почти на 2%.

В истекшем году улучшились брачно-семейные отношения населения: зарегистрировано 6,7 тысяч браков и 4,7 тысяч разводов. Если в 2002 г. на каждую тысячу зарегистрированных браков приходилось 829 разводов, то в 2003 г. – 670.

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ «ДЕМОГРАФИЯ»

Наиболее наглядным доказательством адекватности модели является сравнение прогноза с реальными наблюдениями, но поскольку будущее состояние системы неизвестно, эксперимент будет проводиться на ретроспективных данных в течение определенного прошедшего периода, а полученные в результате моделирования базовые характеристики моделируемой системы будут сравниваться со статистическими известными за моделируемый период.

В качестве критерия оценки эффективности управляющих воздействий используется показатели численности агентов различных групп, проживающих в регионе на конец моделируемого периода:

$$K1 = k_{1-} \text{ – численность детей до 15 лет;}$$

$$K2 = \sum_{i=2}^3 k_i \text{ – численность учащихся в возрасте от 15 до 25 лет;}$$

$$K3 = \sum_{i=4}^5 k_i \text{ – численность трудоспособных жителей в возрасте от 25 до 40 лет;}$$

$$K4 = k_{6-} \text{ – численность трудоспособных жителей старше 40 лет;}$$

где k_i – численность кластера агентов, $i=1,6$.

Проверку адекватности модели будем осуществлять на основе анализа приведенного выше критерия. С имеющимися данными о численности агентных групп на 2007 год было осуществлено 20 прогонов имитационной модели в течение 60 тактов модельного времени (5 лет). Базовая гипотеза – закон распределения полученных значений, иллюстрирующих прогноз демографической и миграционной ситуации на 2015 год, близок к нормальному, а полученные в результате моделирования характеристики близки к реально зафиксированным характеристикам в Орловской области, зафиксированных в 2014 году.

Для выборки проводится доказательство нормальности ее распределения с использованием χ^2 -критерия Пирсона. Для рассматриваемой генеральной выборки данных было выделено 7 основных интервалов, количество которых впоследствии было уменьшено до 5 в связи с тем, что число наблюдений в последних трех интервалах было значительно меньше остальных. В таблице 1 приведены данные по совокупной численности агентных групп: реально зафиксированные по годам и полученные в результате моделирования. В

ходе доказательства нормальности распределения была подтверждена гипотеза о нормальности распределения результатов моделирования.

Таблица 1 – Результаты тестирования

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Статистические данные	826 58 8	821 93 4	816 89 5	786 93 5	785 59 2	781 28 1	775 82 6	769 98 0	765 23 1
Данные моделирования	82451 4	82341 0	81690 1	78500 1	78534 4	77993 3	77369 8	77186 9	76653 6
Отклонение	5,21	2,64	6,47	4,76	0,78	2,32	5,85	4,59	2,21

Отклонение средних значений численности наблюдаемых групп по результатам эксперимента на агентной модели от реально зафиксированных укладывается в пределы от 2 до 7%. Применение критерия Пирсона к выборке подтверждает гипотезу о нормальном распределении значений численности агентных групп. Из приведенных выше заключений следует сделать вывод, что агентная модель адекватно отражает демографические процессы, происходящие в Орловской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный программный модуль позволяет отобразить демографическую ситуацию в исследуемом регионе и ее динамику в долгосрочном периоде на основе статистических показателей. Также в модуле осуществляется группировка агентов в домохозяйства в целях дальнейших исследований уровня жизни населения. Проведенное сравнение результатов моделирования с ретроспективными данными по Орловской области показало их высокую согласованность, что позволяет сделать вывод об адекватности воспроизведения демографических процессов в программном модуле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агентное моделирование: определение, методы и области применения [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.agentnoe-modelirovanie.ru/netLogo-vvedenie.php> (дата обращения: 14.02.2015).
2. Боярский А.Я. Население и методы его изучения. – М., 1975.
3. Венецкий И.Г. Статистические методы в демографии. – М., 1977.
4. Емельянов А.А., Власова Е.А., Дума Р.В. Имитационное моделирование экономических процессов. – М.: Инфра-М, 2009. – 416.
5. Колемаев В.А. Математическая экономика. – М.: Юнити-Дана, 2005. – 295 с.
6. Лучкевич С. Медико-демографические показатели Российской Федерации // Социологические исследования, 2005. – № 4.
7. Машкова А.Л. Интеллектуальный агент в социальной среде: нечеткие оценки и правила принятия решений // Известия ЮЗГУ. Серия «Управление, информатика, вычислительная техника», 2014. – № 3. – С. 12-19.
8. Машкова А.Л. Когнитивная архитектура интеллектуального агента в имитационных моделях социально-экономических явлений // Ученые записки ОГУ. Серия «Гуманитарные и социальные науки», 2014. – № 5. – С. 78-81.
9. Машкова А.Л., Сарапкина С.В. Формирование законов динамики популяции экономических агентов в экспериментальной вычислительной модели // Электронное научно-практическое периодическое издание «Экономика и социум», 2015. – № 2(15) [Электронный ресурс]. – URL:

http://iupr.ru/domains_data/files/zurnal_15/Mashkova%20A.L.pdf (дата обращения: 20.07.2015).

10. Машкова А.Л., Сарапкина С.В. Оценка адекватности моделирования демографических процессов в вычислительной модели экспериментальной экономики на основе сравнения с ретроспективными данными // Международная научно-практическая интернет-конференция «Информационные системы и технологии-2015» [Электронный ресурс]. – URL: <http://youconf.ru/isit2015/materials/manager/view/421> (дата обращения: 19.05.2015).
11. Новосельский С.А. Демография и статистика. – М., 1978.
12. NetLogo [Электронный ресурс]. – URL: <https://ccl.northwestern.edu/netlogo> (дата обращения: 26.02.2015).

Савина Ольга Александровна

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы»

E-mail: o.a.savina@gmail.com

Машкова Александра Леонидовна

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы»

E-mail: aleks.savina@gmail.com

Сарапкина Светлана Вячеславовна

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Магистрант кафедры «Информационные системы»

E-mail: lana_911@bk.ru

O.A. SAVINA (*Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department «Information Systems»*)

A.L. MASHKOVA (*Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor of the Department «Information Systems»*)

S.V. SARAPKINA (*Master Student of the Department «Information Systems»
State University – ESPC, Orel*)

**PROGRAMMING AND VERIFICATION OF MODULE DEMOGRAPHY
IN COMPUTATIONAL MODEL OF EXPERIMENTAL ECONOMICS**

The article considers some problems of plotting and analysis of the adequacy of the program module Demography. The module is designed for replicating demographic processes in the computational model of experimental economics. Modeling is realized in two stages: the creation of the initial population of agents that adequately reflects the explored community, and the setting the dynamics based on statistical indicators of fertility, mortality, etc. The comparison of modeling results with retrospective data was selected as a method of verification.

Keywords: *computational model of experimental economics; verification; modeling of demographic processes.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Agentnoe modelirovanie: opredelenie, metody' i oblasti primeneniya [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.agentnoe-modelirovanie.ru/netLogo-vvedenie.php> (data obrashheniya: 14.02.2015).
2. Boyarskij A.Ya. Naselenie i metody' ego izucheniya. – М., 1975.
3. Veneckij I.G. Statisticheskie metody' v demografii. – М., 1977.
4. Emel'yanov A.A., Vlasova E.A., Duma R.V. Imitacionnoe modelirovanie e'konomicheskix processov. – М.: Infra-M, 2009. – 416.
5. Kolemaev V.A. Matematicheskaya e'konomika. – М.: Yuniti-Dana, 2005. – 295 s.

6. Luchkevich S. Mediko-demograficheskie pokazateli Rossijskoj Federacii // Sociologicheskie issledovaniya, 2005. – № 4.
7. Mashkova A.L. Intellektual'ny'j agent v social'noj srede: nechetkie ocenki i pravila prinyatiya reshenij // Izvestiya YuZGU. Seriya «Upravlenie, informatika, vy'chislitel'naya texnika», 2014. – № 3. – S. 12-19.
8. Mashkova A.L. Kognitivnaya arxitektura intellektual'nogo agenta v imitacionny'x modelyax social'no-e'konomicheskix yavlenij // Ucheny'e zapiski OGU. Seriya «Gumanitarny'e i social'ny'e nauki», 2014. – № 5. – S. 78-81.
9. Mashkova A.L., Sarapkina S.V. Formirovanie zakonov dinamiki populyacii e'konomicheskix agentov v e'ksperimental'noj vy'chislitel'noj modeli // E'lektronnoe nauchno-prakticheskoe periodicheskoe izdanie «E'konomika i socium», 2015. – № 2(15) [E'lektronny'j resurs]. – URL: http://iupr.ru/domains_data/files/zurnal_15/Mashkova%20A.L.pdf (data obrashheniya: 20.07.2015).
10. Mashkova A.L., Sarapkina S.V. Ocenka adekvatnosti modelirovaniya demograficheskix processov v vy'chislitel'noj modeli e'ksperimental'noj e'konomiki na osnove sravneniya s retrospektivny'mi danny'mi // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya internet-konferenciya «Informacionny'e sistemy' i texnologii-2015» [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://youconf.ru/isit2015/materials/manager/view/421> (data obrashheniya: 19.05.2015).
11. Novosel'skij S.A. Demografiya i statistika. – M., 1978.
12. NetLogo [E'lektronny'j resurs]. – URL: <https://ccl.northwestern.edu/netlogo> (data obrashheniya: 26.02.2015).

УДК 004.934

Г.С. ТУПИЦИН, А.И. ТОПНИКОВ, А.Л. ПРИОРОВ

МОДИФИКАЦИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО АЛГОРИТМА ШУМОПОДАВЛЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИКТОРА В УСЛОВИЯХ ШУМОВ

Предложена модифицированная версия двухступенчатого алгоритма шумоподавления (TSNR), которая использует сглаживание оценки априорного отношения сигнал/шум, полученного на втором этапе алгоритма, с помощью экспоненциального скользящего среднего. Показано преимущество модифицированного алгоритма по сравнению с оригинальным в задаче идентификации диктора в условиях шумов.

Ключевые слова: речевой сигнал; шумоподавление; идентификация диктора; двухступенчатый алгоритм; TSNR.

ВВЕДЕНИЕ

Идентификация диктора может быть произведена достаточно надежно в чистых акустических условиях, однако присутствие фонового шума способно ухудшить ее качество. Одним из наиболее эффективных способов повышения устойчивости систем идентификации диктора к шумам является предобработка входных сигналов с помощью алгоритмов шумоподавления [1].

Проблема восстановления речевого сигнала, искаженного аддитивным некоррелированным шумом, в случае, когда доступен только зашумленный сигнал, широко изучалась в прошлом и актуальна сейчас. Предложены методы подавления шума в частотной области, использующие различные функции коррекции спектра (ФКС), зависящие от апостериорного отношения сигнал/шум (ОСШ) и/или оценки априорного ОСШ. В то же время методу спектрального вычитания [2] оценка априорного ОСШ не требуется. В других методах эта оценка может осуществляться с помощью подхода прямого принятия решения (decision-directed) [3, 4], его модификации на основе двухступенчатого алгоритма (Two Step Noise Reduction – TSNR) [5], а также других методов [6, 7]. Для коррекции спектра на практике используются различные ФКС: Винера [8], минимальной среднеквадратичной ошибки кратковременной амплитуды спектра (Minimum Mean Square Error Short-time Spectral Amplitude – MMSE-STSA) [3] и др.

Стоит отметить, что алгоритмы шумоподавления, максимизирующие показатели качества и разборчивости речевых сигналов, не всегда столь эффективны для предобработки сигналов в задаче идентификации диктора.

Целью работы является модификация двухступенчатого алгоритма шумоподавления [5] для повышения устойчивости к шуму системы автоматической идентификации диктора.

ДВУХСТУПЕНЧАТЫЙ АЛГОРИТМ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ

Рассмотрим речевой сигнал, искаженный аддитивным шумом. Обозначим модуль спектра зашумленной речи как R_k , а незашумленной – A_k .

В [3] показано, что оптимальной оценкой фазы незашумленного сигнала по критерию минимума среднеквадратичной ошибки (СКО) является фаза зашумленного сигнала. Таким образом, задачу подавления шума можно решить путем нахождения \hat{A}_k – оценки модуля

спектра незашумленного сигнала. Это можно сделать с помощью поэлементного умножения модуля спектра зашумленного сигнала R_k на некоторую ФКС G_k [3]:

$$\hat{A}_k = G_k \cdot R_k. \quad (1)$$

Отметим, что ФКС также встречается в литературе под названиями «спектральная функция усиления», «гейн-функция» (от англ. gain-function). Она часто является функцией от априорного ξ_k и/или апостериорного γ_k ОСШ, которые определяются следующим образом:

$$\xi_{p,k} = \frac{\lambda_{p,k}^A}{\lambda_k^D},$$

$$\gamma_{p,k} = \frac{R_{p,k}^2}{\lambda_k^D},$$

где $\lambda_{p,k}^A = E\{A_{p,k}^2\}$ – спектральная плотность незашумленного сигнала в окне p и частотной полосе k ; $\lambda_k^D = E\{D_{p,k}^2\}$ – спектральная плотность шума в частотной полосе k .

В данной работе будет использоваться ФКС минимальной среднеквадратичной ошибки кратковременной амплитуды спектра [3]:

$$G_{MMSE-STSA}(\xi_k, \gamma_k) = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{\sqrt{v_k}}{\gamma_k} {}_1F_1(-0.5; 1; -v_k), \quad (2)$$

$$v_k = \frac{\xi_k}{1 + \xi_k} \gamma_k,$$

где ${}_1F_1(a; c; x)$ – вырожденная гипергеометрическая функция.

Данная ФКС является оптимальной по критерию минимума СКО оценки амплитуды спектра незашумленного сигнала [3].

Для оценки априорного ОСШ при известной спектральной плотности шума λ_k^D и неизвестной спектральной плотности незашумленного сигнала $\lambda_{p,k}^A$ наиболее часто применяют подход прямого принятия решения [3]. При его использовании априорное ОСШ оценивается на основании апостериорного ОСШ в текущем окне и оценки незашумленного сигнала в предыдущем окне:

$$\hat{\xi}_{p,k} = \alpha \frac{\hat{A}_{p-1,k}^2}{\lambda_k^D} + (1 - \alpha) \max(0, \gamma_{p,k} - 1), \quad (3)$$

где $\max(x, y)$ – функция, определяющая большее из двух аргументов; α – параметр алгоритма, часто принимаемый равным 0,98.

В (3) оценка незашумленного сигнала берется в предыдущем окне не только потому, что такая оценка в текущем окне недоступна, но и для целей усреднения $\hat{A}_{p,k}^2$ [3]. Предполагается, что статистические параметры речи не отличаются сильно в соседних окнах. Тем не менее в [5] показано, что такой подход вносит задержку в одно окно. Это приводит к неправильной оценке ФКС и появлению так называемого музыкального шума. Для частичного устранения задержки предложено использовать двухступенчатый алгоритм. Суть его заключается в том, что после получения оценки модуля спектра незашумленного

сигнала для текущего окна по формуле (1) оценка априорного ОСШ рассчитывается повторно следующим образом:

$$\hat{\xi}_{p,k}^{TSNR} = \frac{\hat{A}_{p,k}^2}{\lambda_k^D}. \quad (4)$$

После этого снова рассчитывается ФКС (для каждого окна и спектрального отчета), которая по типу может отличаться от ФКС, используемой на первом этапе алгоритма. Затем повторно рассчитывается оценка модуля спектра незашумленного сигнала по формуле (1).

МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА

Анализируя формулу (4), можно заметить, что $\hat{\xi}_{p,k}^{TSNR}$ нельзя рассматривать как априорное ОСШ, т.к. в числителе стоит мгновенное значение $\hat{A}_{p,k}^2$, а не его математическое ожидание. В то же время для работы ФКС (2), используемой в данной работе, требуется именно оно.

Предлагается выполнять сглаживание $\hat{\xi}_{p,k}^{TSNR}$ с помощью экспоненциального скользящего среднего с ограничением сверху значения в текущем окне:

$$\hat{\xi}_{p,k}^{TSNR} = \varepsilon \cdot \min \left(\delta, \frac{\hat{A}_{p,k}^2}{\lambda_k^D} \right) + (1 - \varepsilon) \cdot \hat{\xi}_{p-1,k}^{TSNR}, \quad (5)$$

$$0 < \varepsilon \leq 1,$$

$$\delta > 0,$$

где ε и δ – параметры, которые подбираются исходя из задачи.

ИССЛЕДОВАНИЯ

Для анализа работы модифицированного алгоритма шумоподавления и сравнения его с исходным в среде Matlab смоделирована система идентификация диктора. Во всех тестах речевой сигнал разбивался на перекрывающиеся окна длиной 25 мс, что при частоте дискретизации в 8000 Гц соответствует 200 отсчетам. Величина перекрытия окон составляла 60% от длины окна. При получении спектра сигнала использовалось окно Хэмминга.

Для эффективного выделения уникальных признаков голоса из речевого сигнала использовались мел-частотные кепстральные коэффициенты (Mel-Frequency Cepstral Coefficients – MFCC) [9]. Банк треугольных фильтров построен для диапазона частот от 0 до 3700 Гц. Для каждого окна рассчитывались 24 коэффициента и брались коэффициенты со 2-го по 16-й.

Для классификации тестовых сигналов применялись модели гауссовых смесей (Gaussian Mixture Model – GMM) [9] со 128 компонентами (для сравнения модифицированного алгоритма с оригинальным) и с 32 компонентами (для подбора параметров модифицированного алгоритма шумоподавления). Отметим, что для расчета модели не применялся стандартный EM-алгоритм. Вместо него использовалась универсальная фоновая модель (Universal Background Model – UBM), которая обучалась на 110 дикторах (по 30 с речи на каждого). Все дикторы – мужчины.

Для тестирования использовались две базы дикторов. Их параметры представлены в таблице 1. База А создана авторами самостоятельно. База Б составлена из записей речевой базы лаборатории телекоммуникаций и обработки сигналов университета Макгилла [10].

Таблица 1 – Параметры используемых речевых баз

Параметр	База А	База Б
Язык	русский	английский
Число мужчин	33	11
Число женщин	0	12
Длина обучающего сигнала для каждого диктора, с	60	60
Число тестовых сигналов для каждого диктора	5	5
Длина тестового сигнала, с	2	2-3

В качестве критерия качества системы идентификации диктора в работе используется такая величина, как точность идентификации диктора (ТИД). Она определяется следующим образом:

$$ТИД = \frac{\text{Число правильно идентифицированных тестовых сигналов}}{\text{Общее число тестовых сигналов}}$$

ТИД обычно выражается в процентах.

Число правильно идентифицированных тестовых сигналов определяется по следующему алгоритму:

1. Производится построение моделей диктора, используя обучающие сигналы выбранной речевой базы.

2. Каждый тестовый сигнал (каждого диктора) выбранной речевой базы подается на вход системы идентификации диктора. Если система правильно распознала диктора, то число правильно идентифицированных тестовых сигналов увеличивается на единицу.

Перед проведением исследования тестовые сигналы могут обрабатываться с помощью различных алгоритмов шумоподавления. Для зашумления тестовых сигналов в работе используется аддитивный белый гауссовский шум (АБГШ). Для получения более достоверных результатов ТИД определяется для нескольких реализаций шума, а результаты усредняются.

ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ МОДИФИЦИРОВАННОГО ДВУХСТУПЕНЧАТОГО АЛГОРИТМА ШУМОПОДАВЛЕНИЯ

Первым этапом подбора параметров является нахождение зависимости ТИД от ϵ и δ . Для этого применялась следующая методика:

1. Тестовые сигналы искажались АБГШ для достижения значений ОСШ от 5 до 15 дБ (шаг 5 дБ). Перед зашумлением в начало каждого сигнала добавлялась 1 с тишины. Это необходимо для более правильной оценки статических характеристик шума алгоритмами. Перед идентификацией диктора 1 с сигнала удалялась из его начала.

2. Выбиралось ϵ из диапазона от 0,1 до 1 (шаг 0,1) и δ из набора [0; 5; 10; 15; 20; ∞].

3. Тестовые сигналы восстанавливались модифицированным двухступенчатым алгоритмом с выбранными параметрами ϵ и δ .

4. Измерялось среднее значение ТИД для пяти реализаций шума с каждым значением ОСШ.

5. Измерения повторялись для других значений ϵ и δ из п. 2.

Таблица 2 – Зависимость точности идентификации диктора от параметров модифицированного двухступенчатого алгоритма шумоподавления

δ, дБ	ε	Точность идентификации диктора, %						Среднее значение
		База А			База Б			
		ОСП 5 дБ	ОСП 10 дБ	ОСП 15 дБ	ОСП 5 дБ	ОСП 10 дБ	ОСП 15 дБ	
0	0,1	52,2	69	80,5	54,4	69,5	77,6	67,2
	0,2	57,2	76,7	87,2	57,3	79,8	84,5	73,8
	0,3	60	77,6	89,1	57,1	79,3	86,4	74,9
	0,4	59,5	78,8	90,2	57,3	78	86,5	75,1
	0,5	59,9	78,5	90,3	55,8	76,7	87,1	74,7
	0,6	59,6	78,3	90,7	54,9	75,6	86,4	74,3
	0,7	58,9	77,3	90,8	52,5	72,9	86,5	73,2
	0,8	57,6	76,6	90,3	51,8	71,3	86,7	72,4
	0,9	57,1	76	89,6	50,5	70,2	85,6	71,5
1	57	74,5	88,8	49,8	69,5	85,1	70,8	
5	0,1	52	68	79	55,5	67,5	78	66,7
	0,2	57,6	75,6	86,8	57,3	79,1	83,6	73,3
	0,3	60,6	78,1	89	55,5	79,8	86,2	74,8
	0,4	61,2	79,5	89,5	56,4	78,7	86,5	75,3
	0,5	61,1	79,8	90,3	56,7	77,6	87,3	75,5
	0,6	61,1	80	90,9	56,4	77,6	88,4	75,7
	0,7	61,1	79,8	91,8	56,2	76,7	87,8	75,6
	0,8	60,8	79	91,6	53,8	76	88,4	74,9
	0,9	61,1	78,7	91,6	52,4	74,5	88,5	74,5
1	60,6	78,4	90,8	52,2	73,6	89,3	74,2	
10	0,1	51,8	66,3	78,7	55,3	66,7	77,6	66,1
	0,2	57,6	75	86,1	56,9	77,5	83,6	72,8
	0,3	60,4	78,3	88,2	55,8	79,6	85,8	74,7
	0,4	61,2	80,1	88,8	56,2	78,7	86,5	75,3
	0,5	61,6	80,8	90,1	57,1	77,8	87,1	75,7
	0,6	61,9	80,5	91	56,5	77,5	87,8	75,9
	0,7	62,2	80,6	91,4	56,4	77,1	88,4	76
	0,8	61,9	80	91,4	55,3	76,7	88,9	75,7
	0,9	61,6	80,1	91,4	54,5	75,8	89,3	75,5
1	61,5	79,6	91	53,6	75,1	88,9	75	
15	0,1	51,3	65,8	77,7	54,5	66,5	77,1	65,5
	0,2	57,1	74,5	86,2	56,9	76,2	83,8	72,5
	0,3	60,4	78,1	87,8	55,8	79,8	85,8	74,6
	0,4	61,5	79,8	88,8	56,2	79,1	86,4	75,3
	0,5	61,8	80,6	90,1	56,2	78,5	87,5	75,8
	0,6	62,2	81,1	90,9	55,6	77,6	87,3	75,8
	0,7	62,2	80,8	91,3	55,6	77,1	88,2	75,9
	0,8	62,1	80,4	91,4	55,3	76,7	89,6	75,9
	0,9	61,6	80,2	91,3	54,9	76	89,1	75,5
1	61,5	79,8	91	53,6	75,6	88,5	75	
20	0,1	51	65,1	77,6	54,4	66,2	77,1	65,2
	0,2	57,2	74,8	85,8	56,7	76,9	83,6	72,5
	0,3	59,8	77,8	87,5	55,6	79,5	86	74,4
	0,4	61,3	79,6	88,8	55,8	79,3	86,4	75,2
	0,5	61,7	80,6	90,1	56,4	78,7	87,1	75,8
	0,6	62,4	81,2	91	55,8	77,6	87,3	75,9
	0,7	62,3	81,2	91,3	55,8	77,1	87,6	75,9
	0,8	62,1	80,2	91,5	55,1	76,4	89,3	75,8
	0,9	61,5	80,1	91	54,7	75,8	89,1	75,4
1	61,3	79,6	90,7	53,6	75,8	88,7	75	
∞	0,1	51	65,2	77,5	54,4	66,4	77,1	65,3
	0,2	57	74,8	85,8	56,9	77,1	83,6	72,5

	0,3	59,8	77,8	87,5	55,6	79,8	86,5	74,5
	0,4	61,3	79,8	89	55,6	79,6	86,5	75,3
	0,5	61,8	80,7	90,4	56,5	78,7	87,3	75,9
	0,6	62,4	81,1	90,4	55,6	77,8	87,1	75,7
	0,7	62,3	81,5	91,3	55,8	77,3	87,8	76
	0,8	62,1	80,2	91,5	54,9	76,5	88,7	75,7
	0,9	61,5	80,1	90,9	54,7	75,8	89,3	75,4
	1	61,5	79,9	90,5	53,6	75,6	88,7	75

При измерении ТИД в данной задаче для классификации тестовых сигналов строились модели гауссовых смесей с пониженным числом компонент – 32. Это ограничение вызвано высокой вычислительной сложностью проводимого эксперимента.

Результаты исследования приведены в таблице 2. Их значения округлены до десятых долей процента. В последнем столбце посчитано среднее значение ТИД среди всех исследуемых речевых баз и значений ОСШ. Среднее значение вычислялось, используя значения ТИД для каждой речевой базы и значения ОСШ без округления. После подсчета среднее значение округлялось до десятых долей процента. Наилучшие результаты для каждой комбинации речевая база-значение ОСШ выделены темно-серым цветом.

Параметры ε и δ могут быть подобраны по различным критериям. В данной работе они подбираются таким образом, чтобы для всех исследуемых речевых баз и значений ОСШ точность идентификации диктора была больше, чем для оригинального алгоритма (для которого $\varepsilon=1$, а $\delta=\infty$). При этом в случае, когда несколько пар удовлетворяют этому условию, выбирается та пара, для которой средняя ТИД среди всех исследуемых баз и значений ОСШ максимальна.

Ячейки таблицы для набора параметров, при которых ТИД больше, чем у оригинального алгоритма, выделены в таблице 3 светло-серым цветом.

Предлагается использовать следующие значения параметров: $\varepsilon=0,8$ и $\delta=15$ дБ.

Отметим, что если стоит цель сделать оптимальный (по критерию максимума ТИД) модифицированный двухступенчатый алгоритм для какого-то конкретного значения ОСШ, то можно подобрать другие параметры и еще больше увеличить преимущество перед оригинальным алгоритмом для выбранного значения ОСШ. В то же время для других значений ОСШ ТИД может уменьшиться.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ

Для данного исследования применялась система идентификации диктора, использующая для построения моделей дикторов гауссовы смеси со 128 компонентами.

Использовалась следующая методика тестирования:

1. Измерялась ТИД для тестовых сигналов без дополнительного зашумления.
2. Тестовые сигналы искажались АБГШ для достижения значений ОСШ от -5 до 15 дБ (шаг 5 дБ) и измерялась ТИД. Перед зашумлением в начало каждого сигнала добавлялась 1 с тишины. Перед идентификацией диктора 1 с сигнала удалялась из его начала.
3. Зашумленные тестовые сигналы обрабатывались алгоритмами шумоподавления и в каждом случае измерялась ТИД.
4. Тестирование повторялось 20 раз (т.е. использовалось 20 реализаций шума). Результаты усреднялись.

По указанной методике исследовались следующие алгоритмы шумоподавления:

1. DD-MMSE-STSA – алгоритм на основе подхода прямого принятия решения и ФКС минимальной среднеквадратичной ошибки кратковременной амплитуды спектра.

2. TSNR-MMSE-STSA – двухступенчатый алгоритм, использующий ФКС минимальной среднеквадратичной ошибки кратковременной амплитуды спектра на обоих этапах.

3. MTSNR-MMSE-STSA (0,8; 15 дБ) – модифицированный двухступенчатый алгоритм с параметрами $\varepsilon=0,8$ и $\delta=15$ дБ, использующий ФКС минимальной среднеквадратичной ошибки кратковременной амплитуды спектра на обоих этапах

Результаты исследования приведены в таблице 3. Доля правильно идентифицированных дикторов округлена до десятых процента.

В условиях отсутствия шума (за исключением естественного шумового фона записи) в базе А точность идентификации составила 99,4 %, а в базе Б – 100 %.

Таблица 3 – Сравнительное тестирование алгоритмов шумоподавления

ОСШ, дБ	Точность идентификации диктора, %			
	Без шумоподавления	DD-MMSE-STSA	TSNR-MMSE-STSA	MTSNR-MMSE-STSA (0,8; 15 дБ)
Речевая база А				
5	18,2	51,9	53,5	54
10	35,6	74,7	77,3	78
15	53	87,8	88,3	88,8
Речевая база Б				
5	26,4	54,9	62	62,5
10	42,9	78,8	83,4	84,2
15	56,5	91,6	91,6	92

Из результатов исследования видно, что при использовании модифицированного двухступенчатого алгоритма ТИД возрастает на 0,4-0,8 процентных пункта по сравнению с оригинальным алгоритмом для всех исследуемых речевых баз и значений ОСШ от 5 до 15 дБ. При этом преимущество перед алгоритмом на основе подхода прямого принятия решения составляет от 0,4 до 7,6 процентных пунктов (в зависимости от значения ОСШ и речевой базы).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложена модифицированная версия двухступенчатого алгоритма шумоподавления, которая использует сглаживание оценки априорного отношения сигнал/шум, полученного на втором этапе алгоритма с помощью экспоненциального скользящего среднего. Выбраны параметры предлагаемой модификации алгоритма – $\varepsilon=0,8$; $\delta=15$ дБ.

Проведено сравнение модифицированного алгоритма с его оригинальной версией. Показано преимущество модифицированного алгоритма шумоподавления по сравнению с оригинальным в задаче идентификации диктора для АБГШ при значениях ОСШ в диапазоне от 5 до 15 дБ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-07-31335.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ortega-Garcia J., Gonzalez-Rodriguez J. Overview of speech enhancement techniques for automatic speaker recognition // Proceedings of the Fourth International Conference on Spoken Language, 1996. – Vol. 2. – P. 929-932.

2. Boll S. Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1979. – Vol. 27. – № 2. – P. 113-120.
3. Ephraim Y., Malah D. Speech enhancement using a minimum mean-square error short-time spectral amplitude estimator // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1984. – Vol. 32. – № 6. – P. 1109-1121.
4. Scalart P., Filho J.V. Speech enhancement based on a priori signal to noise estimation // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1996. – Vol. 2. – P. 629-632.
5. Plapous C., Marro C., Scalart P., Mauuary L. A two-step noise reduction technique // IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2004. – Vol. 1. – P. 289-292.
6. Plapous C., Marro C., Scalart P. Speech enhancement using harmonic regeneration // IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2005. – Vol. 1. – P. 157-160.
7. Lu Y., Loizou P. A geometric approach to spectral subtraction // Speech Communication, 2008. – Vol. 50. – № 6. – P. 453-466.
8. Lim J.S., Oppenheim A.V. Enhancement and bandwidth compression of noisy speech // Proceedings of the IEEE, 1979. – Vol. 67. – P. 1586-1604.
9. Первушин Е.А. Обзор основных методов распознавания дикторов // Математические структуры и моделирование, 2011. – № 24. – С. 41-54.
10. Kabal P. TSP speech database // Tech. Rep., Department of Electrical & Computer Engineering, McGill University, 2002.

Тулицин Геннадий Сергеевич

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль
Аспирант кафедры динамики электронных систем
Тел.: 8 905 134 22 70
E-mail: genichyar@genichyar.com

Топников Артем Игоревич

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль
Кандидат технических наук, ассистент кафедры динамики электронных систем
Тел.: 8 906 632 3958
E-mail: topartgroup@gmail.com

Приоров Андрей Леонидович

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль
Доктор технических наук, доцент кафедры динамики электронных систем
Тел.: 8 915 965 01 93
E-mail: andcat@yandex.ru

G.S. TUPICIN (*Post-graduate Student of the Department of Dynamics of Electronic Systems*)

A.I. TOPNIKOV (*Candidate of Engineering Sciences,
Assistant of the Department of Dynamics of Electronic Systems*)

A.L. PRIOROV (*Doctor of Engineering Sciences,
Associate Professor of the Department of Dynamics of Electronic Systems*)
P.G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl

**MODIFICATION OF THE TWO-STEP NOISE REDUCTION TECHNIQUE
FOR IMPROVING THE QUALITY OF SPEAKER IDENTIFICATION IN NOISY CONDITIONS**

A modified version of the two-step noise reduction technique (TSNR) was proposed. The modified algorithm uses second step a priori signal-to-noise ratio smoothing with exponentially weighted moving average. The proposed and the original noise reduction algorithms were compared in the problem of speaker identification in noisy conditions. The advantage of the new noise reduction algorithm was shown.

Keywords: *speech signal; noise reduction; speaker identification; two-step noise reduction; TSNR.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Ortega-Garcia J., Gonzalez-Rodriguez J. Overview of speech enhancement techniques for automatic speaker recognition // Proceedings of the Fourth International Conference on Spoken Language, 1996. – Vol. 2. – P. 929-932.
2. Boll S. Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1979. – Vol. 27. – № 2. – P. 113-120.
3. Ephraim Y., Malah D. Speech enhancement using a minimum mean-square error short time spectral amplitude estimator // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1984. – Vol. 32. – № 6. – P. 1109-1121.
4. Scalart P., Filho J.V. Speech enhancement based on a priori signal to noise estimation // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1996. – Vol. 2. – P. 629-632.
5. Plapous C., Marro C., Scalart P., Mauuary L. A two-step noise reduction technique // IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2004. – Vol. 1. – P. 289-292.
6. Plapous C., Marro C., Scalart P. Speech enhancement using harmonic regeneration // IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2005. – Vol. 1. – P. 157-160.
7. Lu Y., Loizou P. A geometric approach to spectral subtraction // Speech Communication, 2008. – Vol. 50. – № 6. – P. 453-466.
8. Lim J.S., Oppenheim A.V. Enhancement and bandwidth compression of noisy speech // Proceedings of the IEEE, 1979. – Vol. 67. – P. 1586-1604.
9. Pervushin E.A. Obzor osnovny'x metodov raspoznavaniya diktorov // Matematicheskie struktury' i modelirovanie, 2011. – № 24. – S. 41-54.
10. Kabal P. TSP speech database // Tech. Rep., Department of Electrical & Computer Engineering, McGill University, 2002.

УДК 004.043

Д.В. БУДЫЛЬСКИЙ, Е.В. КАРПЕНКО,
А.Г. ПОДВЕСОВСКИЙ

МЕТОДИКА ОТБОРА АГЕНТОВ ОНЛАЙНОВОЙ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ОБЩЕСТВЕННОГО МНЕНИЯ

В статье рассмотрена важность процессов мониторинга и анализа общественного мнения в контексте устойчивого развития региона как социально-экономической системы. Представленный анализ публикаций позволяет говорить об актуальности использования онлайн-социальных сетей в качестве источника данных об общественном мнении. На основе практических ограничений онлайн-социальных сетей предложена методика выявления агентов для мониторинга. Построена обобщенная модель обработки данных социальных сетей, включающая в себя автоматизированную интеллектуальную обработку текстовых сообщений посредством аспектно-ориентированного анализа тональности.

Ключевые слова: социальные сети; общественное мнение; анализ социальных сетей.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Введение экономических санкций со стороны Европейского союза, США и ряда других стран, их продление, а также финансово-экономический кризис, начавшийся в 2014-м году, – эти и другие современные угрозы национальной экономической безопасности Российской Федерации выдвигают на первый план вопросы обеспечения устойчивого развития государства в целом и регионов (субъектов федерации) в частности. Под устойчивым развитием социально-экономической системы (СЭС) понимается (в широком смысле) гармонизация, сбалансированное развитие экономической, социальной и экологической подсистем в целях удовлетворения запросов нынешнего и будущих поколений [20].

Д.С. Хайруллоев в работе [23] отмечает, что именно устойчивое развитие региона является основой обеспечения безопасности национальной экономики. Также в этой работе определен ряд проблем, стоящих перед регионами в обеспечении устойчивости социально-экономического развития, среди которых особо стоит выделить усиление социальной напряженности.

Социальную составляющую регионального развития можно брать за индикатор, оценивая и учитывая степень влияния количественных параметров экономического развития на уровень и качество жизни населения [9].

В работе [24] О.К. Цапиева отдельно отмечает, что нельзя считать регион устойчиво развивающимся по признаку повышения экономических показателей. Устойчивое развитие региона должно быть нацелено на достижение высокого качества жизни при позитивной динамике комплекса различных показателей.

Основой устойчивого развития, создания динамичной и эффективно функционирующей экономики является стратегическое управление развитием региона. При этом важным аспектом стратегического управления является умение предвидеть и предупреждать развитие системных кризисных ситуаций [10].

Д.А. Новиков, рассматривая структуру теории управления социально-экономическими системами, выделяет мониторинг и анализ текущего состояния СЭС как отправную точку отсчета, относительно которой будет оцениваться развитие СЭС с учетом управляющих воздействий или без таковых [17]. Стоит отметить, что управление социально-экономической системой (регионом) носит циклический характер, и это делает этап мониторинга и анализа не только отправной точкой, но и начальной точкой каждого нового цикла управления.

Опираясь на представленные утверждения, можно вывести следующую цепочку тезисов:

- одной из проблем устойчивого развития региона является социальная напряженность;
- основой устойчивого развития является стратегическое управление;
- мониторинг и анализ состояния – базовый этап управления социально-экономической системой.

В работе [16] на примере исследования общественных настроений в республиках Северного Кавказа показана важность общественного мнения как инструмента мониторинга и анализа социальной обстановки.

До 80% всей эмпирической информации социологи получают методом опроса [19]. Для снижения издержек (как организационного, так и финансового характера), а также получения ряда других выигрышей в надежности и валидности данных, методы социологических исследований адаптируют под интернет-среду [13]. Отдельно стоит отметить следующие преимущества использования интернет-технологий для проведения опросов [14]:

- широта пространственного охвата при фиксированном бюджете;
- управление временными параметрами опроса для обеспечения его одномоментности;
- легкость реализации процедур контроля над выборочными единицами.

Онлайновые социальные сети, изначально предназначенные для общения интернет-пользователей между собой, довольно быстро стали предметом интереса многих исследователей ввиду обилия информации, находящейся в открытом доступе. К этой информации относится не только межличностная переписка между людьми, но и выражение мнений и отношения к тем или иным событиям, компаниям, продуктам, персонам и многому другому [22].

Сегодня социальные сети ввиду широты охвата аудитории и доступности коммуникации с респондентами имеют основания считаться перспективным источником данных для мониторинга и анализа общественного мнения, который, как отмечалось ранее, имеет большое значение при стратегическом управлении регионом и обеспечении его устойчивого развития. Задачей данной работы является определение путей использования открытой информации в социальных сетях для анализа общественного мнения.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Рассмотрим более детально пути использования мониторинга социальных сетей для оценки общественного мнения. Сотрудники Фонда «Новые медиа» провели исследование информационного присутствия политических партий в популярных социальных сетях. Результаты показали, что парламентские политические партии используют блогосферу в качестве агитационно-пропагандистского ресурса посредством информирования аудитории о реализуемых проектах, планируемых акциях и мероприятиях, высказываниях партийных

лидеров. Отмечается, что основной аудиторией подобных аккаунтов и сообществ являются сторонники или члены определенных партий [15].

Ш.Ф. Фарахутдинов описывает проведенное исследование, посвященное анализу комментариев онлайн-версии издания «Российская газета» [21]. Используемый метод анализа онлайн-данных выявил ряд результатов, идентичных с результатами исследования, проведенного ВЦИОМ.

Характер публикаций настолько разнообразен, что социологические исследования могут иметь самый разный характер, что делает социальные сети универсальным источником информации. Так, например, в 2014 г. сотрудниками исследовательской службы «Среда» проводился мониторинг русскоязычных социальных медиа касательно церковных праздников [8]. Автор отмечает целый ряд интересных закономерностей на основе публикаций пользователей касательно религиозной тематики: обсуждение суеверий, сравнение оценки доли православных церковных людей, упоминания имени Бога.

В исследовании [11] рассмотрена актуальность измерения общественного мнения с помощью контент- и дискурс-анализа социальных медиа, а также представлены практические результаты исследования мнения пользователей социальных сетей к тематике падения курса рубля в декабре 2014 года.

М.В. Абрамов и О.Г. Венерина в работе [7] сфокусировались на выявлении лидеров общественного мнения – агентов социальной сети, публикации которых вызывают интерес локально значимого количества пользователей данной социальной сети (выражающийся в виде отметок публикаций, их комментировании).

А.Ю. Багрина отмечает следующие особенности мониторинга социальных медиа [8]:

- возможность наблюдения за миллионами пользователей без вмешательства и влияния на респондентов;
- осуществление анализа в реальном времени с высокой точностью;
- огромные объемы данных: текстовые данные, фото, видео.

Вместе с тем практическая реализация мониторинга связана с рядом ограничений, например, ограничения технического характера и специфика политики конфиденциальности. В целом, принимая во внимание рассмотренные тенденции социологических исследований и спектр прикладных экспериментов, можно заключить, что отслеживание публикаций в социальных сетях является сегодня передовым инструментом получения информации об общественном мнении. Открытым остается вопрос о методах анализа информации, получаемой в ходе мониторинга социальных медиа.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОТБОРА АГЕНТОВ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ

Вопросы автоматизации мониторинга социальных сетей подробно рассматривались в работе [18]. Мониторинг заключается в непрерывном во времени отслеживании пользовательских публикаций. Различные социальные сети по-разному организуют механизм обмена информации между своими пользователями, но в любой из них действия можно разделить на приватные и публичные. Отслеживанию доступны только действия, носящие публичный характер (например, размещение общедоступного сообщения или оставление комментария к общедоступному сообщению).

Требуются огромные вычислительные ресурсы для поддержания работоспособности самих социальных сетей, следовательно, ресурсы, необходимые для поддержания мониторинга нескольких социальных сетей, сопоставимы с суммарными вычислительными мощностями всех этих проектов вместе взятых. Обеспечение таких мощностей является

крайне затратным, поэтому важной подзадачей является выделение той части пользователей, сообщения которых в большей степени вероятности будут полезны в рамках прикладного исследования.

В соответствии с формальным определением социальная сеть представляет собой граф $G(N, E)$, в котором $N = \{1, 2, \dots, n\}$ – конечное множество вершин (агентов) и E – множество ребер, отражающих взаимодействия агентов между собой [12].

В контексте онлайн-социальных сетей агентами могут выступать как пользователи, так и сообщества (группы). Моделью взаимодействия агентов в социальных сетях являются отношения дружбы (например, в сетях Facebook и VK) или подписки (например, в сети Twitter). Для упрощения терминологии далее в работе все типы отношений будут именоваться как подписка. Пользователь U_a подписан на пользователя U_b , если он состоит с ним в любом отношении конкретной социальной сети, позволяющей получать уведомления о новых публикациях пользователя U_b .

Отношение подписки, вообще говоря, не является симметричным: пользователи сети Twitter подписываются на чтение твитов других пользователей, пользователи сети VK могут отклонять предложения дружбы, оставляя при этом однонаправленную подписку. Таким образом, граф социальной сети G является ориентированным.

Базовой характеристикой узла графа (агента социальной сети) является степень узла (degree) – количество других узлов, связанных ребром с текущим (количество инцидентных ребер). В текущей задаче вполне логичным является исключение из рассмотрения графов, имеющих петли, поскольку агенты социальной сети не связаны отношением подписки сами с собой.

Если пользователь U_a подписан на пользователя U_b , то узлы U_a и U_b связаны дугой (рис. 1). Учитывая ориентированность графа социальной сети, следует различать входящую (indegree) и исходящую (outdegree) степени узла. Входящая степень узла показывает количество ориентированных ребер, входящих в данный узел. Аналогично исходящая степень узла соответствует количеству дуг, исходящих из данного узла [5].

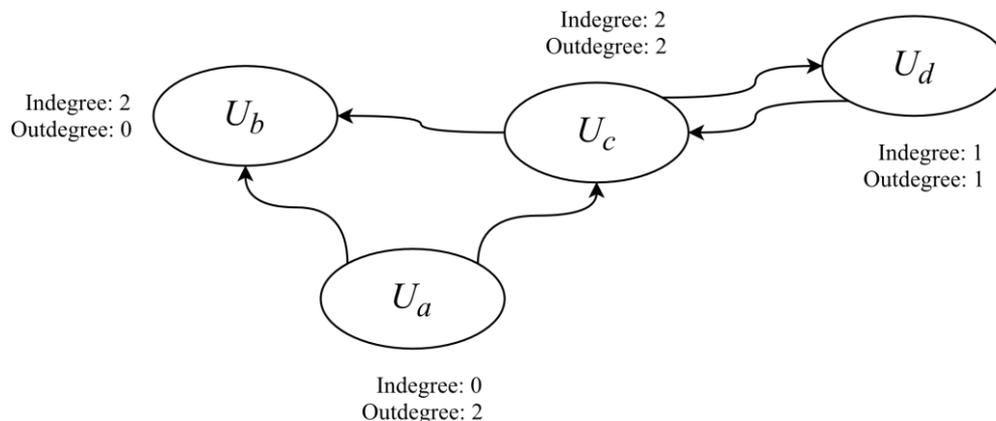


Рисунок 1 – Фрагмент социальной сети с отношением подписки

На рисунке 1 показан пример фрагмента социальной сети из четырех агентов. Агент U_a подписан на агентов U_b и U_c и имеет исходящую степень равную 2, в то время как ни один из агентов сети не подписан на него, поэтому входящая степень равна нулю. U_b , напротив, имеет двух подписчиков и не подписан ни на кого. Можно представить U_b как сообщество социальной сети, содержащее в себе участников и не являющееся персонализированным аккаунтом, имеющим возможность подписываться на других агентов. Агенты U_c и U_d

взаимно подписаны друг на друга, что может проявляться как установленная дружба (в терминах сетей Facebook или VK).

Теория анализа социальных сетей (Social Network Analysis, SNA) занимается моделированием структуры сложных систем и процессов, происходящих в них. Наиболее известными и популярными подходами, способными моделировать процессы роста социальных сетей, являются:

- модель Эрдоша-Реньи, моделирующая случайное построение социального графа [2, 3];
- модель Барбаши-Альберта, моделирующая безмасштабные сети с использованием принципа предпочтительного присоединения [1];
- модель Уоттса-Строгатса, моделирующая графы со свойствами моделей «малого мира» [6].

Также существует немало моделей, посвященных процессам, протекающим внутри социальных сетей: распространение инноваций, эпидемий, влияния, модели просачивания и др. [12]. Помимо этого, анализ социальных сетей подразумевает анализ структуры графа, выделение наиболее значимых агентов социальной сети. Базовой характеристикой значимости агента x в социальном графе является его центральность (centrality), которая, в свою очередь, может вычисляться следующими способами [4; 5]:

- на основе степени узла (Degree Centrality): $C(x) = \text{deg}(x)$;
- на основе близости (расстояния) по отношению к другим узлам (Closeness centrality): $C(x) = 1 / \sum_{y \neq x} d(y, x)$, где $d(y, x)$ – расстояние между узлами графа x и y ;
- на основе того, сколько кратчайших путей в графе проходят через данный узел (Betweenness centrality): $C(x) = \sum_{x \neq y \neq z} \sigma_{yz}(x) / \sigma_{yz}$, где σ_{yz} – число кратчайших путей из узла y в узел z , $\sigma_{yz}(x)$ – число таких кратчайших путей, проходящих через узел x ;
- на основе алгоритмов, использующих собственные значения матрицы смежности графа социальной сети, таких, как PageRank или центральность Катца (Katz Centrality).

Рассматривая практическую задачу мониторинга социальных сетей, следует отдельно выделить тот факт, что мониторинг подразумевает только считывание информации из уже готовой структуры социальной сети и в нем не стоит подзадачи моделирования этой структуры либо предсказания каких-либо будущих явлений и состояний. Разумеется, социальная сеть развивается – появляются новые агенты (регистрации новых пользователей и/или сообществ) и удаляются существующие (удаление сообществ или аккаунтов пользователей по различным причинам).

Извлекая в момент времени t сообщения социальной сети на основе структуры G_t , система мониторинга может фиксировать необходимый набор данных в своей базе. Если в момент времени $t + 1$ в структуре социальной сети произошли изменения (часть агентов была удалена, появились новые), то система мониторинга продолжит функционировать, однако получит отказ в получении сообщений агентов, которые были удалены, и не сделает запрос на получение сообщений от новых агентов.

Допустим, имеется модель поведения социальной сети, способная на основе данных графа G_t предсказать структуру G_{t+1} . В этом предсказании с определенной долей вероятности отдельно взятый агент сети с индексом i будет удален. Исключение данного узла из мониторинга дает потенциальный выигрыш во избежание проведения «лишнего» запроса к API (Application Programming Interface – прикладной интерфейс программирования) социальной сети. Однако, учитывая описанные ранее ограничения на мониторинг, физически

возможно отслеживать далеко не всех агентов сети. Разумным решением будет работать только с наиболее важными агентами (согласно одной из метрик центральности), вероятность удаления которых будет мала и описанный потенциальный выигрыш лишен практического смысла.

С другой стороны, если агент, подверженный мониторингу, прекращает свое существование, система мониторинга, получив соответствующий ответ от API социальной сети при попытке извлечения очередной порции сообщений, уже точно исключит данного агента из мониторинга. Рассматривая также вероятность появления новых агентов, система не может заранее предсказать их технические характеристики (такие, как уникальные идентификаторы, если они генерируются случайно либо задаются пользователем при регистрации). Таким образом, несмотря на развитый аппарат моделирования структур социальных сетей, позволяющих предсказывать будущее поведение социальной сети, в задаче мониторинга эти модели могут привести к увеличению вычислительных мощностей и избыточным запросам к API (которые имеют существенные лимиты) при крайне низкой степени полезности. На основе этого можно констатировать, что считывание информации из соцсетей в момент времени t является достаточным для обеспечения непрерывного отслеживания.

Итак, возвращаясь к рассматриваемой подзадаче, необходимо определить подмножество агентов социальной сети, действия которых следует отслеживать. Интуитивно понятно, что рациональным является отслеживание наиболее важных агентов социальной сети, действия которых могут влиять на значительные кластеры пользователей. Тем самым задача сводится к тому, чтобы определить методику выбора наиболее значимых агентов социальной сети.

Рассмотренные выше характеристики центральности узлов имеют свои предназначения и хорошо себя проявляют в тех или иных задачах анализа социальных сетей. Однако следует сразу выделить тот факт, что метрики, основанные на полной структуре графа социальной сети (учитывающие кратчайшие пути, собственные вектора), подразумевают наличие полной информации об абсолютно всех агентах социальной сети, число которых (для крупнейших социальных сетей) составляет сотни миллионов.

Специфика задачи мониторинга социальных сетей для обеспечения устойчивого развития определенного региона говорит о том, что рассматривать стоит не всех агентов, а лишь интересующее подмножество (например, только жителей Брянской области). Но и в этом случае число узлов может измеряться сотнями тысяч и даже миллионами (в зависимости от региона), поэтому метрики, основанные на полной структуре графа, являются весьма затратными с вычислительной точки зрения. Даже с применением наиболее оптимизированных алгоритмов анализа стоит помнить о том, что API социальной сети ограничивает количество запросов в целях снижения нагрузки. Для своевременного обновления всей структуры графа (пусть даже регионального подграфа) необходимо производить тысячи обращений к API.

Простым и эффективным решением является использование степени узла для оценки важности агента социальной сети. Этот простой количественный показатель уже заранее реализован во многих социальных сетях (число подписчиков сообщества VK, число фолловеров Twitter и др.), поэтому для определения n важнейших агентов соцсети требуется просто отсортировать агентов по количеству подписчиков, что прямым образом согласуется с описанным ранее подходом к определению взаимоотношений между агентами.

Анализируя сообщества Брянска в социальной сети VK, было установлено, что всего одно сообщество имеет больше 100 тыс. подписчиков, еще 28 имеет аудиторию,

превышающую 10 тыс. человек, а сообществ с тысячей пользователей немногим больше 500 (по состоянию на начало августа 2015 года). Это подтверждает степенной закон распределения количества связей агента социальной сети и говорит о том, что весьма малая часть агентов имеет достаточно большое число подписчиков. Сконцентрировав мониторинг нескольких наиболее крупных агентов, можно, удовлетворяя ограничениям API, обеспечить достаточный охват аудитории.

Разумеется, помимо VK, рассмотрению подлежат и другие сети, кроме того, мониторингу могут быть подвергнуты не только сообщества, но и отдельные пользователи, но целью данного примера было показать степенной характер распределения агентов социальной сети (по количеству подписчиков), что позволяет с уверенностью брать этот показатель за основу выбора наиболее важных агентов. Конкретное количество агентов зависит от ограничений конкретной социальной сети, поэтому на данном этапе невозможно говорить об определенных числовых показателях.

Определив методику отбора агентов социальной сети, следует обобщить ее в общем процессе анализа пользовательских мнений в социальных сетях для формирования картины общественного мнения региона.

Первый этап работы заключается в определении предметной области мониторинга, задания спектра агентов социальных сетей, подверженных мониторингу (на основе числа подписчиков). Вторым этапом является обеспечение автоматизированного мониторинга публикаций заданных агентов (включая все сопутствующие данные, такие, как «лайки», «репосты», «ретвиты», а также комментарии к этим публикациям).

Полученные данные необходимо подвергнуть фильтрации, подразумевающей выделение заведомо бессодержательных сообщений и исключение их из дальнейшего рассмотрения. Следующим шагом является анализ публикаций, оставшихся после этапа фильтрации. Под анализом подразумевается понимание смысла сообщений, определение отношения пользователя к различным аспектам предметной области. Заключительный этап – предоставление результата анализа конечному потребителю (аналитику, лицу, принимающему решение, и т.д.).

Подробно следует остановиться на том, каким образом будут анализироваться сообщения пользователей. Количество сообщений, оставляемых в социальных сетях, достигает сотен миллиардов ежемесячно. Даже выбрав крайне узкую предметную область, можно столкнуться с задачей анализа тысяч и десятков тысяч публикаций.

Перспективным направлением в этой сфере является аспектно-ориентированный анализ тональности. Современные методы компьютерной лингвистики позволяют извлечь эмоциональную окраску пользовательских сообщений, т.е. определить его отношение (позитивное, негативное или нейтральное) к тем или иным аспектам (или объектам). По своей сути, общественное мнение и выражает положительное или отрицательное отношение граждан к тем или иным вопросам, что делает аспектный анализ тональности подходящим инструментом для автоматизации интеллектуального анализа. На рисунке 2 представлена общая схема процесса мониторинга, включающая в себя рассмотренные процедуры. Стрелки на схеме отражают направления передачи данных. Так, данные из API различных социальных сетей поступают в программный компонент мониторинга, который сохраняет их в базу данных. Компонент фильтрации может извлекать данные из базы и обновлять их (отмечая, какие сообщения стоит анализировать, а какие – нет). Анализатор тональности – последний компонент, который, извлекая данные из базы, проводит оценку эмоциональной составляющей и выдает исследователю сводный результат об общественном мнении.

РЕЗУЛЬТАТЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе рассмотрена задача обеспечения скрытого анализа общественного мнения путем автоматизированного мониторинга агентов социальной сети и интеллектуальной обработки извлеченных текстовых данных посредством аспектно-ориентированного анализа тональности.

Ввиду технических ограничений, выдвигаемых API соцсетей, необходимо определить наиболее важных агентов сети (пользователей и сообществ), отслеживание которых наиболее рационально с точки зрения рассматриваемой задачи. Мы детально рассмотрели подходы теории анализа социальных сетей, чтобы выявить оптимальный метод выявления наиболее важных агентов. Среди различных метрик и моделей наиболее применимым является встроенный показатель количества подписчиков определенного агента.

На основе рассмотренной модели определения подмножества агентов мы определили дальнейший жизненный цикл информации, участвующей в анализе. Важную роль здесь играют методы и алгоритмы автоматизированного анализа тональности информации (аспектно-ориентированного). Направлением дальнейших исследований определяется детальное исследование алгоритмов и методов, позволяющих проводить такой анализ, а также их практическое применение в контексте скрытого мониторинга общественного мнения.

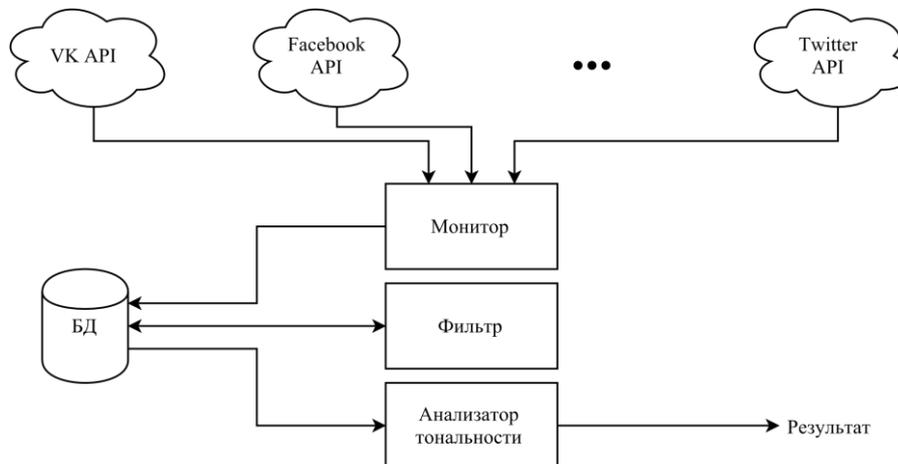


Рисунок 2 – Структурная схема процесса мониторинга и анализа текстовых данных в социальных сетях

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Barabási A.-L., Bonabeau E. Scale-free networks // Scientific American, 2003. – Vol. 288. – № 5. – P. 50-59.
2. Erdős P., Rényi A. On the evolution of random graphs // Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci., 1960. – Vol. 5. – P. 17-61.
3. Rényi A., Erdős P. On random graphs // Publicationes Mathematicae, 1959. – Vol. 6. – P. 290-297.
4. Scott J. Social network analysis. – SAGE Publications Ltd, 2013. – 216 p.
5. Wasserman S., Faust K. Social network analysis: methods and applications (structural analysis in the social sciences). – Cambridge University Press, 1994. – 857 p.
6. Watts D. J., Strogatz S.H. Collective dynamics of ‘small-world’ networks // Nature, 1998. – Vol. 393. – № 6684. – P. 440-442.

7. Абрамов М., Венерина О. Выявление лидеров общественного мнения в социальных сетях // V социологическая Грушинская конференция «Большая социология: расширение пространства данных» (12-13 марта 2015 г.) – М.: ВЦИОМ, 2015. – С. 49-52.
8. Багрина А. Исследования различных проявлений религиозности в социальных сетях и медиа (на примере анализа публикаций пользователей в «ВКонтакте», «Фейсбуке» и «Инстаграме» на Пасху, Вербное воскресенье и Благовещение в 2014 году) // V социологическая Грушинская конференция «Большая социология: расширение пространства данных» (12-13 марта 2015 г.) – М.: ВЦИОМ, 2015. – С. 52–54.
9. Божко Ю.Н. Усиление роли региона в социально-экономическом развитии национальной экономики как вектор совершенствования региональной политики // Социально-экономические явления и процессы, 2012. – № 10(044). – С. 29-33.
10. Бочарова О., Потокина С., Ланина О. Управление социально-экономической системой региона в контексте современной модернизации экономики // Социально-экономические явления и процессы. – Тамбов, 2012. – № 1(035). – С. 27-32.
11. Гонцов К. Влияние падения курса рубля на социально-политическую стабильность российского общества: анализ социальных медиа // V социологическая Грушинская конференция «Большая социология: расширение пространства данных» (12-13 марта 2015 г.) – М.: ВЦИОМ, 2015. – С. 67-71.
12. Губанов Д., Новиков Д., Чхартишвили А. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства / под ред. Д. Новикова. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2010. – 228 с.
13. Девятко И.Ф. Инструментарий онлайн-исследований: попытка каталогизации // Онлайн-исследования в России 3.0. – М.: Издательский дом «Кодекс», 2012. – С. 17-30.
14. Девятко И.Ф. Онлайн-исследования и методология социальных наук: новые горизонты, новые (и не столь новые) трудности // Онлайн-исследования в России 2.0. – М.: РИЦ «Северо-Восток», 2010. – С. 17-30.
15. Жидченко А. Социальные сети «ВКонтакте» и «Твиттер» как элемент формирования электорального фона России в современный период // V социологическая Грушинская конференция «Большая социология: расширение пространства данных» (12-13 марта 2015 г.) – М.: ВЦИОМ, 2015. – С. 85-86.
16. Землянская Л.Ю. Общественное мнение как необходимый инструмент системной диагностики проблемных территорий // Мониторинг общественного мнения, 2014. – № 5(123). – С. 151-164.
17. Новиков Д.А. Структура теории управления социально-экономическими системами // Управление большими системами. – М., 2009. – Вып. 24. – С. 216-257.
18. Подвесовский А.Г., Будыльский Д.В. Проблемы и особенности автоматизации мониторинга социальных сетей и интеллектуальной обработки пользовательских сообщений // Вестник Брянского государственного технического университета, 2014. – № 4(44). – С. 146-152.
19. Тавокин Е. Основы методики социологического исследования: учебное пособие. – М.: ИНФРА-М, 2009. – 239 с.
20. Ускова Т. Управление устойчивым развитием региона. – Вологда: ИСЭРТ РАН, 2009. – 355 с.
21. Фарахутдинов Ш. Анализ комментариев к новостям социально-политического характера в сети Интернет как метод исследования // IV международная социологическая конференция «Продолжая Грушина» (27-28 февраля 2014 г.) – М.: ВЦИОМ, 2014. – С. 194-198.
22. Хазеева Н.М. Социальные медиа: Vox Populi или специфика нового канала изучения мнения потребителей // Онлайн-исследования в России 3.0. – М.: Издательский дом «Кодекс», 2012. – С. 139-149.

23. Хайруллоев Д. Устойчивое развитие региона – основа безопасности национальной экономики // Труды IV Всероссийской научной конференции «Информационные технологии в системе социально-экономической безопасности России и ее регионов». – Казань: КФУ, 2012. – С. 41-49.
24. Цапиева О. К. Устойчивое развитие региона: теоретические основы и модель // Проблемы современной экономики, 2010. – № 2. – С. 307-311.

Будыльский Дмитрий Викторович

ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск
Аспирант кафедры «Информатика и программное обеспечение»
Тел.: 8 915 805 03 92
Email: budmitr@tu-bryansk.ru

Карпенко Екатерина Викторовна

ФГБОУ ВПО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации» (Брянский филиал)
Кандидат социологических наук, доцент кафедры социально-гуманитарных дисциплин
Тел.: 8 (4832) 72-28-19
Email: ekakarpenko@yandex.ru

Подвесовский Александр Георгиевич

ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск
Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Информатика и программное обеспечение»
Тел.: 9 (4832) 56-09-84
Email: apodv@tu-bryansk.ru

D.V. BUDY'L'SKIJ (*Post-graduate Student of the Department «Computer Science and Software»*)
Bryansk State Technical University, Bryansk

E.V. KARPENKO (*Candidate of Sociological Sciences,*
Associate Professor of the Department of Social and Humanities Subjects)
The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Bryansk Branch)

A.G. PODVESOVSKIY (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,*
Head of the Department «Computer Science and Software»)
Bryansk State Technical University, Bryansk

**A METHOD OF SOCIAL NETWORK AGENTS SELECTION FOR PUBLIC OPINION ANALYSIS
AND MONITORING TASK**

This paper considers and proves public opinion analysis and monitoring as an important part of economic growth and development. We reviewed recent works in this area, which point that online social networks are currently actual and useful source of opinion information. Regarding to technical constraints of social networks API, we built a method of selecting social networks agents for further opinion monitoring. Together with aspect based sentiment analysis, as an automated data analysis tool, we propose a common model of automated social network monitoring and intelligent analysis process.

Keywords: *social networks; public opinion; social networks analysis.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Barabási A.-L., Bonabeau E. Scale-free networks // Scientific American, 2003. – Vol. 288. – № 5. – P. 50-59.

2. Erdős P., Rényi A. On the evolution of random graphs // Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci., 1960. – Vol. 5. – P. 17-61.
3. Renyi A., Erdos P. On random graphs // Publicationes Mathematicae, 1959. – Vol. 6. – P. 290-297.
4. Scott J. Social network analysis. – SAGE Publications Ltd, 2013. – 216 p.
5. Wasserman S., Faust K. Social network analysis: methods and applications (structural analysis in the social sciences). – Cambridge University Press, 1994. – 857 p.
6. Watts D. J., Strogatz S.H. Collective dynamics of ‘small-world’ networks // Nature, 1998. – Vol. 393. – № 6684. – P. 440-442.
7. Abramov M., Venerina O. Vy’yavlenie liderov obshhestvennogo mneniya v social’ny’x setyax // V sociologicheskaya Grushinskaya konferenciya «Bol’shaya sociologiya: rasshirenie prostranstva danny’x» (12-13 marta 2015 g.) – M.: VCIOM, 2015. – S. 49-52.
8. Bagrina A. Issledovaniya razlichny’x proyavlenij religioznosti v social’ny’x setyax i media (na primere analiza publikacij pol’zovatelej v «VKontakte», «Fejsbuke» i «Instagrame» na Pasxu, Verbnoe voskresen’e i Blagoveshhenie v 2014 godu) // V sociologicheskaya Grushinskaya konferenciya «Bol’shaya sociologiya: rasshirenie prostranstva danny’x» (12-13 marta 2015 g.) – M.: VCIOM, 2015. – S. 52-54.
9. Bozhko Yu.N. Usilenie roli regiona v social’no-e’konomicheskom razvitii nacional’noj e’konomiki kak vektor sovershenstvovaniya regional’noj politiki // Social’no-e’konomicheskie yavleniya i processy’, 2012. – № 10(044). – S. 29-33.
10. Bocharova O., Potokina S., Lanina O. Upravlenie social’no-e’konomicheskoy sistemoy regiona v kontekste sovremennoj modernizacii e’konomiki // Social’no-e’konomicheskie yavleniya i processy’. – Tambov, 2012. – № 1(035). – S. 27-32.
11. Goncov K. Vliyanie padeniya kursa rublya na social’no-politicheskuyu stabil’nost’ rossijskogo obshhestva: analiz social’ny’x media // V sociologicheskaya Grushinskaya konferenciya «Bol’shaya sociologiya: rasshirenie prostranstva danny’x» (12-13 marta 2015 g.) – M.: VCIOM, 2015. – S. 67-71.
12. Gubanov D., Novikov D., Chxartishvili A. Social’ny’e seti: modeli informacionnogo vliyaniya, upravleniya i protivoborstva / pod red. D. Novikova. – M.: Izdatel’stvo fiziko-matematicheskoy literatury’, 2010. – 228 s.
13. Devyatko I.F. Instrumentarij onlajn-issledovaniy: popy’tka katalogizacii // Onlajn-issledovaniya v Rossii 3.0. – M.: Izdatel’skij dom «Kodeks», 2012. – S. 17-30.
14. Devyatko I.F. Onlajn-issledovaniya i metodologiya social’ny’x nauk: novy’e gorizonty’, novy’e (i ne stol’novy’e) trudnosti // Onlajn-issledovaniya v Rossii 2.0. – M.: RIC «Severo-Vostok», 2010. – S. 17-30.
15. Zhidchenko A. Social’ny’e seti «VKontakte» i «Twitter» kak e’lement formirovaniya e’lektoral’nogo fona Rossii v sovremenny’j period // V sociologicheskaya Grushinskaya konferenciya «Bol’shaya sociologiya: rasshirenie prostranstva danny’x» (12-13 marta 2015 g.) – M.: VCIOM, 2015. – S. 85-86.
16. Zemlyanskaya L.Yu. Obshhestvennoe mnenie kak neobxodimy’j instrument sistemnoj diagnostiki problemny’x territorij // Monitoring obshhestvennogo mneniya, 2014. – № 5(123). – S. 151-164.
17. Novikov D.A. Struktura teorii upravleniya social’no-e’konomicheskimi sistemami // Upravlenie bol’shimi sistemami. – M., 2009. – Vy’p. 24. – S. 216-257.
18. Podvesovskij A.G., Budy’l’skij D.V. Problemy’ i osobennosti avtomatizacii monitoringa social’ny’x setej i intellektual’noj obrabotki pol’zovatel’skix soobshhenij // Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta, 2014. – № 4(44). – S. 146-152.
19. Tavokin E. Osnovy’ metodiki sociologicheskogo issledovaniya: uchebnoe posobie. – M.: INFRA-M, 2009. – 239 s.
20. Uskova T. Upravlenie ustojchivy’m razvitiem regiona. – Vologda: ISE’RT RAN, 2009. – 355 s.
21. Faraxutdinov Sh. Analiz kommentarijev k novostyam socia’no-politicheskogo xaraktera v seti Internet kak metod issledovaniya // IV mezhdunarodnaya sociologicheskaya konferenciya «Prodolzhaty Grushina» (27-28 fevralya 2014 g.) – M.: VCIOM, 2014. – S. 194-198.
22. Xazeeva N.M. Social’ny’e media: Vox Populi ili specifika novogo kanala izucheniya mneniya potrebitelej // Onlajn-issledovaniya v Rossii 3.0. – M.: Izdatel’skij dom «Kodeks», 2012. – S. 139-149.
23. Xajrullof D. Ustojchivoe razvitie regiona – osnova bezopasnosti nacional’noj e’konomiki // Trudy’ IV Vserossijskoj nauchnoj konferencii «Informacionny’e texnologii v sisteme social’no-e’konomicheskoy bezopasnosti Rossii i ee regionov». – Kazan’: KFU, 2012. – S. 41-49.
24. Capieva O. K. Ustojchivoe razvitie regiona: teoreticheskie osnovy’ i model’ // Problemy’ sovremennoj e’konomiki, 2010. – № 2. – S. 307-311.

СИСТЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ИНВЕСТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЛНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Рассмотрена проблема принятия решений инвестирования информационной безопасности предприятий в условиях полной неопределенности. Для решения проблемы разработана специализированная система принятия решений, позволяющая: централизованно управлять инвестициями в информационную безопасность предприятия, оптимизировать структуру расходов предприятия на проекты построения и реализации систем информационной безопасности, проводить развернутый инвестиционный анализ в ИБ предприятия, основанный на оценке потребности и наличия требуемых условий инвестирования. Представлены результаты экспериментальных исследований, показавшие ее эффективность.

Ключевые слова: система принятия решений; информационная безопасность; методы принятия решений; условия полной неопределенности; инвестирование.

В настоящее время в теории принятия решений наблюдается стремительное динамическое развитие. Причиной этому является то, что современные предприятия значительно отличаются от организаций предыдущего поколения. Основной отличительной чертой выступает наличие большого количества руководителей как высшего, так и среднего управленческого звена. Кроме этого, большое число специалистов, которые, не являясь руководителями, в силу делегированных им полномочий должны принимать важные для предприятия решения в условиях недостатка информации, времени и неполноты исходных данных. В этом случае время принятия оптимального решения определяется наличием у специалистов профессиональных знаний и умений использовать методы менеджмента, методы оптимального управления, оперативные приемы принятия решений и автоматизированные средства, такие, как системы управления и экспертные системы.

Согласно [1], структура системы управления организацией (СУО) или предприятием включает в себя следующие компоненты: модуль обоснования необходимости данной системы, целевая подсистема, подсистема обеспечения функционирования, управляемая подсистема, управляющая подсистема. В основе построения СУО всегда лежит системный подход. Таким образом, система принятия решений инвестирования информационной безопасности предприятия является компонентом СУО, объединяющей в себе несколько подсистем.

Этапы построения и внедрения проектов информационной безопасности (ИБ) предприятия включают в себя огромное число составляющих аспектов, важнейшим из которых является принятие инвестиционных решений. В связи с тем, что в основу построения ИБ предприятия положены финансовые средства, объединенные в категорию инвестиции, управление инвестициями в ИБ предприятия является сложной задачей, решение которой можно найти, применяя комплексный подход, учитывающий уникальные особенности организации [2].

Система принятия решений (СПР) представляет собой взаимоувязанный комплекс информационных систем, который обеспечивает помощь людям при принятии эффективных решений в сложных условиях [7]. СПР предназначена для поддержки многокритериальных решений задач в сложной информационной среде (как во внутренней, так и во внешней). При

этом под многокритериальностью понимается то, что результаты принимаемых решений оцениваются не по одному, а по совокупности различных показателей, рассматриваемых одновременно. Само понятие «принятие решения» означает выбор оптимального решения из множества допустимых альтернатив [7].

Лицо, принимающее решение (ЛПР), – субъект, решающий задачу выбора решения при реализации управленческой деятельности [7].

Инвестирование – это инвестиционная деятельность, направленная на вложение денежных средств с целью получения прибыли или получения полезного эффекта от вложенных средств. Инвестиции представляют собой капитал, вложенный с целью извлечения прибыли из определенного вида деятельности [3].

Неопределенность – явление (или явления), которое не поддается анализу и измерению со сколь угодно точностью [7].

Условием полной неопределенности для механизмов управления является невозможность предсказать, какое состояние внешней среды окажет воздействие на объект управления [4]. Функционирование данной системы описывается посредством математической модели.

Исследования, проводимые в области создания систем принятия решений инвестирования в условиях полной неопределенности, проводились российскими исследователями С.Л. Блюминым, И.А. Шуйковой, В.Н. Бурковым, А.К. Еналеевым, Ю.Г. Лавровым, И.Ю. Потороко и др. Они выделяют, что систематизированное принятие решений не является обособленным, единовременным актом. Это процесс, протекающий во времени и состоящий из нескольких этапов. Несмотря на многочисленные подходы, реализующие процедуру принятия решений в условиях полной неопределенности, они не решают проблему принятия эффективного решения в короткие сроки. Причиной этому является то, что такие методы не носят распределенный и универсальный характер. Для решения существующей проблемы мы предлагаем решение, представляющее собой систему принятия решений инвестирования ИБ предприятий в условиях полной неопределенности, представленную на рисунке 1. Научной новизной разработки является решение научной проблемы принятия решений инвестирования ИБ предприятий в условиях полной неопределенности.

Проанализируем существующие методы принятия решений (МПР) в условиях полной неопределенности: МПР с дискретной неопределенностью, МПР в условиях риска и неопределенности на основе глобальных критериев, метод построения деревьев решений, декомпозиционный метод ожидаемой полезности.

Данные методы объединяет факт наличия информации о предпочтениях на множестве критериев выбора. Для МПР с дискретной неопределенностью характерно отсутствие информации о предпочтениях. Однако в таком методе всегда присутствует количественная оценка о последствии выбора альтернативы. МПР в условиях риска и неопределенности на основе глобальных критериев содержит подробный анализ предпочтений альтернатив, а также количественную оценку эффективности выбора, матрицу выбора и расчет рисков, которым подвергается ЛПР. Метод построения дерева решений представляет собой совокупность правил, отображаемых как иерархическая структура, в которой каждому объекту соответствует единственный узел, содержащее решение. При построении дерева решения применяются методы и подходы теории прогнозирования. Декомпозиционный метод ожидаемой полезности (ДМОП) содержит количественные оценки полезности последствий (результатирующего исхода), связанные с определенным решением. На базе полученных оценок производится оптимизация всех решений, которые могут быть приняты

ЛПР. Таким образом, при использовании ДМОП используется методология оптимального управления.

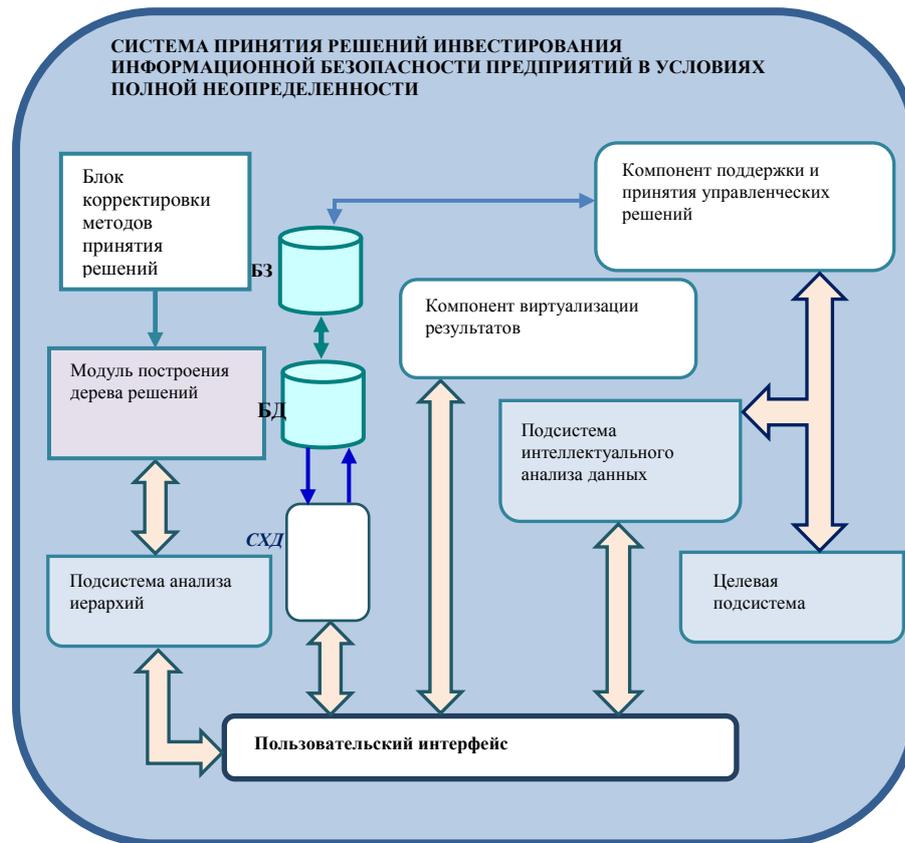


Рисунок 1 – Система принятия решений инвестирования ИБ предприятий в условиях полной неопределенности

Методы, описанные выше, являются сложными и трудоемкими. Для принятия решения в кратчайшие сроки необходимо применять их комплексно. Однако это усложняет процедуру управления результатами, а также не позволяет модифицировать принятое решение под другие задачи. Поэтому мы предлагаем новый МПР в условиях полной неопределенности, который адаптирован под решение задач об инвестировании ИБ предприятий в условиях полной неопределенности.

В основу проектирования СПР инвестирования ИБ предприятий в условиях полной неопределенности положен математический метод принятия решений. Данный метод описывает процедуры, предназначенные для принятия решений в условиях, когда известны возможные границы изменения каждого отдельного параметра при вариации влияющих на него факторов, однако вероятностное распределение значений факторов неизвестно.

При построении систем принятия решений (а также систем поддержки принятия решений) необходимо руководствоваться взаимодействием четырех составляющих: цель, задача, критерии выбора решения, альтернативы.

Целью СПР, представленной на рисунке 1, является принятие качественного решения инвестирования ИБ предприятия в условиях полной неопределенности за короткие промежутки времени.

Основными задачами, решаемыми СПР инвестирования ИБ предприятий в условиях полной неопределенности, являются осуществление комплексного управления инвестированием и принятие эффективного решения в короткие временные сроки. Промежуточной задачей, решаемой в рамках предлагаемой СПР инвестирования ИБ предприятия в условиях полной неопределенности, является осуществление выбора оптимальной стратегии из нескольких исключаящих друг друга альтернатив.

Под критерием выбора понимается способ описания альтернативных вариантов решений. При помощи критериев выбора решений можно выразить различия между альтернативами. Таким образом, по различию определяются предпочтения альтернатив [7].

Принятие решений (ПР) – это процедура выбора одного из множества допустимых альтернатив, основываясь на критериях выбора [7]. Согласно [4, 7] различают несколько видов альтернатив: независимая, зависимая, заданная заранее и являющаяся постоянной, конструируемая.

Альтернатива – возможные варианты принимаемых решений [7]. Обычно их число конечно, а каждый вариант выбора определяет некоторый результат (экономический эффект, прибыль, выигрыш, полезность, надежность и т.д.), основываясь на количественной оценке.

Таким образом, СПР инвестирования ИБ предприятия в условиях полной неопределенности представляет собой сложную систему, состоящую из следующих элементов: пользовательского интерфейса, системы хранения данных (СХД), целевой подсистемы, подсистемы анализа иерархий, подсистемы интеллектуального анализа данных, компонента виртуализации результатов, модуля построения дерева решений, блока корректировки методов принятия решений и компонента поддержки и принятия управленческих решений. СХД состоит из базы данных (БД) и базы знаний (БЗ).

Благодаря наличию в СПР инвестирования ИБ предприятия в условиях полной неопределенности подсистемы интеллектуального анализа данных, компонента поддержки и принятия управленческих решений, предложенная СПР учитывает все альтернативы. Приведем формализованное описание СПР инвестирования ИБ предприятия в условиях полной неопределенности.

Вектор доходностей ценных бумаг, входящих в инвестиционный портфель описывается следующей формулой:

$$D_j = (D_j^1, \dots, D_j^n), \quad (1)$$

где n – количество ценных бумаг, входящих в инвестиционный портфель; j – состояние внешней среды; $j=1..m$, m – порядковый номер инвестиционного портфеля.

Под инвестиционным портфелем принято понимать целенаправленно сформированную в соответствии с определенной инвестиционной стратегией совокупность вложений в инвестиционные объекты [3].

Формализованное описание инвестиционного портфеля определим как

$$BOX = (Inv, r), \quad (2)$$

где Inv – инвестиционные вложения; r – риск портфеля.

Процедура минимизации рисков приводит к тому, что при инвестировании будет наблюдаться минимальный убыток, который возможен при нахождении решений поставленных задач. Согласно [6], наименьший убыток является минимальной мерой риска инвестиционного портфеля. Таким образом, обусловлена необходимость применения правила Мартина Янга. Правило Мартина Янга гласит: в качестве меры риска

инвестиционного портфеля выступает наибольший убыток, который может понести портфель за прошедший период времени [8].

Наименьший убыток определяется следующим образом:

$$M_p = \min_t \sum_{i=1}^n x_i r_{it}, \quad (3)$$

где $t = 1..T$ – номер наблюдения; x_i – доля капитала, вложенного в ценные бумаги i -го вида; r_{it} – доход по i -ой ценной бумаге в момент времени t .

Определим цель, для которой проектируется инвестиционный портфель. Целью формирования инвестиционного портфеля выступает обеспечение реализации разработанной инвестиционной политики путем подбора наиболее эффективных и надежных инвестиционных вложений [3].

Приведем формализованное описание правила Мартина Янга в виде (4-6).

$$\sum_{i=1}^n x_i r_{it} \geq M_p. \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \mu_i = \bar{\mu}, \quad (5)$$

где μ_i – математическое ожидание доходности i -ого вида ценных бумаг; $\bar{\mu}$ – требуемое значение ожидаемой доходности.

При этом ограничение, накладываемое на долю капитала, вложенного в ценные бумаги, выглядит так:

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1. \quad (6)$$

Прогнозирование возможного ущерба инвестиционного портфеля и проведение его статистической оценки возможно осуществить, используя формулу (5). На основании таких данных можно определить средний доход, полученный от вложенных средств [6].

Наличие в СПР модуля построения дерева решений позволяет решить задачу классификации инвестирования ИБ предприятия в условиях полной неопределенности. Дерево решений – это структурно-информационная модель процесса принятия решений, которая включает его элементы по уровням и связи между ними [9]. Дерево решения, сформулированное модулем СПР, представлено на рисунке 2.

Опишем подробно дерево решений, полученное при помощи СПР (рис. 2). Вершина обозначена цифрой в квадрате – это выбор из альтернатив, а также такие вершины называются точками принятия решений. Заглавная буква в круге – это фактор выбора того или иного решения. Каждый такой фактор описывает возможные действия. Круг черного цвета – это концевые вершины. «1» представляет собой решение об анализе сложившейся ситуации. В связи с полным отсутствием информации о состоянии инвестирования ИБ необходимо собрать некоторые данные, то есть провести предпроектное обследование. «2» – прогнозирование инвестиций в ИБ. «3» – определение инвестиционного уровня. «4» – системный анализ задачи ПР (корректировка принятого решения). На этапе системный анализ задачи ПР производится выбор из множества возможных решений из тех, которые существуют в настоящее время. Так производится корректировка принятых решений.

Способ представления результатов в виде дерева решений создает иерархическую структуру, позволяющую разбить общую задачу на подзадачи. Сами же подзадачи при необходимости могут быть разделены на различные составляющие, которые называются «подцели» или «функции фактора».

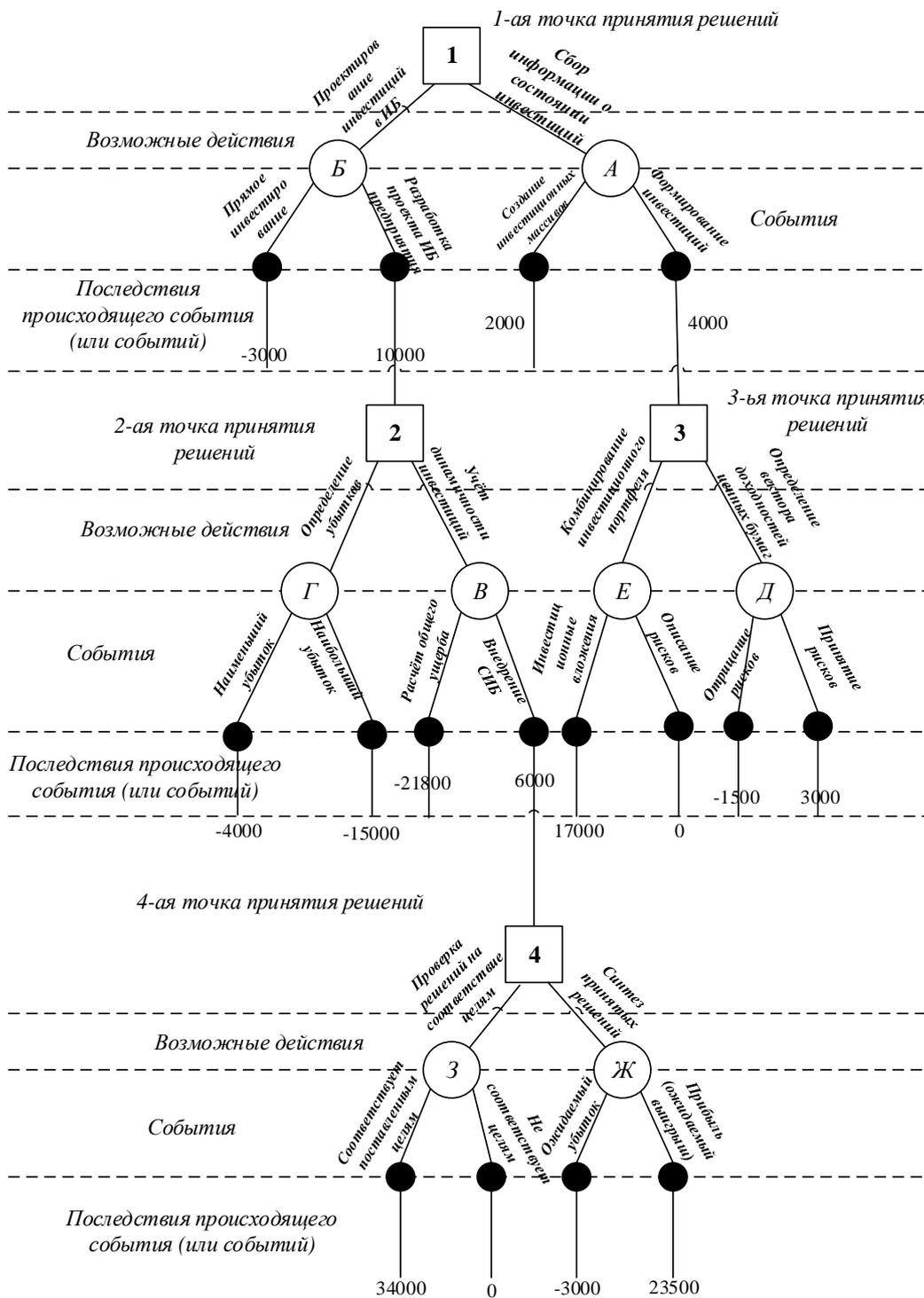


Рисунок 2 – Дерево решений (экранная копия)

Дерево решений, представленное на рисунке 2, состоит из одного корневого узла «1», двух родительских узлов «2» и «3», восьми дочерних узлов-потомков, шестнадцати листьев и нескольких ребер. Иными словами, «1» – это атрибут, помещенный в корень. «2», «3», «4» – это узлы принятия решения. Узлы содержат атрибуты, по которым различаются случаи принятия решения (то есть деление задачи на подзадачи). Ребра содержат значения атрибута – это либо действия, либо события. Листья содержат значения, которые получены при выполнении действий. Они могут быть положительными (прибыль) или отрицательными (убыток). СПР принимает решение, исходя из таких значений.

Опишем результаты, полученные при помощи СПР инвестирования ИБ предприятия в условиях полной неопределенности. Согласно дереву решений, построенному СПР, наилучшей стратегией является выбор из альтернатив «4». При таком решении можно извлечь максимальную прибыль, размером в 23500 и 34000 рублей с минимальными потерями 3000 рублей и 0 рублей. Данная стратегия формируется по факторам «Ж» и «З» на основе первой точки принятия решения по фактору «Б», второй точки принятия решения по фактору «В».

Таким образом, СПР выполняет управленческую деятельность, объем которой связан с содержанием и масштабом решаемых задач. Исходя из исследований, СПР можно охарактеризовать не только по средствам уровней управления, но и подсистем, входящих в данную СПР так, как каждая подсистема имеет некоторую цель, которая подчиняется общей цели. Кроме этого, все подсистемы тесно связаны между собой. Отличительной особенностью, предложенной СПР является устойчивость к воздействию внешних и внутренних факторов и поддержка возможности самоорганизации. Таким образом, разработанная СПР инвестирования ИБ предприятия в условиях полной неопределенности удовлетворяет свойству адаптируемости.

Адаптируемость – свойство системы, изменяющее поведение и структуру с целью сохранения, улучшения новых качеств в условиях изменения внешней среды [9].

По проведенному исследованию можно сделать вывод, что разработанная СПР инвестирования ИБ предприятия в условиях полной неопределенности позволяет решить проблему, связанную с оптимизацией структуры расходов предприятия на проекты построения и реализации ИБ. Применяя предложенную СПР, можно провести развернутый инвестиционный анализ в ИБ предприятия, основанный на оценке потребности и наличия требуемых условий инвестирования. Такой анализ позволяет сформировать инвестиционные ресурсы.

Преимущества разработанной СПР:

- быстрая адаптируемость к различным условиям;
- возможность уменьшения неопределенности;
- легкость в управлении для пользователей (ЛПР);
- обоснование приемлемых для компании (как для предприятия, которому необходимо достичь режима ИБ предприятия, так и для компании-инвестора) рисков и прибыли;
- комплексное управление инвестированием ИБ предприятия;
- принятие оптимальных инвестиционных решений.

Перспективами дальнейшего развития СПР инвестирования ИБ предприятия в условиях полной неопределенности являются:

- оптимальное управление СИБ;
- разработка системы мониторинга инвестиционных процессов;

- разработка системы поддержки и принятия решений противодействия рискам ИБ предприятия;
- развитие теории автоматизации управления инвестициями;
- создание систем организационного управления проектами инвестирования;
- разработка комплексных подходов принятия решений в условиях частичной и полной определенности.

Уникальностью СПР инвестирования ИБ предприятия в условиях полной неопределенности является возможность разработки стратегии инвестирования для специализированной задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фатхутдинов Р.А. Производственный менеджмент. 4-е издание. – СПб: Питер, 2003. – 491 с.
2. Жаринова С.С., Бабенко А.А. Система управления инвестициями в информационную безопасность предприятия. Актуальные вопросы информационной безопасности регионов в условиях глобализации информационного пространства. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2014. – С. 99-102.
3. Горфинкель В.Я., Швандар В.А. Экономика предприятия: учебник для ВУЗов. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. – 670 с.
4. Бурков В.Н, Еналеев А.К., Лавров Ю.Г. Синтез оптимальных механизмов планирования и стимулирования в активной системе. – Москва: Институт проблем управления РАН, 1992. – С. 113-120
5. Жаринова С.С., Бабенко А.А. Оптимизация инвестиций в информационную безопасность предприятия // Информационные системы и технологии, 2014. – № 3(83). – С. 114-123.
6. Жаринова С.С., Бабенко А.А. Принятие решений об инвестировании информационной безопасности предприятия в условиях полной неопределенности. Актуальные вопросы информационной безопасности регионов в условиях глобализации информационного пространства. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2014. – С. 99-102.
7. Блюмин С.Л., Шуйкова И.А. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности. – Липецк: ЛЭГИ, 2001. – 138 с.
8. Артемьева Е.С. Учет отношения инвестора к риску в задаче оптимизации инвестиционного портфеля // Аудит и финансовый анализ, 2007. – № 3. – С. 1-9.
9. Потороко И.Ю. Системный анализ и принятие решений: учебное пособие. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 64 с.

Козунова Светлана Сергеевна

Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград
Аспирант кафедры системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования
Тел.: 8 (8442) 24-81-00
E-mail: one1100on@gmail.com

Бабенко Алексей Александрович

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград
Кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры информационной безопасности
Тел.: 8 (8442) 46-03-68
E-mail: ba_benko@mail.ru

*S.S. KOZUNOVA (Post-graduate Student of the Department
of Computer-aided Design and Search Construction)*

A.A. BABENKO (*Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Information Security*)
Volgograd State University, Volgograd

**SYSTEM OF DECISION MAKING INVESTMENT OF INFORMATION SECURITY FOR
COMPANIES IN FULL UNCERTAINTIES**

The problem of investment decision making information security companies in complete uncertainty was described. To solve the problem developed specialized system of decision making that allows centrally manage investments in information security of company, optimize the structure of expenditures on a project construction and implementation of information security systems, advanced conduct investment analysis in information security of company, is based on an assessment of needs and the availability of the required conditions for investment. The results of experimental studies have shown its effectiveness.

Keywords: *system of decision making; information security; the methods of decision making; conditions for the complete uncertainty; investment.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Fatxutdinov R.A. Proizvodstvenny'j menedzhment. 4-e izdanie. – SPb: Piter, 2003. – 491 s.
2. Zharinova S.S., Babenko A.A. Sistema upravleniya investitsiyami v informacionnyuyu bezopasnost' predpriyatiya. Aktual'ny'e voprosy' informacionnoj bezopasnosti regionov v usloviyax globalizacii informacionnogo prostranstva. – Volgograd: Izd-vo VolGU, 2014. – S. 99-102.
3. Gorfinkel' V.Ya., Shvandar V.A. E'konomika predpriyatiya: uchebnik dlya VUZov. – Moskva: YuNITI-DANA, 2007. – 670 s.
4. Burkov V.N, Enaleev A.K., Lavrov Yu.G. Sintez optimal'ny'x mexanizmov planirovaniya i stimulirovaniya v aktivnoj sisteme. – Moskva: Institut problem upravleniya RAN, 1992. – S. 113-120
5. Zharinova S.S., Babenko A.A. Optimizaciya investitsij v informacionnyuyu bezopasnost' predpriyatiya // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2014. – № 3(83). – S. 114-123.
6. Zharinova S.S., Babenko A.A. Prinyatie reshenij ob investirovanii informacionnoj bezopasnosti predpriyatiya v usloviyax polnoj neopredelennosti. Aktual'ny'e voprosy' informacionnoj bezopasnosti regionov v usloviyax globalizacii informacionnogo prostranstva. – Volgograd: Izd-vo VolGU, 2014. – S. 99-102.
7. Blyumin S.L., Shujkova I.A. Modeli i metody' prinyatiya reshenij v usloviyax neopredelennosti. – Lipeck: LE'GI, 2001. – 138 s.
8. Artem'eva E.S. Uchet otnosheniya investora k risku v zadache optimizacii investicionnogo portfelya // Audit i finansovy'j analiz, 2007. – № 3. – S. 1-9.
9. Potoroko I.Yu. Sistemny'j analiz i prinyatie reshenij: uchebnoe posobie. – Chelyabinsk: Izdatel'skij centr YuUrGU, 2010. – 64 s.

УДК 004.738.5:81'322.2](062)

Ю.Б. САВВА, В.Т. ЕРЁМЕНКО, Ю.В. ДАВЫДОВА

**О ПРОБЛЕМЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СЛЕНГА
В ЗАДАЧЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОИСКА УГРОЗ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ НАРКОМАНИИ
В ВИРТУАЛЬНЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ**

В статье приведен анализ подходов к обработке текста. Выявлены особенности сленга в сфере наркотизации, в соответствии с которыми сделаны выводы о необходимости разработки лингвистического процессора для обработки сленга. Рассмотрена проблема обфускации текстов сообщений участников виртуальных социальных сетей с целью усложнения лингвистического анализа этих сообщений, пропагандирующих употребление наркотических средств.

***Ключевые слова:** виртуальные социальные сети; лингвистический анализ; обработка естественного языка; сленг; обфускация текста; наркотизация.*

ВВЕДЕНИЕ

Интернет предоставляет широкие возможности для повышения степени социальной интеграции, в то же время он способствует развитию девиантного поведения пользователей ввиду своей частичной или полной анонимности [1]. Пользователи могут являться как активными участниками сетевого общения, занимающиеся пропагандой и реализующие преступные действия, так и пассивными участниками, которые подвергаются соответствующему информационному воздействию. Одной из угроз безопасности государства и личности является пропаганда наркомании и распространение наркотиков через web-сайты Интернета и виртуальные социальные сети (web 2.0). Это обстоятельство требует наблюдения, а в некоторых случаях и пристального контроля за пользователями Сети с целью анализа их действий и выявления акторов деструктивных воздействий на законопослушных участников сетевого общения.

Традиционно мониторинг интернет-ресурсов на предмет выявления угроз проводится путем информационного поиска по ключевым словам, соответствующим требуемой тематике [2]. Однако ключевые слова для темы, связанной с наркотиками, в большинстве своем являются сленговыми. В связи с этим особенно остро строит проблема омонимии и обработки устойчивых выражений, так как простой поиск по ключевым словам не позволяет выявить сообщения деструктивного характера, поэтому необходимо применение интеллектуальных методов обработки текста, способных учесть лингвистические особенности сленга.

**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ
КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВ**

Существующие методы обработки текста подразделяются на два типа – статистические и лингвистические. В зависимости от особенностей решаемых задач возможно комбинированное применение этих методов.

Статистические методы опираются на аппарат математической статистики и применяются для разнообразных целей. Статистические модели находят широкое применение в системах машинного перевода, распознавания речи, системах коррекции

правописания и многих других. Они основываются на факте сочетаемости слов и учитывают особенности их употребления в языке. Модели n-грамм (биграмм, триграммы и т.д.) предсказывают вероятность появления той или иной лексемы при условии появления предыдущих лексем [2]. Статистика применяется в вопросах установления авторства текста, изучении лексики авторов (писателей), изучении особенностей различных жанров литературы (художественный, деловой, публицистический стили и т.д.) [3]. Подход основан на составлении частотных словарей. Другой областью применения статистических методов является снятие омонимии.

Для обучения моделей, основанных на статистике, необходима обработка корпусов текста большого объема. Однако данное условие не всегда реализуемо, если целью моделирования являются, например, неологизмы русского языка. Как отмечено в [4], создание текстовых корпусов для обучения модели по трудоемкости превысило бы ручное снятие омонимии. Следует отметить, что обработка сленга в сфере наркотизации является еще более узкоспециализированной задачей. Кроме того, необходимо учитывать тот факт, что в письменных сообщениях, характеризующих неформальное общение, часто употребляется большое количество специальных символов, сокращений, а также наличие грамматических, синтаксических ошибок и просто случайных опечаток.

Лингвистический подход заключается в реализации лингвистического процессора, который традиционно имеет несколько компонент, реализующих уровни обработки языка, представленных на рисунке 1. Однако иногда, если этого требует задача, синтаксический и семантический уровни объединяются для достижения лучших результатов разбора текста. Кроме того, может выделяться прагматический уровень, следующий за семантическим. На этом уровне, если он присутствует, исходя из потребности задачи, определяется тип текста, автор, стиль и другие характеристики.

В зависимости от поставленных задач лингвистический процессор может быть полным, т.е. реализующим все стадии лингвистической обработки, или редуцированным. Как правило, в информационно-поисковых системах присутствуют минимально необходимые этапы обработки языка, чаще всего реализуется лишь уровень морфологии. Семантический анализ ввиду своей высокой сложности если и выполняется, то для отдельных предметных областей.

Графематический анализ предполагает разбиение текста на словоформы, знаки пунктуации. Словоформа – лексема (слово) в некоторой грамматической форме.

Словоформы, полученные на предыдущем этапе анализа, поступают на вход морфологического анализатора. Вне зависимости от применяемых методов морфологического анализа целью морфологического анализатора является выявление набора морфологических характеристик и леммы как канонической формы рассматриваемой словоформы. К морфологическим характеристикам относятся сведения о части речи, роде, падеже, числе, времени и т.д. Методы морфологического анализа делятся на декларативные и процедурные [5]. Первый класс методов предполагает наличие словаря, содержащего все словоформы с набором соответствующих морфологических характеристик. Традиционно при таком подходе на данном этапе анализа текста для русскоязычных текстов используется грамматический словарь русского языка А.А. Зализняка. Процедурные методы предполагают наличие некоторых правил, согласно которым осуществляется извлечение необходимой морфологической информации. Сюда относится использование частичных словарей, которые, например, хранят только основу или псевдооснову слов, аффиксы (части слов, изменяющие лексическое или грамматическое значение) хранятся отдельно.

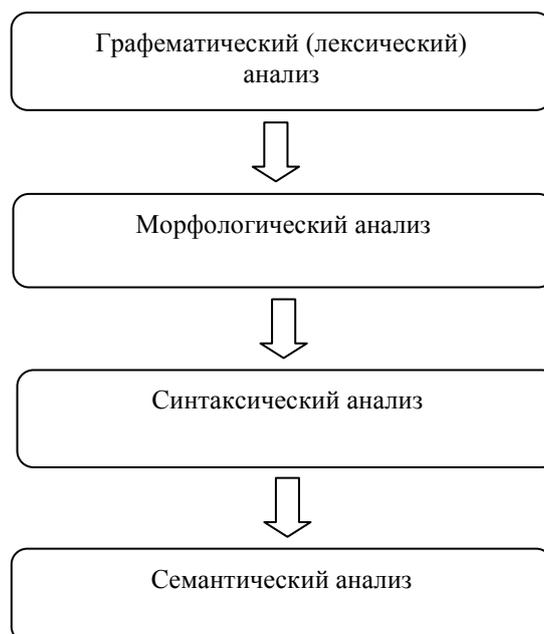


Рисунок 1 – Этапы лингвистического анализа

Синтаксический анализ является уровнем предложений и служит для определения их структуры и способов связи между словами. Морфологические характеристики, полученные на предыдущем этапе лингвистического анализа, помогают определить валентность лексем – способность слов связываться между собой. Традиционно способом представления синтаксической структуры предложения являются дерево зависимостей или дерево составляющих. Множество узлов дерева зависимостей – это совокупность лексем, а связи между узлами – синтаксические подчинительные отношения между лексемами [6, 7]. Листьями дерева составляющих являются лексемы предложения, поддеревья соответствуют синтаксическим конструкциям, а дуги выражают отношения вложенности. Условия сочетания лексем организуются в виде набора правил.

На семантическом уровне определяется смысл предложений и словосочетаний. Распространенным подходом на данном этапе лингвистического анализа является применение исчисления предикатов. Ч. Филлмор разработал концепцию глубинных семантических падежей, которые представляют собой роли глагола по отношению к другим группам слов (существительные, наречия, числительные и др.). Эта концепция модифицировалась как самим Филлмором, так и другими авторами, но одними из ключевых падежей являются [8]:

- агентив – падеж, подразумевающий активного участника рассматриваемой ситуации;
- датив – падеж, обозначающий субъект, который затрагивается действием глагола;
- фактитив – падеж объекта или субъекта, возникающий в результате действия глагола;
- локатив – падеж, который характеризует местоположение рассматриваемой ситуации;
- инструменталис – падеж неодушевленной силы или предмета, который является причиной для действия;
- и др.

Логическим развитием падежной грамматики явилась фреймовая семантика. Падежный фрейм состоит из заголовка и набора семантических ролей, связанных с заголовком.

Другим подходом, применяемом на этом этапе, является подход компьютерной семантики, разработанный В.А. Тузовым. Основное отличие его концепции заключается в рассматривании языка как совокупности функций, которые позволяют записать любое предложение в формальном виде [9]. Данный подход подразумевает наличие морфологического анализа, предварительной пословной обработки и семантического анализа текста, причем на первом этапе используется грамматический словарь, а на последних двух – семантический словарь, который реализует компьютерное толкование смысла слова.

ОСОБЕННОСТИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТЕКСТОВ ПРИ ВЕДЕНИИ ПРОПАГАНДЫ И РЕАЛИЗАЦИИ НАРКОТИКОВ В ВИРТУАЛЬНЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Проведенный в [10] по результатам краулинга анализ сообщений участников виртуальной социальной сети «ВКонтакте» позволил определить группы риска, включающие лиц, в сообщениях которых были использованы термины, относящиеся к категории «наркотизация», и которые находятся в состоянии активного общения с акторами, пропагандирующими употребление наркотиков. Однако следует отметить, что при использовании краудсорсинговых инструментов в целях выявления деструктивных воздействий, в том числе по пропаганде и распространению наркотиков, точность полученных результатов сложно проверить ввиду особенностей представления текстов, основанных на использовании специфического сленга. При этом даже одна ошибка может подорвать доверие ко всему массиву полученных в результате краулинга данных.

Рассмотрим особенности, которые необходимо учитывать при разработке лингвистического процессора для анализа сленга в сфере наркотизации:

- высокая сложность выявления семантики высказываний. Ввиду определенной закрытости сообществ лиц, употребляющих и распространяющих наркотики, как минимум часть соответствующего сленга является очень сложной для понимания. Кроме того, налицо частые случаи семантической омонимии;

- наличие коллокаций (словосочетаний, имеющих признаки синтаксической и семантической целостности, но еще не являющихся фразеологизмами в традиционном понимании) для обозначения понятий;

- довольно высокая скорость изменения множества сленговых выражений. В целях конспирации и по причине производства новых наркотических средств наркоманский сленг является особенно динамичным по сравнению с другими видами сленга;

- нецелесообразность использования компоненты синтаксического анализа в традиционном виде. Необходимо учитывать регулярное использование участниками пропагандирующих и распространяющих наркотические вещества сообществ потенциально грамматически неверного написания (обфусицирование) слов и построения предложений в целом;

- сложность разделения некоторых категорий слов, которые перешли из разряда сленга в сфере наркотизации в общеупотребительный сленг.

При этом следует отметить, что использование потенциально грамматически неверного написания слов и построения предложений в целом характерно не только для участников сообществ, пропагандирующих и распространяющих наркотические вещества,

но и других мафиозных, а также террористических сообществ. Поэтому решение проблемы автоматизированного распознавания обфусцированных текстов имеет большое значение для обнаружения и предотвращения угроз обществу и государству.

ОБФУСКАЦИЯ ТЕКСТОВ СООБЩЕНИЙ

Технологии обфускации (от лат. *obfuscare* – «затенять», «затемнять» и англ. *obfuscate* – «делать неочевидным», «делать запутанным», «сбивать с толку») до сих пор использовались для запутывания текстов кодов компьютерных программ с целью их защиты от декомпиляции и нарушения авторских прав либо с целью сокрытия кодов, выводящих рекламу, при исполнении этих программ [11 и 12]. Однако в настоящее время обфускацию стали широко применять для написания текстов при обмене сообщениями в виртуальных социальных сетях. В этом случае обфускацию используют для предотвращения эффективного лингвистического анализа сообщений, имеющих деструктивный характер при осуществлении воздействий на участников этих сетей. В качестве основных приемов обфускации таких текстов можно выделить следующие:

- замена букв кириллицы на имеющие сходные начертания буквы латиницы (например, буквы «а», «о», «е», «с» и др.);
- использование цифр вместо отдельных букв и слов (например, цифра «4» вместо буквы «ч», цифра «0» вместо буквы «о», цифра «2» вместо предлога «к», цифра «5» в «о5» вместо слова «опять» и др.);
- вставка различных небуквенных символов для разделения слов (например, написание «с.п.а.й.с» вместо слова «спайс» и т.п).

Приведенные выше примеры показывают, что процесс лингвистического анализа сленга при решении задачи автоматизации поиска угроз распространения наркомании в виртуальных социальных сетях существенно усложняется использованием участниками этих сетей технологии обфускации текстов сообщений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поскольку даже для литературного русского языка нет универсальных проработанных решений уровня семантики, выявление и обработка сленга в сфере наркотизации является особенно сложной задачей. Такой сленг является узкоспециализированным ввиду закрытости сообществ, их использующих. Прогнозировать развитие процесса словообразования в рассматриваемой предметной области возможно только с привлечением экспертов. Кроме того, объем потенциальной текстовой выборки для ее автоматизированного анализа очень мал по сравнению с крупными корпусами, поэтому налицо нецелесообразность применения статистических методов обработки сленга.

Таким образом, решением данной проблемы является разработка соответствующего лингвистического процессора, а омонимию следует разрешать с использованием методов, основанных на правилах. Для преодоления обфускации текстов сообщений нами предполагается использовать методы кластеризации и распознавания образов [13] при сравнении графов следования символов запутанных сообщений с шаблонами, хранящимися в базе данных информационной системы контроля поведения участников виртуальных социальных сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдова Ю.В. К вопросу о необходимости автоматизации процесса поиска угроз в виртуальных социальных сетях и сообществах // Актуальные проблемы современной науки в XXI веке: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. – Махачкала: ООО «Апробация». – С. 25-26
2. Манниг К.Д., Рагхаван П., Шютце Х. Введение в информационный поиск: пер. с англ. – М.: ООО ИД «Вильямс», 2011. – 528 с.
3. Методы изучения лексики / под ред. А.Е. Супруна. – Минск: Издательство БГУ, 1975. – 232 с.
4. Иомдин Б.Л., Лопухина А.А., Пиперски А.Ч. и др. Словарь бытовой терминологии: новые проблемы и новые методы // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии, 2012 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.dialog-21.ru/digests/dialog2012/materials/pdf/147.pdf> (дата обращения: 09.04.2015).
5. Савина Г.В., Савин И.В. Лемматизация слов русского языка в применении к распознаванию слитной речи // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии, 2001 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.dialog-21.ru/digest/archive/2001/?year=2001&vol=22725&id=7031> (дата обращения: 27.04.2015).
6. Апресян Ю.Д., Богуславский И.М., Иомдин Л.Л. и др. Лингвистический процессор для сложных систем. – М.: Наука, 1992. – 256 с.
7. Гладкий А.В. Математические методы изучения естественных языков // Труды МИАН им. В.А. Стеклова, 1973. – Т. 133. – С. 95-108.
8. Филлмор Ч. Дело о падеже // Новое в зарубежной лингвистике. – Выпуск X. Лингвистическая семантика. – М.: Прогресс. 1981. – С. 369-495
9. Тузов В.А. Компьютерная семантика русского языка // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии, 2001 [Электронный ресурс]. – URL http://www.dialog-21.ru/Archive/2001/volume2/2_53.htm (дата обращения: 30.04.2015).
10. Савва Ю.Б. Моделирование поведения акторов в виртуальных социальных сетях в задаче выявления источников пропаганды наркотиков // Вопросы безопасности России и постсоветского пространства: история и современность: сборник статей Международной научно-практической конференции МНИЦ ПГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. – С. 83-88.
11. Касперски К., Рокко Е. Искусство дизассемблирования. – СПб: БХВ-Петербург, 2008. – 892 с.
12. Коробейников А.Г., Кутузов И.М., Колесников П.Ю. Анализ методов обфускации // NB: Кибернетика и программирование, 2012. – № 1. – С. 31-37. – DOI: 10.7256/2306-4196.2012.1.13858 [Электронный ресурс]. – URL: http://e-notabene.ru/kp/article_13858.html (дата обращения: 04.05.2015).
13. Программа кластеризации и шкалирования нечетких данных: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015612445 Российская Федерация / Ю.Б. Савва; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК» (RU). – № 2014663471; заявл. 23.12.2014; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 18.02.2015. – 1 с.

Савва Юрий Болеславович

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы»

Тел.: 8 906 569 92 20

E-mail: su_fio@mail.ru

Ерёменко Владимир Тарасович

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Доктор технических наук, профессор
E-mail: Wladimir@orel.ru

Давыдова Юлия Витальевна
ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел
Инженер-программист информационно-вычислительного центра
Тел.: 8 920 280 26 25
E-mail: alfa-antares@yandex.ru

Yu.B. SAVVA (*Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor of the Department «Information Systems»*)

V.T. ERYOMENKO (*Doctor of Engineering Sciences, Professor*)

Yu.V. DAVYDOVA (*Software Engineer of Information and Computing Center
State University – ESPC, Orel*)

**ABOUT THE PROBLEM OF THE LINGUISTIC ANALYSIS OF THE SLANG IN THE PROBLEM
OF THE AUTOMATED SEARCH OF THREATS OF SPREAD OF DRUG ADDICTION ON
VIRTUAL SOCIAL NETWORKS**

In this article analysis of methods of natural language processing is given. Features of drug slang are clarified, according to them linguistic processor for slang processing is required. The problem of obfuscation text messages of participants of virtual social networks with the aim of complicating the linguistic analysis of these messages that promote the use of drugs is considered.

Keywords: *virtual social networks; linguistic analysis; natural language processing; obfuscation of the text; slang; population narcotization.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Davy'dova Yu.V. K voprosu o neobxodimosti avtomatizacii processa poiska ugroz v virtual'ny'x social'ny'x setyax i soobshhestvax // Aktual'ny'e problemy' sovremennoj nauki v XXI veke: sbornik materialov VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Maxachkala: OOO «Aprobaciya». – S. 25-26
2. Mannig K.D., Ragxavan P., Shyutce X. Vvedenie v informacionny'j poisk: per. s angl. – M.: OOO ID «Vil'yams», 2011. – 528 s.
3. Metody' izucheniya leksiki / pod red. A.E. Supruna. – Minsk: Izdatel'stvo BGU, 1975. – 232 s.
4. Iomdin B.L., Lopuxina A.A., Piperski A.Ch. i dr. Slovar' by'tovoj terminologii: novy'e problemy' i novy'e metody' // Komp'yuternaya lingvistika i intellektual'ny'e texnologii, 2012 [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.dialog-21.ru/digests/dialog2012/materials/pdf/147.pdf> (data obrashheniya: 09.04.2015).
5. Savina G.V., Savin I.V. Lemmatizaciya slov russkogo yazy'ka v primenenii k raspoznavaniyu slitnoj rechi // Komp'yuternaya lingvistika i intellektual'ny'e texnologii, 2001 [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.dialog-21.ru/digest/archive/2001/?year=2001&vol=22725&id=7031> (data obrashheniya: 27.04.2015).
6. Apresyan Yu.D., Boguslavskij I.M., Iomdin L.L. i dr. Lingvisticheskij processor dlya slozhny'x sistem. – M.: Nauka, 1992. – 256 s.
7. Gladkij A.V. Matematicheskie metody' izucheniya estestvenny'x yazy'kov // Trudy' MIAN im. V.A. Steklova, 1973. – T. 133. – S. 95-108.
8. Fillmor Ch. Delo o padezhe // Novoe v zarubezhnoj lingvistike. – Vy'pusk X. Lingvisticheskaya semantika. – M.: Progress. 1981. – S. 369-495
9. Tuzov V.A. Komp'yuternaya semantika russkogo yazyka // Komp'yuternaya lingvistika i intellektual'ny'e texnologii, 2001 [E'lektronny'j resurs]. – URL http://www.dialog-21.ru/Archive/2001/volume2/2_53.htm (data obrashheniya: 30.04.2015).

10. Savva Yu.B. Modelirovanie povedeniya aktorov v virtual'ny'x social'ny'x setyax v zadache vy'yavleniya istochnikov propagandy' narkotikov // Voprosy' bezopasnosti Rossii i postsovetskogo prostranstva: istoriya i sovremennost': sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii MNIC PGSXA. – Penza: RIO PGSXA, 2015. – S. 83-88.
11. Kasperski K., Rokko E. Iskustvo dizassemblirovaniya. – SPb: BXV-Peterburg, 2008. – 892 s.
12. Korobejnikov A.G., Kutuzov I.M., Kolesnikov P.Yu. Analiz metodov obfuskacii // NB: Kibernetika i programirovanie, 2012. – № 1. – S. 31-37. – DOI: 10.7256/2306-4196.2012.1.13858 [E'lektronny'j resurs]. – URL: http://e-notabene.ru/kp/article_13858.html (data obrashheniya: 04.05.2015).
13. Programma klasterizacii i shkalirovaniya nechetkix danny'x: svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy' dlya E'VM № 2015612445 Rossijskaya Federaciya / Yu.B. Savva; zayavitel' i pravoobladatel' FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK» (RU). – № 2014663471; zayavl. 23.12.2014; zaregistrirovano v reestre programm dlya E'VM 18.02.2015. – 1 s.

УДК 004.052.42

Н.И. КОРСУНОВ, А.А. НАЧЕТОВ

**МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ОШИБОК
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОПЕРАЦИЙ СДВИГОВ
В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ**

В статье представлен метод обнаружения ошибок, упрощающий контроль выполнения сдвигов двоичных чисел, основанный на сравнении результатов сдвига с эталоном. Метод позволяет не только обнаруживать ошибки при выполнении операций сдвигов, но и скорректировать их.

Ключевые слова: коррекция ошибок; обнаружение ошибок; контроль вычислительных устройств; групповые коды; модифицированный сдвиг; циклический сдвиг.

Контроль результатов преобразования информации и коррекция ошибок играют важную роль в применении средств вычислительной техники. Методы контроля вычислительной техники подразделяются на тестовые и функциональные [1]. Если тестовые методы находят широкое применение в контроле выполнения преобразования информации с использованием нескольких операций в преобразовании, то для контроля бинарных и унарных операций, как правило, используются функциональные методы контроля [2]. Среди функциональных методов контроля результатов операции эффективно использование арифметических кодов [3], когда наряду с операцией над двоичными кодами выполняется та же операция с остатками этих кодов по выбираемому модулю и сравниваются результаты выполнения этих операций по тому же модулю. При ограниченной длине разрядной сетки представления двоичных чисел применяют цифровой метод контроля, образуя контрольные коды суммированием групп из определенного модулем контроля двоичных разрядов. И если при выполнении арифметического и логического суммирования сравнением по модулю результатов операции над информационными разрядами справедливо, то при контроле результатов операции сдвигов, при сравнении необходимо вводить поправки, которые зависят от выбранного модуля контроля и характера сдвига – циклического, логического, арифметического – и его направления [3]. Эта зависимость обуславливает существенный недостаток реализации контроля выполнения сдвига – введение таблиц поправок.

Целью исследований, приводимых в данной статье, является обнаружение и коррекция ошибок при сдвигах двоичных чисел. Предлагаемый метод контроля результата сдвигов двоичных чисел основан на сравнении результатов сдвига с эталоном. Формирование эталона основано на методе приведения результата к исходным данным по аналогии с коррекцией результатов логических и арифметических преобразований, приведенных в [4].

В случае простого сдвига двоичного кода A на один разряд влево эталонный код:

$$R = A + A, \quad (1)$$

и ошибка сдвинутого кода $A' = 2A$ определяется как

$$\varepsilon = A' \oplus R, \quad (2)$$

и, если R не искажен ошибкой, то скорректированный результат сдвинутого кода представляется в виде:

$$A'_{кор} = A' \oplus \varepsilon. \quad (3)$$

В данном случае используются операции арифметического сложения (+) и сложения по модулю два (\oplus).

При обнаружении и коррекции ошибок простого сдвига влево, модифицированного и циклического сдвигов возникают сложности в формировании эталонных кодов.

Операции сдвига представим передачей сообщения из n разрядов регистра 1, число разрядов которого равно $n+1$. При этом в зависимости от направления сдвига n -разрядный код регистра 1 пересылается в старшие или младшие разряды регистра 2. Тогда искажение информации в регистре 2 можно представить передачей данных по каналу связи при воздействии помех и применить для коррекции ошибок методы помехоустойчивого кодирования, например, линейные циклические групповые коды.

Использование соотношений (1, 2) для обнаружения и коррекции ошибок сдвига позволяет найти двоичный код ошибки:

$$\varepsilon = BA \oplus (A + A), \quad (4)$$

где $B = 2^i$; $i = (1, -1)$ определяет простой сдвиг влево или вправо на 1 разряд и корректирует первое слагаемое в соответствии с выражением:

$$A_1 = BA \oplus \varepsilon, \quad (5)$$

если слагаемое в скобках выражения (4) не содержит ошибки.

Однако этот подход не пригоден для обнаружения и коррекции ошибок модифицированного и циклического сдвигов. Предложенный метод позволяет обнаруживать ошибки сдвигов при искажениях разрядов кода, находящихся в состоянии нуля K_0 и состоянии единица K_1 только при условии

$$K_0 \neq K_1, \quad (6)$$

так как при его нарушении не изменяется количество единиц в коде с ошибкой относительно их количества в коде без ошибки.

Для преодоления этого ограничения предлагается при обнаружении и коррекции ошибок при сдвигах двоичных кодов воспользоваться линейным циклическим групповым кодом. Использование линейных циклических групповых кодов для обнаружения и коррекции ошибок при передаче данных основано на введении порождающей и проверочной матриц, в первой из которых единичная матрица E расширяется матрицей R с количеством строк равных матрице E , а количество столбцов, также, как и значения элементов r_{ij} , определяется кратно t корректируемой ошибки двоичного кода $A = a_1 a_2 \dots a_s$ в зависимости от расстояния (веса) по Хэммингу:

$$d_{\min} \geq 2t + 1. \quad (7)$$

При $S = 2^l$ предлагается код A представить клеточной матрицей $A_1 A_2 \dots A_k$, где A_i – строка длиной 2^2 и $S = k \cdot 2^2$. Это позволяет для каждой тетрады кода A использовать единичную матрицу ранга 4 и одно и тоже расширение в каждой тетраде. При $t = 1$ вес Хэмминга кода корректирующей ошибки $\omega \geq 3$, что приводит к порождающей матрице:

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} = |ER|, \quad (8)$$

для которой проверочная матрица:

$$H = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (9)$$

Для этого случая код $A = A_1 A_2 \dots A_k$ представляется кодом с обнаружением и коррекцией ошибок расширенным кодом

$$A^1 = A_1 \gamma_1 A_2 \gamma_2 \dots A_k \gamma_k, \quad (10)$$

в котором избыточный код

$$\gamma_i = \gamma_{i1} \gamma_{i2} \gamma_{i3}. \quad (11)$$

Компоненты двоичного вектора γ_i определяются через компоненты a_{ij} двоичного кода A_i , где $i = \overline{1, k}$, $j = \overline{1, 3}$.

$$\begin{aligned} \gamma_{i1} &= a_{i2} \oplus a_{i3} \oplus a_{i4} \\ \gamma_{i2} &= a_{i1} \oplus a_{i3} \oplus a_{i4} \\ \gamma_{i3} &= a_{i1} \oplus a_{i2} \oplus a_{i4}, \end{aligned} \quad (12)$$

где a_{ij} – двоичная переменная; \oplus – сумма по модулю 2.

Умножение кода (10) на проверочную матрицу H (9) позволяет получить синдром ошибки

$$\delta_i = \delta_{i1} \delta_{i2} \delta_{i3} = (a_{i2} \oplus a_{i3} \oplus a_{i4} \oplus \gamma_{i1}, a_{i1} \oplus a_{i3} \oplus a_{i4} \oplus \gamma_{i2}, a_{i1} \oplus a_{i2} \oplus a_{i4} \oplus \gamma_{i3}). \quad (13)$$

При $\delta_i = 0$ ошибки нет.

Так как определяется ошибка сдвига кода A , то существуют ошибки только в разрядах этого кода, а ошибки в избыточных разрядах $\gamma_{ij} = 0$.

Вектор ошибок в двоичной тетраде определяется проверочной матрицей и представляется логическими выражениями

$$\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4) = (\overline{\delta_{i1}} \& \delta_{i2} \& \delta_{i3}, \delta_{i1} \& \overline{\delta_{i2}} \& \delta_{i3}, \delta_{i1} \& \delta_{i2} \& \overline{\delta_{i3}}, \overline{\delta_{i1}} \& \overline{\delta_{i2}} \& \delta_{i3}). \quad (14)$$

Каждая компонента вектора (14) со значением 1 соответствует ошибке в j -ом разряде A_i .

Из ранее приведенного метода контроля сдвигов сравнением количества единиц в исходном коде вытекает необходимость введения дополнительного двоичного разряда-флажка фиксации значения двоичного разряда, выходящего за пределы разрядной сетки. С учетом этого флажка рассмотрим формирование двоичных векторов δ_i и ε_i при кратности ошибки в тетраде $t=1$ при выполнении двоичных сдвигов: простых, циклических, модифицированных. Введение флажка F позволяет обнаруживать и корректировать ошибки кратности единица в каждой из тетрад сдвинутого кода. Флажок F служит для расширения сдвинутого кода на один разряд по направлению сдвига. При сдвигах вправо сдвинутый код формируется пересылкой n разрядов кода A в $n+1$ разряд кода A', так что код

$$A' = \beta A. \quad (15)$$

Здесь β (содержимое первого разряда кода) определяется типом сдвига, код A пересылается в разряды $\overline{2, n+1}$ кода A' и при этом $n+1$ -й разряд соответствует флажку F.

При любых сдвигах вправо на $n+1$ -й разряд кода A' принимает значение n -го разряда кода A, а первый разряд кода A' принимает значение $\beta = (0, a_1, a_n)$, что соответствует простому, модифицированному и циклическому сдвигу вправо.

Для обнаружения и коррекции ошибок сдвига для каждой i -той тетрады кода A в соответствии с (12) вычисляются значения контрольных разрядов. Для каждой из тетрад сдвинутого кода в разрядах $\overline{2, n+1}$ в соответствии с (13) вычисляется вектор δ при значениях γ_{ij} определенных для кода A.

В соответствии с (14) формируется для каждой i -той тетрады A' вектор ошибки ε_i , $i = \overline{1, l}$ в виде

$$\varepsilon_i = (\varepsilon_{i1}, \varepsilon_{i2}, \varepsilon_{i3}, \varepsilon_{i4}), \quad (16)$$

где $\varepsilon_{i1} = \overline{\delta_{i1}} \delta_{i2} \delta_{i3}$, $\varepsilon_{i2} = \delta_{i1} \overline{\delta_{i2}} \delta_{i3}$, $\varepsilon_{i3} = \delta_{i1} \delta_{i2} \overline{\delta_{i3}}$, $\varepsilon_{i4} = \delta_{i1} \delta_{i2} \delta_{i3}$.

Если $\varepsilon_i \neq 0$, то содержимое i -той тетрады корректируется сложением по модулю два:

$$A' = A' \oplus 0A, \quad (17)$$

$$a'_{corr} = a'_1 \oplus a'_1. \quad (18)$$

Соотношение (18) приводит к значению $a'_1 \equiv 0$ при возникновении ошибки $\varepsilon_1 = a'_1 = 1$, а соотношение (17) выполняется для разрядов $\overline{2, n+1}$ кода A'.

При модифицированном сдвиге вправо выполняются операции преобразования кода A в код A' с округлением векторов γ_0 , δ_{ij} , ε_{ij} в соответствии с (12), (13), (14), (15), (16), (17). Для коррекции ошибки в первом разряде кода A' используется

$$a'_{1corr} = a'_1 \oplus (a'_1 \oplus a'_2). \quad (19)$$

Так как в этом случае значения первого и второго разрядов кода A' совпадают и ошибка сдвига в первом разряде кода A'

$$\varepsilon_1 = a'_1 \oplus a'_2. \quad (20)$$

Определению ε_1 в соответствии с (20) должна предшествовать коррекция ошибки в первой тетраде кода A' в разрядах $\overline{2, 5}$.

При циклическом сдвиге на 1 разряд вправо кода А, код в разрядах $\overline{2, n+1}$ кода А' не отличается от кода простого сдвига и его коррекция осуществляется как и при простом сдвиге в соответствии с (12), (13), (14), (15), (16).

Коррекция ошибки в первом разряде кода А' выполняется в соответствии с

$$a'_{1corr} = a'_1 \oplus (a'_1 \oplus a'_{n+1}), \quad (21)$$

так как в этом случае значения первого и n+1-го разрядов кода А' равны и ошибка определяется по формуле:

$$\varepsilon_1 = a'_1 \oplus a'_{n+1}. \quad (22)$$

Определение ошибки ε_1 (22) должно выполняться после коррекции ошибки в последней тетраде кода А'. При сдвиге влево сдвинутый код формируется пересылкой n разрядов кода А в n+1 разряд кода А', так что код

$$A^2 = A\beta. \quad (23)$$

Здесь β – содержимое n+1 разряда кода А', определяется типом сдвига. Код А пересылается в разряды $\overline{n, 1}$ кода А', при этом первый разряд соответствует флажку F. Любой сдвиг влево приводит к коду A^2 , в разрядах $\overline{n, 1}$ которого содержится код А. При этом первый разряд является разрядом F и содержит значение a_i первого разряда кода А, а n+1-й разряд кода A^2 содержит значение $\beta = (0, 1, a_i)$. Следовательно, в разрядах $\overline{F, n-1}$ содержатся значения соответствующих тетрад кода А и в них обнаружение и коррекция ошибок в каждой тетраде осуществляется преобразованием γ_{ij} кода А в соответствии с (12).

В соответствии с (13) и (14) для каждой тетрады формируется вектор ε_i (16) и корректируется код A^2 в разрядах $\overline{1, n-1}$ в соответствии с (17).

$$A^2_{corr} = A^2 \oplus \varepsilon. \quad (24)$$

При простом сдвиге влево с записью 0 в n-й разряд коррекция ошибки выполняется в соответствии с (18)

$$a^2_{n_corr} = a_n^2 \oplus a_n^2. \quad (25)$$

При сдвиге чисел в обратном или дополнительном коде коррекция в n-ом разряде определяется

$$a_n^2 = a_n^2 \oplus (a_n^2 \oplus 1), \quad (26)$$

что определяется ошибкой, определяемой $a_n^2 = 0$.

При циклическом сдвиге на один разряд влево коррекция ошибки в n-том разряде определяется аналогично (21) в соответствии с выражением

$$a^2_{n_corr} = a_n^2 \oplus (a_1^2 \oplus a_n^2) \quad (27)$$

и перед выполнением коррекции (27) должна быть скорректирована ошибка в первой тетраде A_1^2 .

Коррекция ошибки в коде А осуществляется суммированием по модулю 2 двоичного кода А' с кодом ε в соответствии с выражением

$$A_{shift} = A' \oplus \varepsilon, \quad (28)$$

где $\varepsilon = \varepsilon_1 \varepsilon_{12} \varepsilon_{13} \varepsilon_{14} \varepsilon_{22} \varepsilon_{23} \varepsilon_{24} \varepsilon_{25} \cdots \varepsilon_{k2} \varepsilon_{k3} \varepsilon_{k4} \varepsilon_F$.

Компоненты векторов γ , δ , ε могут формироваться последовательно или параллельно в каждой тетраде и независимо от каждой тетрады.

Модифицированный сдвиг вправо на один разряд n -разрядного двоичного кода A приводит к сдвинутому коду $A^2 = a_1 A_1 A_2 \cdots A$ содержащего в разрядах 2, 3, 4, 5 тетраду A_1 кода A . В тетрадах $i = \overline{2, k}$ содержится четвертый разряд $i-1$ тетрады и первые три разряда кода A .

Коррекция ошибки $a_1 \oplus a_2$ в первом разряде a_1 и последнем разряде a_n осуществляется сравнением второго разряда сдвинутого кода и значения F , равного $F = a_n + 1$ разряду в соответствии с

$$\begin{aligned} a'_1 &= a'_2 - \text{ошибки нет} \\ a'_1 &\neq a'_2 - \text{ошибка есть} \\ a'_{1corr} &= a'_1 \oplus (a'_1 \oplus a'_2); \end{aligned} \quad (29)$$

$$a_{n+1} = a_1; \quad (30)$$

$$a'_{corr} = a'_1 \oplus (a'_1 \oplus a'_{n+1}). \quad (31)$$

Таким образом, предложенный метод обнаружения ошибок значительно упрощает контроль выполнения сдвигов двоичных чисел. Также метод позволяет не только обнаруживать ошибки при выполнении операций сдвигов, но и скорректировать их.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко В.Т. Техническая диагностика электронных средств. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2012. – 157 с.
2. Смирнов В.И. Методы и средства функциональной диагностики и контроля технологических процессов на основе электромагнитных датчиков. – Ульяновск: УлГТУ, 2001. – 190 с.
3. Луцк Ю.А., Лукьянова И.В. Арифметические и логические основы вычислительной техники: учебное пособие для студентов специальности «Вычислительные машины, системы и сети» всех форм обучения. – Мн.: БГУИР, 2004. – 121 с.
4. Корсунов Н.И., Начетов А.А., Логачев К.И. Повышение точности умножения чисел арифметическими устройствами // Вопросы радиоэлектроники. – М.: Центральный научно-исследовательский институт «Электроника», 2013. – Т. 4. – № 1. – С. 87-92.

Корсунов Николай Иванович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Доктор технических наук, профессор кафедры математического и программного обеспечения информационных систем
E-mail: korsunov@intbel.ru

Начетов Александр Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Аспирант кафедры математического и программного обеспечения информационных систем
E-mail: aleksandr@nachetov.org.ua

N.I. KORSUNOV (*Doctor of Engineering Sciences,*
Professor of the Department of Mathematics and Software Information Systems)

A.A. NACHETOV (*Post-graduate Student of the Department of Mathematics
and Software Information Systems*)
National Research University Belgorod State University, Belgorod

**ERROR DETECTION METHODS OF PERFORMING A SHIFT OPERATION
ON THE COMPUTING DEVICE**

The paper presents a method for detecting errors, simplifies the control of performance shifts binary numbers, based on a comparison of the results with the standard shift. The method can not only detect errors when performing translations, but also to correct them.

Keywords: *error correction; error detection; control of computing devices; group codes; the modified shift; the cyclic shift.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Eremenko V.T. *Texnicheskaya diagnostika e'lektronny'x sredstv.* – Orel: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK», 2012. – 157 s.
2. Smirnov V.I. *Metody' i sredstva funkcional'noj diagnostiki i kontrolya texnologicheskix processov na osnove e'lektromagnitny'x datchikov.* – Ul'yanovsk: UIGTU, 2001. – 190 s.
3. Lucik Yu.A., Luk'yanova I.V. *Arifmeticheskie i logicheskie osnovy' vy'chislitel'noj texniki: uchebnoe posobie dlya studentov special'nosti «Vy'chislitel'ny'e mashiny', sistemy' i seti» vsex form obucheniya.* – Mn.: BGUIR, 2004. – 121 s.
4. Korsunov N.I., Nachetov A.A., Logachev K.I. *Povy'shenie tochnosti umnozheniya chisel arifmeticheskimi ustrojstvami // Voprosy' radioe'lektroniki.* – M.: Central'ny'j nauchno-issledovatel'skij institut «E'lektronika», 2013. – T. 4. – № 1. – S. 87-92.

УДК 621.391.31

Н.А. ОРЕШИН, С.Н. ЛАЗАРЕВ,
В.С. ШУМИЛИН, Е.А. ТАРШИНАЕВ**ОДНОПРОДУКТОВАЯ МНОГОПОЛЮСНАЯ ПОТОКОВАЯ МОДЕЛЬ
ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ**

В статье рассматриваются математические аспекты оценки пропускной способности групп направлений транспортной сети на основе использования однопродуктовой многополюсной потоковой модели.

Ключевые слова: пропускная способность; потоковая модель; транспортная сеть.

Повышение эффективности использования транспортной сети связано с решением сложных экстремальных задач анализа и синтеза. Однако в силу их значительной теоретической и вычислительной сложности вопросы создания программно-алгоритмического обеспечения для решения этих задач в настоящее время не являются окончательно проработанными. В статье проведен обзор известных методов решения проблемы оценки пропускной способности транспортной сети, оптимального распределения групп направлений, а также найден путь уменьшения размерностей задач распределения каналов и трактов на основе однопродуктовой многополюсной потоковой модели, представленной на рисунке 1.

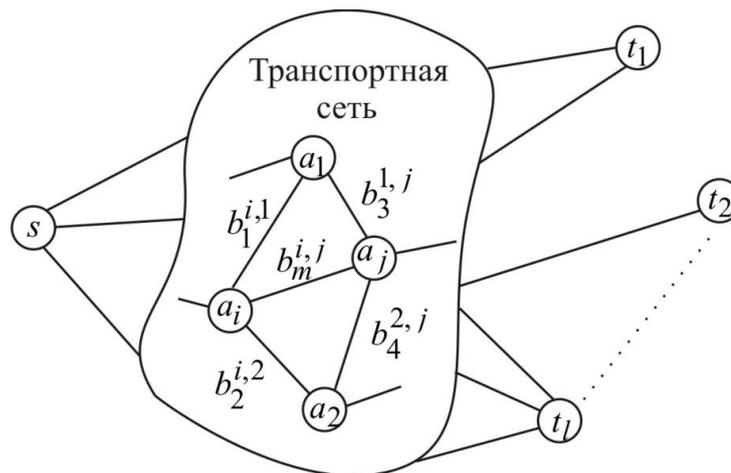


Рисунок 1 – Однопродуктовая многополюсная модель транспортной сети

Для решения задачи оценки пропускной способности групп направлений транспортной сети ее целесообразно представлять в виде следующей однопродуктовой многополюсной потоковой модели:

$$G = (A, B, s, T, C, W, V, f^{s,T}(\chi)),$$

где $A = \{a_n / n = \overline{1, N}\}$ – множество вершин (узлов) модели; N – количество вершин (узлов) модели;

$B = \{b_m^{i,j} / m = \overline{1, M}; i, j = \overline{1, N}\}$ – множество ветвей модели; M – количество ветвей

модели; s – исток модели; $T = \{t_l \mid l = \overline{1, L}\}$ – множество стоков модели, причем $L < N$; L – количество стоков модели; $W = \{w_d^{s, t_l} \mid d = \overline{1, D}; l = \overline{1, L}\}$ – множество корреспондирующих пар модели (направлений); D – количество корреспондирующих пар модели; $w_d^{s, t_l} = \{s, t_l\}$ – d -ая корреспондирующая пара узлов; $C = \{c_m^{i, j} \mid m = \overline{1, M}; i, j = \overline{1, N}\}$ – множество пропускных способностей ребер $b_m^{i, j} \in B$, соединяющих вершину a_i с вершиной a_j ; $V = \{v_d^{s, l} \mid d = \overline{1, D}; l = \overline{1, L}\}$ – множество требований в каналах $v_d^{s, l}$ d -го направления связи, образованного между истоком s и стоком t_l ; $\Pi^{s, T} = \{\pi_p^{s, t_l} \mid p = \overline{1, P}\}$ – множество путей, организуемых в потоковой модели; P – мощность множества путей; $f^{s, T}(\chi)$ – однопродуктовый многополюсный поток, являющейся целочисленной функцией от структурно-метрического разложения $\chi(A, B, C, s, T, V, W)$, удовлетворяющей следующим условиям:

1. Однопродуктовый многополюсный поток, протекающий по p -тому пути $\pi_p^{s, t_l} \in \Pi^{s, T}$, не превышает минимальной пропускной способностью ветви $b_m^{i, j}$, входящей в этот путь:

$$\forall \pi_p^{s, t_l} \in \Pi^{s, T};$$

$$f^{\pi_p^{s, t_l}} \leq \min [c_m^{i, j} \in C / b_m^{i, j} \in \pi_p^{s, t_l}]. \quad (1)$$

2. Направление протекания потока в $b_m^{i, j}$ ветви по пути π_p^{s, t_l} удовлетворяет следующим соотношениям:

$$\forall b_m^{i, j} \in \pi_p^{s, t_l};$$

$$f^{b_m^{i, j}} = y_p^{i, j} \cdot f^{\pi_p^{s, t_l}}; \quad (2)$$

$$y_p^{i, j} = \begin{cases} 1, & \text{если } \bar{b}_m^{i, j} \in \pi_p^{s, t_l}; \\ 0, & \text{если } \bar{b}_m^{i, j} \notin \pi_p^{s, t_l}; \\ -1, & \text{если } \bar{b}_m^{j, i} \in \pi_p^{s, t_l}. \end{cases} \quad (3)$$

3. Величина однопродуктового многополюсного потока f^{w_d} в направлении w_d равна сумме величин потоков $f^{\pi_p^{s, t_l}}$ по всем путям π_p^{s, t_l} , организуемым в интересах данного

направления:

$$f^{w_d} = \sum_{\pi_p^{s,t_l} \in \Pi^d} f^{\pi_p^{s,t_l}}, \quad (4)$$

где Π^d – множество путей, организуемых в интересах d -ого направления.

4. Величина однопродуктового многополюсного потока $f^{s,T}(\chi)$ равна сумме величин потоков f^{w_d} по всем направлениям w_d :

$$f^{s,T}(\chi) = \sum_{d=1}^D f^{w_d}. \quad (5)$$

5. Величина однопродуктового многополюсного потока $f^{s,T}(\chi)$ равна сумме величин потоков $f^{\pi_p^{s,t_l}}$ по всем путям $\Pi^{s,T} = \left\{ \pi_p^{s,t_l} \mid p = \overline{1, P} \right\}$, организуемых в потоковой модели:

$$f^{s,T}(\chi) = \sum_{p=1}^P f^{\pi_p^{s,t_l}}. \quad (6)$$

6. Величина однопродуктового многополюсного потока $f^{b_m^{i,j}}$ в ветви $b_m^{i,j}$ равна сумме величин потоков $f^{b_m^{i,j}}$ по всем путям, включающим в себя эту ветвь:

$$\begin{aligned} \forall b_m^{i,j} \in B; \\ f^{b_m^{i,j}} = \sum_{\pi_p^{s,t} \in \Pi^{i,j}} f^{\pi_p^{s,t}}, \end{aligned} \quad (7)$$

где $\Pi^{i,j}$ – множество путей, содержащих ребро $b_m^{i,j}$.

7. Величина однопродуктового многополюсного потока в ветви не превышает величины пропускной способности этой ветви:

$$\begin{aligned} \forall b_m^{i,j} \in B; \\ f^{b_m^{i,j}} \leq c_m^{i,j}. \end{aligned} \quad (8)$$

ВЫВОД

Таким образом, данная однопродуктовая многополюсная потоковая модель транспортной сети обладает следующими достоинствами:

- сравнительная простота моделирования;
- разработанность математического аппарата для ее исследования;
- снижение размерности решения задач оценки пропускной способности направлений, а также задач оптимального распределения групп направлений транспортной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко В.Т. Основы построения информационно-телекоммуникационных систем. – Орел: ОрЮОИ МВД России, 1999. – Ч. 2. – 129 с.
2. Еременко В.Т. и др. Теория информации и информационных процессов: монография / В.Т. Еременко, И.С. Константинов, А.В. Коськин, В.А. Лобанова и др.; под ред. д.т.н. В.Т. Еременко, д.т.н. А.П. Фисуна. – Орел: ОГУ, ОрелГТУ, 2008. – 478 с.
3. Филлипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей; пер. с англ. под ред. Б.Г. Сушкова. – М.: Мир, 1984. – 496 с.
4. Форд А., Фалкерсон Д. Потоки в сетях; пер. с англ. Вайнштейна И.А. – М.: Мир, 1966. – 276 с.
5. Берж К. Теория графов и ее применение; пер. с англ. – М.: Иностранная литература, 1962. – 320 с.
6. Басакер Р., Саати Т. Конечные графы и сети; пер. с англ. под ред. Теймана А.И. – М.: Наука, 1973. – 368 с.
7. Фрэнк Г., Фриш И. Сеть связи и потоки; под ред. Поспелова. – М.: Связь, 1978. – 448 с.

Орешин Николай Алексеевич

Академия ФСО России, г. Орел
Кандидат технических наук, профессор
Тел.: 8 (4862) 54-96-91

Лазарев Сергей Николаевич

Академия ФСО России, г. Орел
Сотрудник
Тел.: 8 (4862) 54-98-23

Шумилин Вячеслав Сергеевич

Академия ФСО России, г. Орел
Сотрудник
Тел.: 8 (4862) 54-96-91

Таршинаев Евгений Александрович

Академия ФСО России, г. Орел
Сотрудник

N.A. OREShIN (*Candidate of Engineering Sciences, Professor*)

N.S. LAZAREV (*Employee*)

V.S. ShUMILIN (*Employee*)

E.A. TARShINAEV (*Employee*)

Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel

SINGLE-PRODUCT MULTI-POLE STREAMING MODEL OF THE TRANSPORT NETWORK

The article deals with the mathematical aspects of assessing the capacity of groups of areas of the transport network, based on the use of single-product multi-pole streaming model.

Keywords: *bandwidth; streaming model; transport network.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Eremenko V.T. Osnovy' postroeniya informacionno-telekommunikacionny'x sistem. – Orel: OrYuI MVD Rossii, 1999. – Ch. 2. – 129 s.
2. Eremenko V.T. i dr. Teoriya informacii i informacionny'x processov: monografiya / V.T. Eremenko, I.S. Konstantinov, A.V. Kos'kin, V.A. Lobanova i dr.; pod red. d.t.n. V.T. Eremenko, d.t.n. A.P. Fisuna. – Orel: OGU, OrelGTU, 2008. – 478 s.
3. Fillips D., Garsia-Dias A. Metody' analiza setej; per. s angl. pod red. B.G. Sushkova. – M.: Mir, 1984. – 496 s.
4. Ford A., Falkerson D. Potoki v setyax; per. s angl. Vajnshtejna I.A. – M.: Mir, 1966. – 276 s.
5. Berzh K. Teoriya grafov i ee primeneniye; per. s angl. – M.: Inostrannaya literatura, 1962. – 320 s.
6. Basaker R., Saati T. Konechny'e grafy' i seti; per. s angl. pod red. Tejmana A.I. – M.: Nauka, 1973. – 368 s.
7. Fre'nk G., Frish I. Set' svyazi i potoki; pod red. Pospelova. – M.: Svyaz', 1978. – 448 s.

УДК 621.391.1 (088.8)

Ю.Б. ИВАНОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ ИМПУЛЬСОВ ПО НЕСОГЛАСОВАННОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ И ПИТАНИЯ ДАТЧИКОВ

Упрощение структуры и снижение энергопотребления систем распределенного контроля достигается при одновременной передаче информационных импульсов и напряжения питания на датчики по двухпроводной линии связи. Применение схемотехнического моделирования позволяет оценить предельную частоту передачи широтно-модулированных импульсов на микромощные интеллектуальные датчики по длинной линии связи при использовании источника сигнала с нелинейным выходным сопротивлением.

Ключевые слова: *двухпроводная линия связи; схемотехническая модель; микромощные датчики.*

Повышение качества выпускаемой продукции в условиях современного производства достигается при использовании для оперативного контроля технологических параметров различных датчиков, которые размещаются на значительных расстояниях от центрального блока обработки данных. Передача информации по линиям связи от нескольких датчиков необходима также в системах охранной и пожарной сигнализации, при мониторинге воздушной среды на химических производствах и при автоматическом контроле параметров микроклимата (влажности, температуры и освещенности) в современных теплицах [1, 2]. При создании систем распределенного контроля необходима прокладка кабельных линий связи с территориально распределенными датчиками, что приводит к значительным экономическим затратам и снижает экономическую эффективность внедрения таких систем.

Упрощение структуры кабельного хозяйства и минимизация затрат на технические средства и монтажные работы в системах распределенного контроля и управления достигается за счет использования двухпроводной линии связи для одновременной подачи напряжения питания на датчики и передачи информации от центрального блока обработки данных.

В зарубежных системах автоматизированного контроля и управления одновременная передача данных и электропитания на датчики по неэкранированному кабелю в минимальной полосе рабочих частот реализуется за счет применения AS-интерфейса (Actuators/Sensors interface), основанного на альтернативном методе модуляции сигналов [3].

Типовая система распределенного контроля с AS-интерфейсом содержит одно ведущее устройство, к которому по двухпроводной линии связи с максимальной длиной до 100 м можно подключать до 30 датчиков. Последовательный опрос датчиков в такой системе выполняется с максимальной частотой около 200 Гц, причем время передачи каждого бита составляет 6 мкс, а скорость передачи данных по линии связи достигает 53 Кбит/с.

Передача данных в системах с AS-интерфейсом выполняется изменением тока, который преобразуется в импульсы напряжения посредством дифференцирования на RL -элементах, установленных на выходах источника питания и состоящих из двух сопротивлений по 39 Ом с катушками индуктивности по 50 мкГн. Для детектирования импульсов напряжения и их преобразования в информационные биты каждый датчик снабжается специализированным модулем AS-интерфейса [3].

Аналогичное дифференцирование перепадов тока на RL -элементах для получения импульсов напряжения выполняется также при двунаправленной передаче информации по одножильному кабелю в телеметрических системах, применяемых при бурении и исследовании скважин в нефтяной и газовой промышленности [4].

Максимальная длина кабеля связи в системах контроля с AS -интерфейсом ограничивается не только допустимым падением напряжения на сопротивлениях проводов, но и реактивными параметрами – удельной (погонной) емкостью $C_{уд}$ и индуктивностью $L_{уд}$ линии связи. Увеличение длины $l_{лс}$ линии связи повышает ее общую емкость $C_{лс} = C_{уд} \cdot l_{лс}$ и индуктивность $L_{лс} = L_{уд} \cdot l_{лс}$, что приводит к понижению максимальной скорости передачи данных [5].

Применение микроощных интеллектуальных датчиков разного типа позволяет значительно увеличить длину линий связи в распределенных системах контроля. Такие датчики, кроме измерения исследуемых величин, реализуют функцию обмена информацией с центральным блоком обработки данных и могут работать как в непрерывном, так и в ждущем режимах, т.е. активизироваться по внешнему запросу только на время измерения или срабатывания. В паузах между опросом микроощные интеллектуальные датчики переключаются в спящий режим работы с понижением тока питания до 1-5 % от номинального значения [6].

В микроощных интеллектуальных датчиках используются интегральные компоненты с током потребления не более 100 мкА от однополярного источника напряжения питания $U_{пит} = (3...5)$ В, что упрощает согласование уровней аналоговых и цифровых сигналов [7].

Сопротивление микроощных датчиков по цепям питания составляет десятки-сотни килоОм и значительно превышает сопротивление проводов линии связи длиной в несколько километров, составляющее нескольких сотен Ом. Это дает возможность обеспечивать обмен информацией между датчиками и блоком обработки данных без применения дополнительных усилителей сигналов в составе датчиков и центрального блока обработки данных.

В качестве сигналов, передаваемых по линии связи, целесообразно использовать широтно-модулированные (ШИМ)-импульсы с амплитудой, близкой к напряжению питания блока обработки данных. При передаче бита «Лог. 1» длительность ШИМ импульса составляет 75% от периода тактовой частоты, а бит «Лог. 0» передается импульсом длительностью 25% от периода. Применение ШИМ импульсов для одновременной передачи данных и получения напряжения питания датчиков по двухпроводной линии связи позволяет значительно сократить экономические затраты на внедрение распределенных систем контроля.

Обмен данными между центральным блоком обработки и микроощными датчиками с ШИМ-сигналами выполняется за два такта. В первом такте центральный блок обработки данных формирует последовательный код запроса с номером опрашиваемого датчика, а во втором такте от блока обработки подаются в линию связи ШИМ-импульсы максимальной длительности. При этом опрашиваемый датчик формирует ответный код: для бита «Лог. 0» замыкает линию связи выходным ключом с задержкой от фронта ШИМ-импульса на 25% его длительности, а при передаче бита «Лог. 1» длительность ШИМ-импульса не меняется.

В системах распределенного контроля с передачей ШИМ импульсов по линии связи для получения постоянного напряжения питания в датчиках используются выпрямители напряжения с накопительными конденсаторами, которые должны быстро заряжаться в начале

каждого ШИМ-импульса и запоминать его амплитуду в течение такта передачи одного бита. Применение микроощных датчиков позволяет уменьшить потери напряжения на активном сопротивлении проводов линии связи, однако скорость передачи импульсных сигналов ограничивается ее реактивными параметрами, влияющими на задержку фронтов импульсов.

Микроощные датчики имеют большие сопротивления по цепи питания, их применение эквивалентно подключению высокоомной нагрузки, поэтому при передаче сигналов по длинной линии связи кроме задержки импульсов появляется эффект отражения передаваемого сигнала от нагрузки [8]. Согласно теории, для устранения эффекта отражения необходимо устанавливать сопротивление нагрузки или выходное сопротивление генератора сигнала равными волновому сопротивлению длинной линии. Однако при выполнении таких условий амплитуда импульсов на входах датчиков становится в два раза меньше, чем на выходе генератора сигнала. Кроме того, в этом случае значительно возрастает амплитуда импульсов тока в линии связи при ее коммутации выходными ключами микроощных датчиков.

Для оценки зависимости времени задержки импульсов от длины кабеля связи принято использовать теорию передачи сигналов по длинным линиям, которую применяют для расчета радиотехнических цепей [8]. При этом отдельные участки искусственной линии представляют в виде однотипных звеньев, содержащих последовательно включенные индуктивность ΔL и сопротивление ΔR , учитывают емкость ΔC между проводами линии связи и пренебрегают влиянием высокого сопротивления изоляции между этими проводами.

Теоретический анализ процесса передачи импульсов по несогласованным длинным линиям является достаточно сложным и приводит к громоздкости математических выражений. Поэтому для оценки зависимости предельной частоты передачи ШИМ сигналов от длины линии связи можно использовать программу схемотехнического моделирования «*Multisim*» [9].

При выборе параметров модели установлено, что типовые значения удельной (погонной) емкости и индуктивности разных кабелей связи практически не зависят от их конструкции и составляют $C_{уд} \approx 50$ нФ/км и $L_{уд} \approx 300$ мкГн/км при волновом сопротивлении $\rho = \sqrt{L_{уд}/C_{уд}} \approx 245$ Ом. Сопротивление кабелей связи и витых пар зависит от диаметра медных жил и составляет $R_{уд} \approx (96...458)$ Ом/км при сопротивлении изоляции между проводами $R_{из} \approx (500...1000)$ МОм/км, которое можно не учитывать при передаче данных [5].

При моделировании процесса передачи импульсов линия связи длиной 2 км представлена в виде последовательного подключения 20 звеньев с типовыми значениями параметров $\Delta L_1 = \dots = \Delta L_{20} = 30$ мкГн, $\Delta C_1 = \dots = \Delta C_{20} = 5$ нФ, $\Delta R_1 = \dots = \Delta R_{20} = 30$ Ом и сопротивлением нагрузки $R_H = 20$ кОм. Для формирования входного сигнала применена модель генератора импульсов с амплитудой $U_{ГИ} = 5$ В, а для контроля входного и выходного напряжений – модель осциллографа, которым по падению напряжения на резисторе $R_{Ш} = 1$ Ом также контролируется амплитуда тока, протекающего по линии связи (рис. 1(а)).

Установлено, что при использовании генератора импульсов напряжения с амплитудой $U_M = 5$ В максимальное значение тока в линии связи составляет $I_{зар} \approx 20$ мА. При этом

время заряда (или разряда) эквивалентной емкости линии связи $C_{\text{ЛС}} = 100$ нФ составляет $t_{\text{зар}} \approx 57$ мкс при времени задержки $\Delta t_{\text{Н}} \approx 27$ мкс импульсов на нагрузке (рис.1 (б)).

Следовательно, максимальная частота передачи импульсов с широтной модуляцией в диапазоне от 25 до 75% периода тактовой частоты при использовании в модели генератора импульсов напряжения ограничивается временем заряда емкости линии связи на уровне

$$f_{\text{ШИМ}} \leq 1/4t_{\text{зар}}.$$

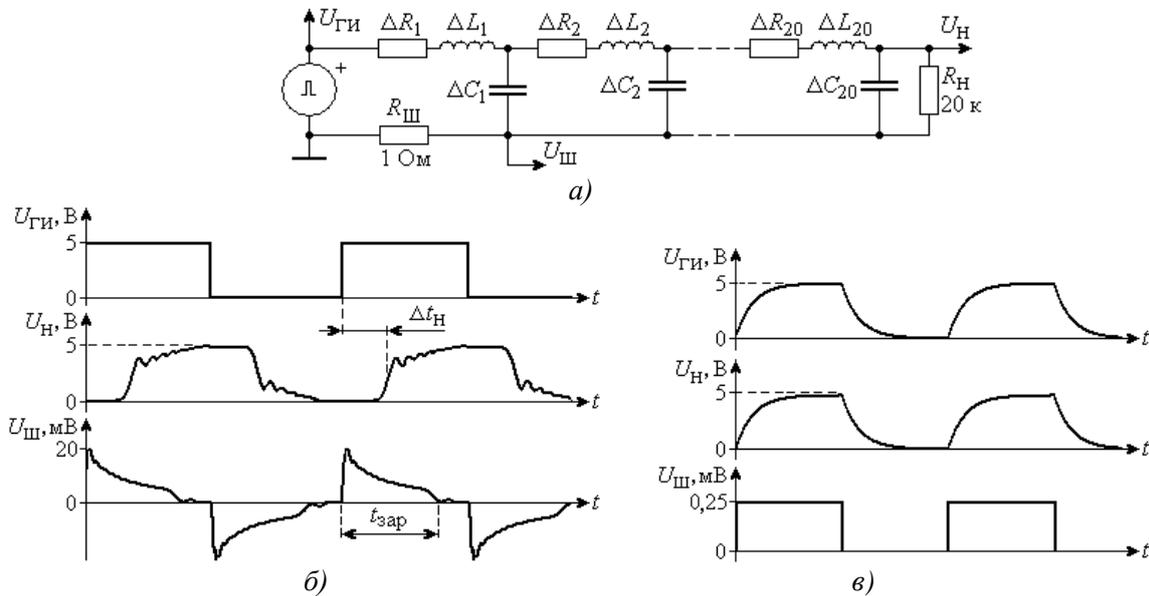


Рисунок 1 – Модель передачи импульсов на микромощный датчик по несогласованной линии связи: а) – схема модели; б) – временные диаграммы работы с генератором импульсов напряжения; в) – временные диаграммы работы с генератором импульсов тока

Например, при длине линии связи $l_{\text{ДЛ}} = 2$ км максимальная частота ШИМ сигнала не должна превышать значения $f_{\text{ШИМ}} \leq 4,3$ кГц.

Срабатывание датчика контроля моделируется посредством коммутации нагрузки электронным ключом. При коммутации нагрузки в схеме (рис.1 (а)) максимальное значение тока в линии связи длиной 2 км ограничивается сопротивлением проводов $R_{\text{ЛС}} = 600$ Ом и составляет $I_{\text{max}} = U_{\text{ги}}/R_{\text{ЛС}} \approx 8,3$ мА, а при близком размещении датчика на расстоянии $l_{\text{ЛС}} = 100$ м от центрального блока обработки данных этот ток возрастает до $I_{\text{max}} = 5/30 \approx 167$ мА.

Применением генератора тока с высоким выходным сопротивлением для формирования ШИМ-сигнала можно ограничить максимальный ток, протекающий по линии связи. В частности, подключение генератора импульсов тока с амплитудой $I_{\text{ги}} = 250$ мкА на входе модели (рис. 1(а)) позволяет получать импульсы напряжения с амплитудой $U_{\text{Н}} = 5$ В на сопротивлении нагрузки $R_{\text{Н}} = 20$ кОм. Однако при этом значительно увеличивается длительность фронтов импульсов на входе и на нагрузке линии связи из-за влияния постоянной времени заряда распределенной емкости $\tau \approx R_{\text{Н}}C_{\text{ЛС}}$, которая зависит от сопротивления нагрузки.

Например, при аналогичных параметрах схемы $R_H = 20$ кОм и $C_{лс} = 100$ нФ постоянная времени достигает значения $\tau \approx 2$ мс, а время нарастания напряжения на нагрузке до уровня $U_H = 0,95 U_{ГН} = 4,75$ В составляет $t_{зар} \geq 3\tau \approx 6$ мс. В этом случае при подаче импульсов тока в линию связи длиной $l_{лс} = 2$ км максимальная частота передачи ШИМ-сигнала не должна превышать значения $f_{шим} \leq 1/4t_{зар} \approx 25$ Гц.

Согласно временным диаграммам (рис. 1(в)), применение генератора импульсов тока приводит к значительному уменьшению предельной частоты и скорости передачи импульсов по длинной линии связи. При этом из-за большой длительности фронтов импульсов напряжения на входе линии связи задержка импульсов на нагрузке становится практически незаметной, а амплитуда импульсов тока в линии связи остается постоянной.

Для уменьшения длительности фронтов импульсов на нагрузке необходимо подавать в линию связи импульсы от источника напряжения с малым выходным сопротивлением, а для уменьшения тока, протекающего по линии связи при коммутации нагрузки, использовать генератор импульсов тока с высоким выходным сопротивлением. Такой режим работы при обмене информацией между микромощными датчиками и центральным блоком обработки данных в системе распределенного контроля можно реализовать с помощью управляемого генератора ШИМ-сигнала с нелинейным выходным сопротивлением. Уменьшением выходного сопротивления в начале каждого импульса можно обеспечить быстрый заряд распределенной емкости линии связи и конденсаторов в цепях питания датчиков, а повышение выходного сопротивления генератора на интервалах времени срабатывания выходных ключей датчиков дает возможность понизить амплитуду импульсов тока при коммутации линии связи.

При использовании ШИМ-сигналов для передачи данных время заряда конденсаторов в датчиках контроля и емкости линии связи не должно превышать 25% такта передачи каждого бита, после этого для стабилизации напряжения питания датчиков можно подавать в линию связи минимальный ток до конца импульса. С учетом этого для обмена информацией между центральным блоком обработки данных и микромощными датчиками в распределенных системах контроля ШИМ сигналами необходимо выполнение трех условий:

- 1) в начале каждого импульса обеспечить быстрый заряд распределенной емкости линии связи и конденсаторов в цепях питания датчиков;
- 2) после заряда этих емкостей стабилизировать амплитуду импульсов в линии связи на заданном напряжении питания (например, на уровне +5 В);
- 3) после стабилизации амплитуды напряжения увеличить выходное сопротивление генератора ШИМ-импульсов, чтобы ограничить импульсы тока в линии связи при ее коммутации выходными ключами опрашиваемых датчиков.

С учетом данных условий для формирования ШИМ-сигнала в распределенной системе контроля целесообразно использовать генератор тока с выходным сопротивлением, автоматически регулируемым в зависимости от уровня напряжения в линии связи. Такую регулировку может выполнять каскад на транзисторе с открытым коллектором, дифференциальное сопротивление которого зависит от тока коллектора I_K и потенциала Эрли, составляющего для маломощных транзисторов $U_{Эр} \approx 200$ В, и определяется формулой [10] $r_k \approx U_{Эр}/I_K$.

Например, при изменении выходного тока генератора импульсов от 20 до 0,25 мА сопротивление коллектора транзистора изменяется в диапазоне $r_k \approx (10 \dots 800)$ кОм.

Для согласования уровней сигналов с микромощными датчиками при автоматической регулировке амплитуды импульсов в линии связи необходимо в выходном каскаде центрального блока обработки данных использовать звено нелинейной отрицательной обратной связи по напряжению. Кроме того, для уменьшения тока в линии связи при срабатывании ключей в датчиках нужно ограничивать амплитуду выходного тока в конце каждого ШИМ-импульса.

Выполнение данных функций реализовано в схеме модели генератора ШИМ-сигнала с регулируемым выходным сопротивлением, содержащего генератор импульсов, делитель частоты на триггере $D1$ и логические элементы $D2, D3$ для получения импульсов разной длительности (рис. 2(а)). На транзисторах $VT1, VT3$ с резисторами $R_2 - R_5$ собран преобразователь напряжения в ток с высоким выходным сопротивлением. Транзистор $VT4$ является нелинейным звеном обратной связи и ограничивает ток. МОП транзисторы $VT2$ и $VT5$ применены соответственно для коммутации сопротивления R_4 в цепи эмиттера транзистора $VT1$ и нагрузки R_H . Конденсатор C_2 применен для подавления коммутационных выбросов и позволяет уменьшить высокочастотные колебания напряжения на нагрузке.

В этой схеме по фронту ШИМ-сигнала открывается транзистор $VT2$ и шунтирует резистор R_4 в первой четверти периода ШИМ-сигнала. При этом амплитуда тока коллектора транзистора $VT3$ возрастает до уровня $I_{к.маx} = 20$ мА и быстро заряжает емкость линии связи $C_{лс} = 100$ нФ. При повышении напряжения на линии связи до уровня $U_{лс} = U_{ги} = 5$ В открывается транзистор $VT4$ в цепи обратной связи и ограничивает ток в линии связи. После этого закрывается транзистор $VT2$ и понижает ток коллектора транзистора $VT3$ до значения $I_{к.мин} = 0,25$ мА, чтобы получить расчетное напряжение на нагрузке $U_H = 5$ В.

Моделирование сигнала срабатывания датчика на конце линии связи выполняется транзистором $VT5$, замыкающим сопротивление нагрузки R_H , что приводит к срабатыванию триггера Шмитта $D4$ и установке нулевого уровня на выходе элемента $D2$, которым закрываются оба транзистора $VT1, VT3$ и заканчивается протекание импульса тока в линии связи.

Установлено, что задержка импульса при передаче по линии связи на 2 км составляет $\Delta t_H \approx 34$ мкс при задержке сигнала от срабатывания ключа в датчике на время $\Delta t_{кл} \approx 35$ мкс и времени заряда емкости линии связи $\Delta t_{зар} = 73$ мкс (рис. 2(б)). Для получения на датчиках амплитуды импульсов, равной напряжению питания блока обработки данных, максимальную частоту передачи ШИМ сигнала нужно ограничивать на уровне $f_{шим} \leq 1/4t_{зар} \approx 3,4$ кГц.

На основании результатов моделирования можно сделать следующие практические рекомендации по разработке систем распределенного контроля с микромощными датчиками:

1) предельную частоту передачи ШИМ-сигнала следует выбирать, исходя из удельных значений реактивных параметров и длины линии связи (в км) по выражению

$$f_{шим} \leq 1/\sqrt{L_{лс}C_{лс}} = 1/l_{лс}\sqrt{L_{уд}C_{уд}}, \text{ МГц}; \quad (1)$$

2) максимальное значение тока в линии связи нужно задавать с учетом времени нелинейного заряда ее распределенной емкости за четверть периода ШИМ-сигнала по условию

$$I_{лс.маx} = (U_{ги} - U_{бэ}) / R_3 \geq 12C_{лс}U_{ги}f_{шим}; \quad (2)$$

3) для получения на нагрузке импульсов с амплитудой, равной напряжению генератора в центральном блоке обработки данных, минимальное значение тока в линии связи следует устанавливать с учетом эквивалентного сопротивления нагрузки по условию

$$I_{лс.мин} = U_{ги} / R_{н.экв}; \quad (3)$$

4) время задержки ШИМ-сигнала при его передаче на нагрузку по линии связи прямо пропорционально ее длине и приблизительно определяется выражением

$$\Delta t_{н} \approx 5l_{лс} \sqrt{L_{уд}C_{уд}}. \quad (4)$$

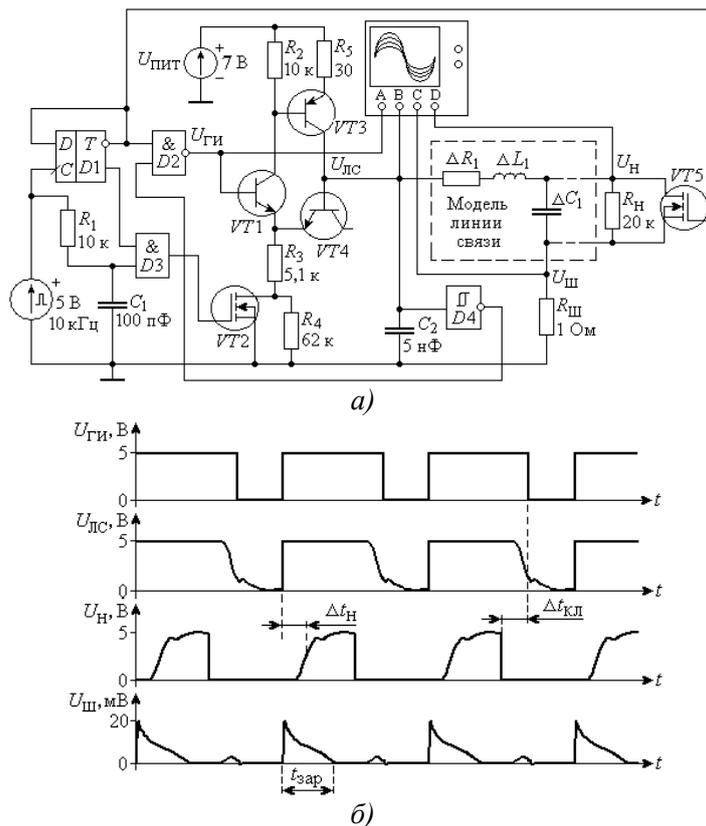


Рисунок 2 – Модель нелинейного устройства передачи и приема импульсов по линии связи:

а) – схема модели; б) – временные диаграммы работы

Применение формул (1-4) при расчете распределенных систем контроля позволяет формировать импульсы одинаковой амплитуды на выходе центрального блока обработки данных и на микромощных датчиках при передаче ШИМ-сигнала по совмещенной линии связи и питания. При этом можно исключить из схем датчиков предварительные усилители сигналов и формировать импульсы логическими элементами «Триггер Шмитта», обеспечивая снижение энергопотребления при расширении зоны распределенного контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайцев О., Троицкий Ю. Модули технологических датчиков для распределенных систем сбора информации // Компоненты и технологии, 2007. – № 1.
2. Савосин С.И., Солдатов В.В. Автоматизация контроля влажности зерна при его хранении // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина. – Агроинженерия, 2008. – Выпуск №3. – С. 28-30.
3. Половинкин В. Основные понятия и базовые компоненты AS-интерфейса // Современные технологии автоматизации, 2002. – № 4. – С. 18-29.
4. Патент РФ на изобретение № 2217591. МПК H04B3/54. Проводной канал телеметрической связи / А.И. Иванов, А.И. Любимцев, Д.А. Насыров, А.Р. Нургалиев. – Бюл. №22, 2003.
5. Справочные данные о кабелях связи ТПП и КСПП. Нормы на смонтированные линии связи [Электронный ресурс]. – URL: <http://izmer-ls.ru/tab1.html>.
6. Датчики и системы для автоматизации производственных процессов и логистики [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.elec.ru/files/2013/09/19/Intellektualnye-datchiki.pdf>.
7. Валиев К.А., Дягилев В.Н., Лебедев В.И. Микромощные интегральные схемы // Советское радио, 1975. – 256 с.
8. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи с распределенными параметрами. – М.: Высшая школа, 2000.
9. Хернитер М.Е. Multisim: Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств; пер. с англ. А.И. Осипова – М.: Издательство ДМК-пресс, 2006. – 448 с.
10. Волков М.А., Ефремов А.Д., Басов О.О. Схемотехника телекоммуникационных устройств. – Орел: Академия ФСО России, 2012. – 187 с.

Иванов Юрий Борисович

Академия ФСО России, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры

Тел.: 8 (4862) 49-88-21

E-mail: zhmur@yahoo.com

Yu.B. IVANOV (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department*)
Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel

**PROCESS MODELING OF TRANSMISSION IMPULSES ON
 COMMUNICATION AND POWER MISMATCHED LINE SENSORS**

Simplification of structure and reduction of power consumption of distributed control systems is achieved by simultaneous transmission of the information pulses and the voltage of the sensor via two-wire communication line. The use of circuit simulation allows you to rate limit the frequency of transmission width-modulated pulses at micro power smart sensors by long lines of communication when using a signal source with a nonlinear output resistance.

Keywords: *two-wire communication line; circuit model; micro-power sensors.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Zajcev O., Troickij Yu. Moduli texnologicheskix datchikov dlya raspredeleenny'x sistem sbora informacii // Komponenty i tehnologii, 2007. – № 1.
2. Savosin S.I., Soldatov V.V. Avtomatizaciya kontrolya vlazhnosti zerna pri ego xranenii // Vestnik FGOU VPO MGAU im. V.P. Goryachkina. – Agroinzheneriya, 2008. – Vy'pusk №3. – S. 28-30.

3. Polovinkin V. Osnovny'e ponyatiya i bazovy'e komponenty' AS-interfejsa // Sovremenny'e tekhnologii avtomatizacii, 2002. – № 4. – S. 18-29.
4. Patent RF na izobretenie № 2217591. MPK H04B3/54. Provodnoj kanal telemekhanicheskoy svyazi / A.I. Ivanov, A.I. Lyubimcev, D.A. Nasy'rov, A.R. Nurgaliev. – Byul. №22, 2003.
5. Spravochny'e danny'e o kabelyax svyazi TPP i KSPP. Normy' na smontirovanny'e linii svyazi [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://izmer-ls.ru/tab1.html>.
6. Datchiki i sistemy' dlya avtomatizacii proizvodstvenny'x processov i logistiki [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.elec.ru/files/2013/09/19/Intellektualnye-datchiki.pdf>.
7. Valiev K.A., Dyagilev V.N., Lebedev V.I. Mikromoshhny'e integral'ny'e sxemy' // Sovetskoe radio, 1975. – 256 s.
8. Baskakov S.I. Radiotexnicheskie cepi s raspredelenny'mi parametrami. – M.: Vy'sshaya shkola, 2000.
9. Xerniter M.E. Multisim: Sovremennaya sistema komp'yuternogo modelirovaniya i analiza sxem e'lektronny'x ustrojstv; per. s angl. A.I. Osipova – M.: Izdatel'stvo DMK-press, 2006. – 448 s.
10. Volkov M.A., Efremov A.D., Basov O.O. Sxematexnika telekommunikacionny'x ustrojstv. – Orel: Akademiya FSO Rossii, 2012. – 187 s.

**АСПЕКТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ
ОРТОГОНАЛЬНОГО КОДИРОВАНИЯ**

В статье рассматриваются вопросы формирования нового модифицированного множества ортогональных сигналов, математическими моделями которых является модифицированное множество кусочно-постоянных ортогональных функций Радемахера и Уолша. Приведена методика формирования множества ортогональных сигналов для передачи данных по каналам связи и обработки сложного составного многоуровневого суммарного сигнала, форма которого отображает состояние параллельного интерфейса вычислительного комплекса, и его обработку псевдокорреляционными устройствами приемника.

Ключевые слова: ортогональные функции Уолша и Радемахера; модификация ортогональных сигналов; суммирование по модулю два; псевдокорреляционная обработка суммарного ортогонального множества; устойчивость к несанкционированному распознаванию; уплотнение и разделение сигналов по форме.

Применение ортогональных кодов как одного из наиболее эффективных методов повышения достоверности обработки информации в системах передачи данных автоматизированных комплексов было указано еще в работах академика В.А. Котельникова. Однако лишь в последнее время стал проявляться интерес к практическому применению этого метода. Основным достоинством и преимуществом помехоустойчивого кодирования является обнаружение и исправление ошибок, возникающих в результате воздействия помех на сигналы кодовой комбинации. Эта возможность обнаружения и исправления ошибок достигается за счет введения избыточности при построении кодовой таблицы. Причем ошибки могут исправляться только лишь в пределах, ограниченных корректирующей способностью кода.

Одним из методов уплотнения и разделения канальных сигналов, позволяющих не только устранять избыточность, но и обеспечивать высокую достоверность обработки информации, является применение ортогональных кодов с последующей обработкой их в приемных корреляционных устройствах. По своей структуре такие сигналы относятся к сложным сигналам, база которых много больше единицы, являющимся разновидностью шумоподобных сигналов ($B = F \cdot T \gg 1$).

При построении системы передачи информации для удаленного доступа к вычислительным ресурсам с использованием ортогональных кодов необходимо создать базис первообразных ортогональных функций или полиномов, техническая реализация которого, в свою очередь, позволит реализовать само приемно-передающее устройство. Известно, что при построении многоканальных систем передачи информации применяются различные ортогональные кодовые последовательности, построенные на основе ортогональных функций Чебышева, Лагерра, Эрмита, Якоби, Гегенбауэра, Бесселя, Лежандра, Радемахера, Хаара, Уолша. Из всех этих перечисленных функций и полиномов необходимо выбрать только те, которые наиболее эффективны для образования канальных сигналов. Так, полиномы Лагерра и Эрмита ортогональны на интервале $-\infty \dots +\infty$ и $0 \dots +\infty$ и ограничение интервала периода передачи сообщений связано с нарушением ортогональности, а, следовательно, и с появлением взаимовлияния информационных каналов.

Функции Гегенбауэра и Якоби удовлетворяют условию конечных пределов ортогональности, но их техническая реализация связана большими сложностями. Функции Бесселя не полностью ортогональны, но их применение также связано с появлением ошибок за счет взаимовлияния.

Наиболее приемлемыми функциями в качестве сигналообразующих являются ортогональные функции Чебышева, Лежандра, Радемахера, Уолша. Однако техническая реализация сигналов, описываемых ортогональными функциями Чебышева и Лежандра, также затруднительна из-за применения в передающих и приемных комплексах сложных аналоговых устройств умножения. Наиболее простыми в отношении технической реализации являются ортогональные функции Радемахера и Уолша. При их моделировании не требуется аналоговых умножителей и сложных корреляционных устройств. Построение системы теледоступа к вычислительным ресурсам с использованием ортогональных кодов, математическими моделями которых являются ортогональные функции Радемахера-Уолша, осуществляется на типовых схемах дискретной логики.

Однако при выборе тех или иных ортогональных функций для построения системы теледоступа необходимо руководствоваться не только степенью сложности технической реализации, но также и степенью подверженности таких сигналов различному роду помех, возникающих в линиях связи. Такого рода внешними возмущающими воздействиями могут быть импульсные и флуктуационные помехи, помехи типа «пакет», сосредоточенные по спектру или (и) по времени. Как показал анализ помех, преобладающих в телефонных и телеграфных линиях связи, являющихся основными для систем теледоступа и сетей ЭВМ, они носят импульсный характер. Наиболее устойчивыми сигналами к воздействию помех будут такие сигналы, у которых степень соответствия с помехами будем минимальна. Такую оценку для случая импульсных помех можно производить по коэффициентам аппроксимации реакции линии связи на ударное возбуждение. В этом случае реакция линии связи на ударное возбуждение может быть выражена линейной комбинацией взаимно ортогональных функций, если последние образуют полный базис. Для тех функций, у которых при одинаковом числе членов суммы аппроксимирующего ряда коэффициенты аппроксимации будут минимальными, соответствие между функциями, описывающими информационные сигналы и помехи, также будет минимальным.

Для соблюдения поставленного условия – достижения наименьшей средней квадратичной ошибки аппроксимации на заданном интервале интегрирования – коэффициенты аппроксимации должны выбираться следующим образом:

$$\beta = \frac{\int_0^T U_n(t) \cdot U_c(t) dt}{\int_0^T U_c^R(t) dt}, \quad (1)$$

где $U_n(t)$ – система ортогональных функций, описывающих помеху; $U_c(t)$ – система ортогональных функций, описывающих сигнал.

Анализ существующих методов организации системы теледоступа к вычислительным комплексам показал, что они используют в основном временное уплотнение и разделение канальных сигналов, которые по достоверности проигрывают иным способам многоканальной передачи информации. В этом плане наиболее перспективным является организация теледоступа с разделением каналов по форме, в которой в качестве канальных сигналов используются ортогональные коды, построенные на основе ортогональных

функций Уолша, совокупности с оптимальной обработкой их в приемных корреляционных устройствах.

В предлагаемом исследовании для построения канальных кодообразующих сигналов используется обобщенная полная система ортогональных функций Уолша. Такой подход требует новых качественных изменений в построении общей теории связи, основанной на синусно-косинусных функциях и цифровых методах обработки информации. В этом случае описание методов обработки сигналов происходит не в частотно-временной плоскости, а в функционально-временной. Учитывая для реальных случаев спектральные ограничения, определяемые полосой пропускания линии связи, необходимо отметить, что любая последовательность ортогональных сигналов, построенных на полной системе ортогональных функций, занимает лишь конечную часть функционально-временной плоскости.

Под полной ортонормированной системой функций понимают такую систему, в которой для любой функции $F_i(t)$ предел квадратично интегрируемой разности устремляется к нулю. Для такой системы неравенство Бесселя $\sum_{m=1}^{\infty} F_m^2 \leq \|a\|^2$ в предельном переходе обращается в равенство Парсеваля. Подобное представление позволяет оценивать в физическом смысле энергию несинусоидальных колебаний как сумму энергий отдельных спектральных составляющих:

$$\int_0^T F^2(t) dt = \sum_{k=1}^{\infty} (a_k^2 + b_k^2). \quad (2)$$

Как показано выше, такой подход позволяет вычислять значения сигналов на выходах отдельных корреляционных устройств многоканальных систем передачи информации с разделением каналов по форме.

Построение каналообразующей аппаратуры автоматизированных комплексов с использованием в качестве канальных сигналов ортогональных последовательностей и ортогональных кодов до настоящего времени еще не получило широкого распространения из-за относительно малой изученности по сравнению с классическими методами обработки информации и относится к области фундаментальных исследований. Это направление работ относится к малоизученной области теоретического аппарата использования несинусоидальных функций, представляющих собой ортогональные множества, в системах передачи информации по проводным и радиолиниям связи. Последнее связано с теоретическими исследованиями в области применения несинусоидальных электромагнитных волн.

Чтобы перейти к непосредственному исследованию вопросов построения систем передачи информации, систем защиты информации с уплотнением и разделением канальных сигналов по форме, необходимо разработать теоретический аппарат и методику построения ортогональных сигналов и кодов, математическими моделями которых являются ортогональные функции Уолша или их частный случай – ортогональные последовательности Радемахера. Полная система ортогональных функций Уолша была определена еще в 1990 году Барретом для выбора оптимального варианта размещения проводников в открытых проводных линиях. В 1923 году эта система математически была описана Уолшем. Однако лишь только в наши дни стал проявляться активный интерес к использованию таких ортогональных моделей и ортогональных преобразований в теории связи и организации многоканальных систем передачи информации. Совсем недавно были разработаны антенны, предназначенные для изучения электромагнитных сигналов, представленных

ортогональными последовательностями Уолша. Однако применение несинусоидальных электромагнитных волн в организации связи и аппаратурной реализации находится в настоящее время на стадии теоретического исследования.

Следовательно, каков бы ни был теоретический или прикладной аспект построения системы передачи информации, основанный на использовании ортогональных последовательностей, необходимо прежде всего определить теоретический и практический базис формирования таких сигналов.

Следует в первую очередь отметить, что система $\{f(j,x)\}$ действительных и ненулевых функций называется ортогональной на конечном интервале $x_0 \leq x \leq x_1$, если выполняются следующие условия:

$$\int_{x_0}^{x_1} f(j,x) \cdot f(k,x) = x_j \cdot \delta_{jk}, \quad \delta_{jk} = \begin{cases} 1, & j = k \\ 0, & j \neq k \end{cases} \quad (3)$$

Эти условия ортогональности определены в метрике гильбертова пространства. В метрике эвклидова пространства условие ортогональности представляется как

$$f(j,x) \times f(k,x) = f(j,x) \cdot f(k,x) \cdot \cos\phi = x_j \delta_{jk};$$

$$\delta_{jk} = \begin{cases} 1, & \phi = 0^\circ \\ 0, & \phi = 90^\circ \end{cases} \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что два вектора, описывающие каналные сигналы, являются ортогональными, если их скалярное произведение равно 1. То есть если вектора сигналов, описываемых ортогональными функциями, совпадают по направлению, то их скалярное произведение будет равно постоянной величине (для случая ортонормированных сигналов эта постоянная равна 1).

В исследованиях, проведенных еще в 20-е годы нашего столетия Уолшем, показана возможность формирования полной системы ортогональных функций на основе базисных функций Радемахера, являющихся частным случаем ортогональной последовательности. На рисунке 1 представлен фрагмент полной системы ортогональных функций Уолша. В этой системе базовыми ортогональными последовательностями Радемахера являются функции Y_1, Y_2, Y_4, Y_8 , т.е. функции, номера которых определяются как

$$k = 2^{n-1}; \quad Y_k = Y_2^{n-1}.$$

Полная система ортогональных функций Уолша формируется из базисной системы Радемахера путем последовательного алгебраического перемножения. Например, из базовых ортогональных функций Y_1 и Y_2 образуется функция Y_3 ($Y_3 = Y_1 \cdot Y_2$). Каждые последующие производные образуются согласно алгоритму

$$Y_5 = Y_1 \cdot Y_4; Y_6 = Y_2 \cdot Y_4; Y_7 = Y_1 \cdot Y_2 \cdot Y_4; Y_9 = Y_1 \cdot Y_8; Y_{10} = Y_2 \cdot Y_8; Y_{11} = Y_1 \cdot Y_2 \cdot Y_8; Y_{12} = Y_4 \cdot Y_8; Y_{13} = Y_1 \cdot Y_4 \cdot Y_8; Y_{14} = Y_2 \cdot Y_4 \cdot Y_8; Y_{15} = Y_1 \cdot Y_2 \cdot Y_4 \cdot Y_8 \quad (5)$$

При определении необходимого и достаточного числа ортогональных функций Уолша для построения каналных сигналов многоканальной системы передачи информации необходимо выявить максимальный нижний предел номера базовой функции $\text{sup}K_j$. После чего определяются и сами базовые функции, вследствие перемножения которых образуется каждая производная функция Уолша, т.е. из системы ортогональных функций Радемахера строится полная система ортогональных функций Уолша. Порядковый номер каждой такой

функции определяется в соответствии со следующей формулой:

$$m = \sup K_j + \sum_{j=1}^{2^{n-1}} K_j, \quad (6)$$

где m – порядковый номер производной функции Уолша; K_j – номера базовых образующих функций.

В свою очередь, порядковый номер производной определяет и ее структурный состав, т.е. образующие ее базовые функции.

Алгоритм образования каналообразующих функций (5) показывает процесс формирования любой ортогональной последовательности, исходя из которого, можно написать выражение для определения любой частотной функции полной системы ортогональной совокупности Уолша.

$$Y_m = Y_{\sup k_i} * \prod_{i=1}^{2^{n-1}} Y_{k_i} \{ \forall Y_m, \sup K_i + \sum_{i=1}^{2^{n-1}} K_i = m \} \quad (7)$$

В соответствии с полученной формулой (7) на рисунке 1 представлен фрагмент полной системы ортогональных функций Уолша для случая 15 каналов. Причем необходимо отметить, что в работе Х.Ф. Хармута эта система представлена в ином виде. Достоинства предлагаемой совокупности каналообразующих функций раскрыты несколько ниже при непосредственном формировании канальных сигналов и построении функциональной схемы многоканальной системы теледоступа в автоматизированных комплексах.

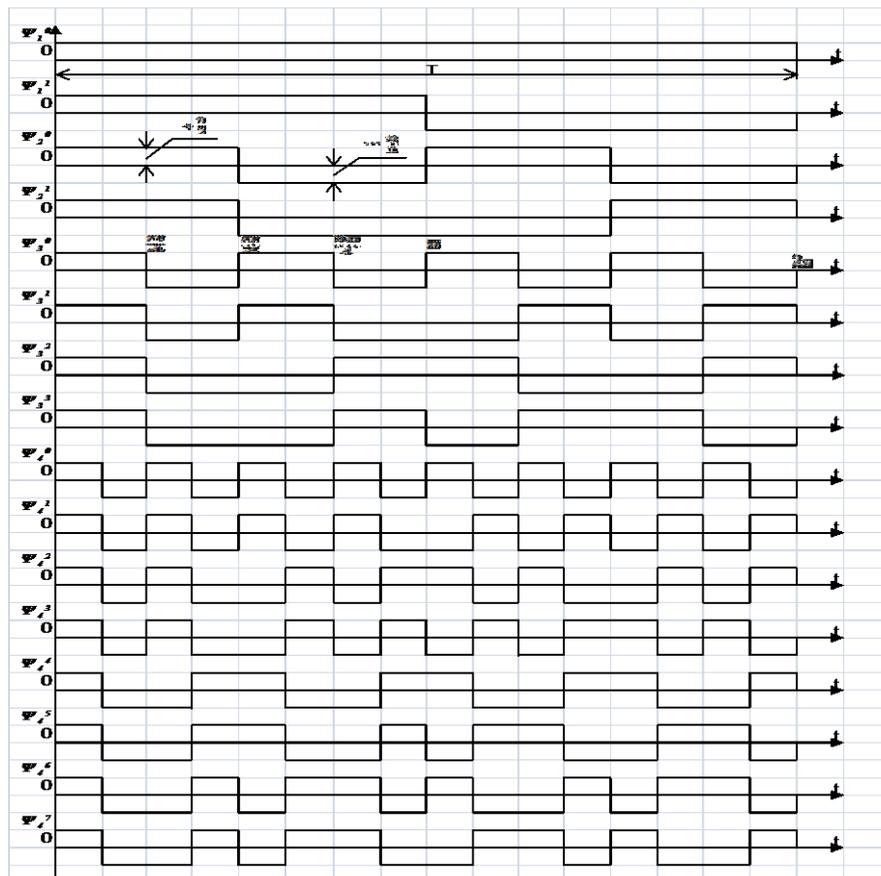


Рисунок 1 – Фрагмент ортогональных функций Уолша

Как видно из рисунка 1, полная система ортогональных функций Уолша состоит из четных и нечетных функций, принимающих на всем периоде значения «+1» или «-1». Проверка полученных и построенных функций Уолша на условие ортогональности (3) показывает, что какая бы комбинация ни была взята, это условие сохраняется, т.е. в соответствии с полученной формулой (2.8) возможно определение любой функции из полной ортонормированной системы Уолша. В качестве примера рассмотрим две любых представленных функции Уолша и проверим их на условие ортогональности (3):

$$\begin{aligned} & \int_0^1 Y_5(t) * Y_{10}(t) dt \\ &= \int_0^{1/16} (+1) * (+1) dt + \int_{1/16}^{1/2} (+1) * (-1) dt + \int_{1/8}^{3/16} (-1) * (+1) dt \\ &+ \int_{3/16}^{1/4} (-1) * (-1) dt \\ &+ \int_{1/4}^{5/16} (+1) * (-1) dt + \int_{5/16}^{3/8} (+1) * (+1) dt + \int_{3/8}^{7/16} (-1) * (-1) dt \\ &+ \int_{7/16}^{1/2} (-1) * (+1) dt \\ &+ \int_{1/2}^{9/16} (-1) * (+1) dt \\ &+ \int_{9/16}^{5/8} (-1) * (-1) dt \\ &+ \int_{7/8}^{15/16} (+1) * (-1) dt + \int_{5/16}^1 (+1) * (-1) dt = 0 \end{aligned}$$

В случае, если в выражении (3) положить $j = k$, т.е. при совпадении векторов ортогональных функций, интеграл их произведения примет вид и будет равен:

$$\begin{aligned} & \int_0^1 Y_5(t) * Y_5(t) dt = \int_0^{2/16} (+1) * (+1) dt + \int_{2/16}^{4/16} (-1) * (-1) dt \\ &+ \int_{4/16}^{6/16} (+1) * (+1) dt \\ &+ \int_{6/16}^{8/16} (-1) * (-1) dt \\ &+ \int_{8/16}^{10/16} (-1) * (-1) dt \\ &+ \int_{10/16}^{12/16} (+1) * (+1) dt \\ &+ \int_{12/16}^{14/16} (-1) * (-1) dt + \int_{14}^{16/16} (+1) * (+1) dt = 1 \end{aligned}$$

На этих двух примерах показано, что построенная по формуле (7) система функций полностью ортогональна и нормирована. Пошаговая проверка на условие ортогональности всех последующих функций подтверждает правильность полученной формулы (7). Для проверки условия ортонормированности были взяты ортогональные функции Y_5 и Y_{10} , в состав которых входят все образующие последовательности Радемахера для выбранного множества каналообразующих функций, что позволяет сделать вывод об ортонормированности всего класса построенных функций. Для увеличения числа ортогональных функций к рассмотренному семейству добавляются последующие базовые функции, порядковые номера которых определяются в соответствии с выражением (4). Последние, в свою очередь, перемножаются с построенными ранее функциями, образуя

дополнительные производные функции в соответствии с алгоритмом (5).

Как видно из приведенных рассуждений, множество ортогональных функций открыто. Пример отображения образования производных функций Уолша из базовых последовательностей Y_1, Y_2, Y_4, Y_8 Радемахера может быть представлен в виде графа (рис. 2), на котором четко прослеживается алгоритм организации производных функций за счет перемножения базовых. Причем необходимо отметить, что номер каждой производной функции определяется суммой номеров, входящих в узел базовых функций. После преобразования этот график может быть приведен к виду, представленному на рисунке 3. Преобразованный граф характерен тем, что каждая последующая функция образуется в результате перемножения одной из базовых и производных функций или двух базовых функций. Т.е. в этом случае каждый узел графа, за исключением базовых, имеет два входа и один выход; узлы, соответствующие базовым функциям, не имеют ни одного входа и являются генерирующими полную ортонормированную систему Уолша.

Номер любой производной функции, а, следовательно, и ее структура определяются суммой номеров функций, одна из которых является базовой, а другая может быть либо базовой, либо производной. Например:

$$Y_9 = Y_1 \cdot Y_8; m=1+8; Y_{15} = Y_8 \cdot Y_7; m=8+7.$$

В свою очередь, номер ортогональной функции однозначно определяет ее структурный состав и является синдромом ее построения.

Из рисунка 1 следует, что максимальное число переходов из положительного в отрицательное значение в общем семействе построенных ортонормированных функций имеет базовая функция с наибольшим порядковым номером в выбранном множестве. Так, для множества первых пятнадцати ортогональных функций Уолша такой функцией является Y_1 .

Подобное разбиение позволяет представить отдельные функции в виде таблицы, где, например, в левой части будет обозначен структурный состав, а в правой – их дискретные значения на всем периоде, причем число дискретных значений определяется как $d = 2^{\sup K_i}$, где K_i – верхняя граница выбранного подмножества базисных функций Радемахера. Так, для множества ортогональных функций, приведенного на рисунке 2, значение d будет равно 16.

В ряде случаев при последовательном построении множества ортонормированных функций Уолша в качестве моделей сигналов каналообразующей аппаратуры многоканальной системы теледоступа к вычислительным ресурсам необходимо определять и строить каждую последующую функцию Уолша по следующему алгоритму:

1. Строятся две первые ортогональные последовательности Радемахера Y_1 и Y_2 .
2. Путем поэлементного их перемножения определяется и строится функция Y_3 , принадлежащая уже к полной системе ортонормированных функций Уолша.
3. Вводится еще одна последовательность Радемахера Y_4 .
4. Путем поэлементного перемножения функций Y_4 и Y_1 ; Y_4 и Y_2 ; Y_4 и Y_3 расширяется множество ортонормированных функций Уолша.

Этот процесс дополнения множества Уолша продолжается до получения необходимого количества ортонормированных функций для построения каналообразующих сигналов или элементов ортонормированного кода Уолша.

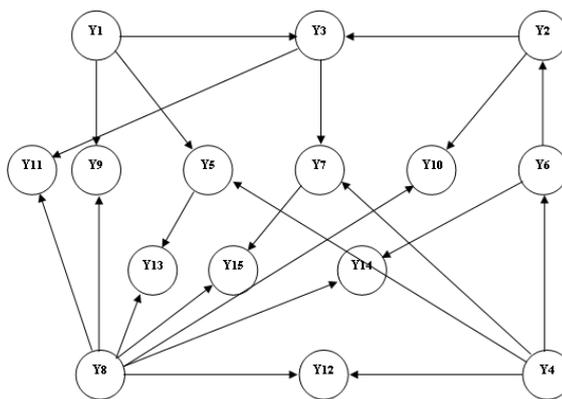


Рисунок 2 – Обобщенная граф-схема образования ортогонального множества Уолша

Для удобства дальнейших исследований и описания как самой ортонормированной системы Уолша, так и сигналов, построенных на их основе, примем, что положительное значение отдельного дискретного элемента составного сигнала Уолша равно «1», а отрицательное – «0». Анализ таблицы дискретных значений ортогональных функций полного множества Уолша показывает, что для него справедливо следующее высказывание: количество нулей и единиц равно и их синдромом (для производных функций) является результат произведения базовых функций. Как следствием из выдвинутой леммы может служить то, что ряд производных функций, а, соответственно, и их дискретные значения, на всем периоде интегрирования определяются произведением базовой и производной функций. В случае, если номер искомой производной функции можно выразить через сумму двух базовых, то эта функция определяется их произведением. В случае, если номер исходной производной выражается суммой базовой и производной, полученной ранее, то каждый составляющий элемент такой функции определяется произведением составных элементов базовой и производной функции на соответствующих интервалах периода интегрирования T.

Для расширения ортонормированного множества функций Уолша, представленного на рисунке 1, необходимо ввести еще одну базовую функцию Y₁₆. В этом случае число дискретных значений каждого составного сигнала полной системы увеличится в два раза. Такое увеличение числа ортогональных сигналов образующих функций бесконечно и открыто.

Напротив, каждая отдельно взятая функция {f(j, x)} является замкнутой системой, т.е. дает сходимость при разложении в ряд для всех квадратично интегрируемых функций. В этом случае в соответствии с равенством Парсеваля имеем:

$$\int_{x_1}^{x_2} F^2 dt = \sum_{j=0}^{\infty} a^2 (8)$$

Полученный результат позволяет утверждать об инвариантности ортогональности преобразования Фурье и представлять каждую отдельную функцию Уолша рядом Фурье, что необходимо для дальнейшего рассмотрения ограничений, накладываемых на такие сигналы полосой пропускания линии связи и определения реакции приемных устройств на поступающие воздействия. В этом случае в зависимости от того, какой является отдельно взятая функция Уолша – четной или нечетной, эта реакция может быть в общем виде

представлена с помощью преобразований Фурье (9):

$$f(j, t) = a_0(t) + \sum_{k=1}^{\infty} a(k, t) \cos k\omega_1 t + \sum_{k=1}^{\infty} b(k, t) \sin k\omega_1 t$$

Коэффициенты разложения $a(k, t)$ и $b(k, t)$ фрагмента множества ортогональных функций Уолша определялись в соответствии с формулами разложения в тригонометрический ряд Фурье. Такое разложение возможно, т. к. они полностью удовлетворяют условиям Дирихле:

$$\begin{aligned} a(j, t) &= \frac{1}{T} \int_0^T f(j, t) * \cos k\omega_1 t dt \\ b(j, t) &= \frac{1}{T} \int_0^T f(j, t) * \sin k\omega_1 t dt \end{aligned} \quad (10)$$

Т.е. благодаря инвариантности ортогональности преобразования Фурье, функция времени $f(j, t)$ представляется полным тригонометрическим рядом. Из разложения ортогональных функций Уолша в ряд Фурье видно, что их отображение на преобразованиях Фурье может быть представлено двумя большими подмножествами, ортогональными по отношению друг к другу в силу ортогональности синусных и косинусных гармонических составляющих. Последние, в свою очередь, разбиваются на ортогональные подмножества, признаками которых являются различные значения круговой частоты $K(m)\omega_1$ (m – номер гармонической составляющей в ряду разложения Фурье). Кроме того, ряд функций Уолша может быть отображен на преобразованиях Фурье, полностью совпадающих по временным и частотным параметрам. Такие функции при неограниченных спектрах полностью ортогональны, но при ограничении числа членов разложения эта ортогональность нарушается. При реализации канальных сигналов на основе таких функций ограничение их спектров полосой пропускания линии связи приводит к появлению взаимовлияния информационных каналов в многоканальных системах передачи данных. Этот фактор необходимо учитывать при практической реализации систем передачи данных и либо исключать такие сигналы из множества информационных сигналов, либо вводить корректировку по этим каналам, учитывающую частотные свойства линии связи.

Множество "M" образуется в результате объединения множеств " M_1^m " и " M_2^m ", которые в свою очередь подразделяются на подмножества " M_k^1 " и " M_k^2 ". Подмножества " M_k^1 " и " M_k^2 " подразделяются на ряд подмножеств, отличающихся друг от друга только амплитудой отдельных спектральных составляющих при полном совпадении и функций, их описывающих, и круговых спектральных частот ($\{M_1^m\}^n, \{M_2^m\}^n$).

Следовательно, полное множество ортогональных функций Уолша может быть отображено в полном преобразовании Фурье:

$$M \Rightarrow \left\{ M_1, M_2, M_1^m, M_2^m, \{M_1^m\}^n, \{M_2^m\}^n \right\}. \quad (11)$$

Такое представление функций Уолша может быть названо как спектральное представление, математическое описание которого дает возможность анализа влияния частотных и фазовых параметров линий связи на параметры сигналов, математическими

моделями которых является система ортогональных функций Уолша. Кроме того, такое представление дает возможность оценки реакции приемных корреляционных устройств на информационные сигналы и помехи, поступающие из линии связи при организации многоканальной системы обработки информации с разделением каналов по форме, и анализа энергетических соотношений принимаемых сигналов в зависимости от частотных характеристик линий связи, а также выявления результата взаимовлияния отдельных каналов при ограничении спектра частот канальных сигналов и возможным расфазированием приемных и передающих полукомплексов. Спектральное представление обработки информационных канальных сигналов предоставляет возможность выявления погрешностей, возникающих от воздействия сосредоточенных по спектру и (или) по времени помех, и оценить степень их воздействия на достоверность обрабатываемой информации.

Изложенные выше математические основы образования множества "М" ортонормированных функций Уолша позволяют перейти к образованию системы ортогональных кодов, предназначенных для передачи информации в автоматизированных комплексах. Для примера рассмотрим образование ортогональных кодов для обмена информацией по интерфейсу ввода-вывода «источник-приемник»-«приемник-источник» вычислительного комплекса с организационной структурой «общая шина». Во всех других случаях обмена информацией как во внутренних, так и в интерфейсных цепях структурная организация кодовых последовательностей Уолша будет идентична рассмотренному примеру. Итак, при организации малого интерфейса для обмена информацией между центральным процессором и внешними терминальными устройствами, например, дисплеями, подключенными к вычислительному комплексу по системе «общая шина», требуется в цепи «источник-приемник» (аналогично в цепи «приемник-источник») иметь двенадцать сигналов, из которых четыре управляющих и восемь информационных.

ГИ-И (ГИ-П) Готовность источника (приемника)

ГП-И (ГИ-П)

СТР-И (СТР-П) Строб-импульс источника (приемника)

ЗП-И (ЗП-П) Запрос источника (приемника)

Д0-И (Д0-П)

Д1-И (Д1-П)

Д2-И (Д2-П) Данные источника (приемника)

Д3-И (Д3-П)

Д4-И (Д4-П)

Д5-И (Д5-П)

Д6-И (Д6-П)

КРО-И (КРО-П) Контрольный разряд источника (приемника)

Это множество сигналов малого интерфейса выбрано по следующим соображениям:

1. Они образуют группу подмножества информационно-управляющих сигналов.
2. Обмен информацией между центральным процессором и периферийными устройствами осуществляется по малому интерфейсу, что непосредственно связано с организацией теледоступа пользователей к вычислительным ресурсам.

Существенным недостатком современных систем теледоступа к вычислительным ресурсам является необходимость преобразования параллельного кода интерфейса ввода-вывода в последовательные кодовые комбинации стыков С2 и С1, а затем обратное преобразование последовательных кодовых комбинаций в параллельный код.

Следовательно, между терминалом пользователя и центральным процессором должен быть организован канал связи. В рассматриваемой организационной структуре система передачи и приема информации производится по параллельному интерфейсу с канальными сигналами, математическими моделями которых являются ортогональные функции Уолша. Следовательно, для передачи управляющих и информационных сигналов малого интерфейса можно использовать следующие ортогональные последовательности:

- Для сигнала ГИ-И (ГИ-П) – Y_1
- Для сигнала ГИ-И (ГИ-П) – Y_2
- Для сигнала СТР-И (СТР-П) – Y_3
- Для сигнала ЗП-И (ЗП-П) – Y_4
- Для сигнала Д0-И (Д0-П) – Y_5
- Для сигнала Д1-И (Д1-П) – Y_6
- Для сигнала Д2-И (Д2-П) – Y_7
- Для сигнала Д3-И (Д3-П) – Y_8
- Для сигнала Д4-И (Д4-П) – Y_9
- Для сигнала Д5-И (Д5-П) – Y_{10}
- Для сигнала Д6-И (Д6-П) – Y_{11}
- Для сигнала КРО-И (КРО-П) – Y_{12}

Таким образом, на периоде передачи одного цикла обмена информацией между центральным процессором и внешним терминальным устройством формируется кодовая последовательность Уолша, состоящая из двенадцатиразрядного параллельного кода:

$$Y = f(Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, \dots, Y_{12}) = \sum_{i=1}^{12} Y_i$$

Система уплотнения канальных сигналов, основанных на использовании ортогональных кодов Уолша, относится к уплотнению каналов по форме сигналов и предполагает алгебраическое суммирование всех канальных сигналов на выходе передающего устройства [43].

В этом случае при организации системы теледоступа к вычислительным ресурсам исключается необходимость преобразования кода параллельного интерфейса в последовательный, что присуще всем существующим системам теледоступа. Следовательно, уменьшается время обмена информацией между внешними устройствами и центральным процессором. Кроме того, ортогональные коды по своей структуре относятся к семейству помехоустойчивых кодов в условиях действия различного рода помех (флуктуационных, импульсных, сосредоточенных по спектру, сосредоточенных по времени и т.д.). Структурные особенности кодовых последовательностей Уолша позволяют отнести их к группе так называемых сложных составных шумоподобных сигналов, база которых много больше единицы:

$$B \gg 2F \cdot T.$$

Канальные сигналы, образованные на основе ортогональных последовательностей Уолша, отличаются от простых кодовых временных последовательностей большей избыточностью, так как состоят из ряда элементарных сигналов (битов). Так, например, отдельные разряды ортогонального кода Уолша представляют собой кортеж элементарных сигналов $Y_1 \Rightarrow 1111111100000000$; $Y_2 \Rightarrow 1111000011110000$; $Y_3 = 1111000000001111$ и т.д.,

т.е. общее число элементарных составляющих каждого разряда кода Уолша определяется суммой управляющих и информационных сигналов в системе передачи информации:

$$d \geq \sum_{i=1}^d k_i \quad (12)$$

Следовательно, при увеличении числа управляющих и информационных сигналов в системе передачи автоматизированных комплексов возрастает и число элементарных составляющих каждого разряда. Причем при неизменной передаче одного цикла уменьшается длительность элемента составного сигнала кодовой последовательности Уолша:

$$t_3^i = t_3^1 * \frac{1}{2^n}, \text{ при } T = const \quad (13)$$

Таким образом, общая структура составного сигнала кодовой ортогональной последовательности Уолша в системе передачи информации с разделением каналов по форме может быть представлена в следующем виде:

1. Каждый ортогональный сигнал общего множества сигналов Уолша представляет собой последовательный составной сигнал, состоящий из видеоимпульсов.

2. В свою очередь, каждый канальный составной сигнал ортогонального множества Уолша представляет собой сумму ортогональных гармонических колебаний:

$$Y_i = \sum_{k=1}^{\infty} a(k, t) \cos k\omega_1 t \quad \text{или} \quad Y_i = \sum_{k=1}^{\infty} b(k, t) \sin k\omega_1 t \quad (14)$$

Эта сумма образует отдельный канальный параллельный сигнал общего множества ортогональных сигналов Уолша.

3. Совокупность канальных ортогональных параллельных сигналов образует полный составной суммарный параллельный код Уолша.

Из вышеизложенного следует, что при формировании составных сигналов в передающем полукомплексе используется один генератор элементарных сигналов – генератор прямоугольных импульсов. Из последовательностей этих прямоугольных импульсов, кратность которых равна 2, в соответствии с алгоритмом (5) формируются сложные составные канальные сигналы Уолша.

Причем такие составные сигналы могут подвергаться всем известным способам модуляции. Отображение каждого ортогонального сигнала на множестве преобразований Фурье позволяет полно и однозначно определять модулирующие изменения параметров канальных сигналов:

$$Y_i = \sum_{k=1}^{\infty} a(k, t) * \cos [((k\omega_1 \mp \nabla\omega)t] + \varphi_i)$$

$$Y_i = \sum_{k=1}^{\infty} b(k, t) * \sin [((k\omega_1 t \pm \nabla\omega)t + \varphi_i)] \quad (15)$$

Здесь при изменениях $a(k, t)$ и $b(k, t)$ в зависимости от модулирующего воздействия –

амплитудная модуляция:

- при изменениях φ_i – фазовая модуляция;
- при изменениях $(K\omega_1 \pm \Delta\omega)$ – частотная модуляция.

При передаче цифровой информации эти виды модуляции заменяются амплитудной, частотной и фазовой манипуляциями соответственно. Применение ортогональных сигналов, математическими моделями которых являются ортогональные функции Уолша, в многоканальных системах передачи информации связано с появлением информационной избыточности. По своей структуре такие сигналы относятся к сложным составным широкополосным сигналам, а, следовательно, построенные на основе таких сигналов кодовые комбинации обладают определенной избыточностью, количественной оценкой которой является коэффициент избыточности [44]:

$$R = \frac{d}{n_i}, \quad (16)$$

где d – общее число символов кодовой комбинации; n_i – число информационных сигналов.

Если рассматривать сложный последовательный составной каналный сигнал, моделью которого является одна из ортогональных функций Уолша, то в этом случае все элементы сигнала несут одну и ту же информацию. Тогда при различных видах модуляции и манипуляции одновременно изменяются параметры всех элементарных сигналов. Из вышеизложенного следует, что $K=1$, а n определяется количеством элементарных составляющих, определяемым в соответствии с формулой (13).

Оценивая избыточность выбранного подмножества ортогональных кодов, необходимо исходить из того положения, что в этом случае одним элементом кодовой комбинации является сложный каналный последовательный составной сигнал и, следовательно, избыточность такого ортогонального кода будет равна 1, т.е. такие коды экономичны по кодовому расстоянию, но имеют большую избыточность по частотному спектру при сравнении с элементарными синусоидальными сигналами. Такая избыточность по широкополосности определяет специальные структурные свойства ортогональных сигналов Уолша, позволяющие получать множество кодовых комбинаций с требуемыми корреляционными, спектральными, временными и другими параметрами. В данном случае речь идет как о возможности не только их уплотнения, но и однозначного опознания и разделения каналных сигналов приемными устройствами, построенных на принципах вычисления взаимокорреляционной функции. Спектральные параметры ортогональных кодов показывают, что их можно классифицировать по четырем подмножествам и что частотные спектры отдельных каналов лежат в одном частотном диапазоне, т.е. по отношению к частотному уплотнению и разделению каналов эффективность использования частотного диапазона резко возрастает. Кроме того, широкополосность каналных сигналов Уолша позволяет сопоставить их с шумоподобными сигналами, что определяет их высокую скрытность и устойчивость к несанкционированному приему и распознаванию. Эта качественная предпосылка подробно будет исследована ниже.

Обработка таких сигналов приемными устройствами заключается в интегральном накоплении сведений об элементах сигнала на заданном периоде интегрирования, причем структурные свойства такого сигнала полностью детерминированы. Немаловажным свойством в процессе обработки таких сигналов является возможность компенсации мешающих воздействий от случайно или специально создаваемых внешних источников. Структура сигналов внешних возмущающих воздействий резко отличается от структуры

полезных сигналов, что делает такие сигналы слабо коррелируемыми и, следовательно, хорошо различаемыми методами активной фильтрации.

Оценка структурных соответствий полезных сигналов и возмущающих воздействий случайного или специального характеров при структурном уплотнении и разделении каналов должна проводиться по обобщенному критерию соответствия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов. – М.: Радио и связь, 1990. – 256 с.
2. Залманзон Л.А. Преобразование Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. – М.: Наука, 1989. – 429 с.
3. Качмаж С., Штейнгауз Г. Теория ортогональных рядов. – М.: Наука, 1958. – 429 с.
4. Котельников В.А. Теория потенциальной помехоустойчивости. – М.: Радио и связь, 1956. – 152 с.
5. Макаров В.Ф. Теоретические основы передачи и защиты информации в системах теледоступа к вычислительным ресурсам. – М.: Академия управления МВД РФ, 1992. – 224 с.
6. Макаров В.Ф. Передача информации в компьютерных технологиях на основе ортогональных сигналов // Информационные системы и технологии, 2014. – № 2. – 101-109 с.
7. Макаров В.Ф., Нечаев Д.Ю. Устранение избыточности в системах ортогонального кодирования // Безопасность информационных технологий, 2014. – № 2. – 54-59 с.
8. Макаров В.Ф. и др. Устройство для приема телевизионных сигналов. Патент на изобретение № 2144741. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений РФ 20.01.2000.
9. Макаров В.Ф. и др. Устройство для передачи телевизионных сигналов. Патент на изобретение № 2131646. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений РФ 10.06.1999.
10. Сюзев В.В. Основы теории цифровой обработки сигналов. – М.: РТСофт, 2014. – 715 с.

Макаров Валерий Федорович

Академия управления МВД России, г. Москва

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий управления ОВД

Тел.: 8 909 657 35 48

E-mail: ovorta@mail.ru

Петрова Виктория Юрьевна

Академия управления МВД России, г. Москва

Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры информационных технологий управления ОВД

Тел.: 8 905 542 96 61

E-mail: V.U.Petrova@mail.ru

V.F. MAKAROV (Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of the Department of Information Technologies of Management DIA)

*V.Yu. PETROVA (Candidate of Engineering Sciences,
Senior Teacher of the Department of Information Technologies of Management DIA)
Academy of Management at the Ministry of Internal Affairs of Russian Federation, Moscow*

ASPECTS OF MATHEMATICAL MODELING OF THE SYSTEM OF ORTHOGONAL CODING

The paper addresses issues of a new modified array of orthogonal signals' formation. The signals use modified set of piecewise constant orthogonal Rademacher and Walsh functions as their mathematic models. Procedure is described for building up of orthogonal signals array for data transfer via communication buses and complex aggregate multi-level totaled signal processing, which shape maps a condition of the computer system's parallel interface and its processing by a receiver's pseudo-correlation devices.

Keywords: *Walsh and Rademacher orthogonal functions; orthogonal signals modification; «pack two» type summation; totaled orthogonal set pseudo-correlation processing; unauthorized cognition tolerance; signal multiplexing and separation by form.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Gol'denberg L.M., Matyushkin B.D. Polyak M.N. Cifrovaya obrabotka signalov. – M.: Radio i svyaz', 1990. – 256 s.
2. Zalmanzon L.A. Preobrazovanie Fur'e, Uolsha, Xaara i ix primeneniye v upravlenii, svyazi i drugix oblastyax. – M.: Nauka, 1989. – 429 s.
3. Kachmazh S., Shtejngauz G. Teoriya ortogonal'ny'x ryadov. – M.: Nauka, 1958. – 429 s.
4. Kotel'nikov V.A. Teoriya potencial'noj pomexoustojchivosti. – M.: Radio i svyaz', 1956. – 152 s.
5. Makarov V.F. Teoreticheskie osnovy' peredachi i zashhity' informacii v sistemax teledostupa k vy'chislitel'nym resursam. – M.: Akademiya upravleniya MVD RF, 1992. – 224 s.
6. Makarov V.F. Peredacha informacii v komp'yuterny'x texnologiyax na osnove ortogonal'ny'x signalov // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2014. – № 2. – 101-109 s.
7. Makarov V.F., Nechaev D.Yu. Ustraneniye izby'tochnosti v sistemax ortogonal'nogo kodirovaniya // Bezopasnost' informacionny'x texnologij, 2014. – № 2. – 54-59 s.
8. Makarov V.F. i dr. Ustrojstvo dlya priema televizionny'x signalov. Patent na izobretenie № 2144741. Zaregistririvan v Gosudarstvennom reestre izobretenij RF 20.01.2000.
9. Makarov V.F. i dr. Ustrojstvo dlya peredachi televizionny'x signalov. Patent na izobretenie № 2131646. Zaregistririvan v Gosudarstvennom reestre izobretenij RF 10.06.1999.
10. Syuzev V.V. Osnovy' teorii cifrovoj obrabotki signalov. – M.: RTSoft, 2014. – 715 s.

УДК 004.738.5.057.4

А.И. ОФИЦЕРОВ, А.Б. ФОКИН

МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ОБМЕНА ДАННЫМИ В АСУ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье рассмотрены модель и алгоритм оптимального распределения информационных потоков обмена данными. В рамках предложенной модели формализованы основные закономерности процессов распределения пропускной способности трактов передачи сети в интересах трафика того или иного класса. На выходе модели сформулирована задача по оптимизации процессов управления канальным ресурсом сети, для решения которой предложен алгоритм.

Ключевые слова: сеть передачи данных; логическая топология; многопродуктовый поток; пропускная способность; канальный ресурс; целевая функция; оптимальное распределение.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных тенденций современного этапа развития автоматизированных систем управления (АСУ) является повышение их функциональной насыщенности. Возросшая функциональность сетевых приложений, увеличение числа пользователей АСУП и АСУ ТП приводят к значительному росту интенсивности информационного обмена. В этих условиях особое значение приобретают задачи управления процессами информационного обмена, особенно в состоянии перегрузки, что является одной из функций обеспечения качества обслуживания [4].

Анализ общей функциональной структуры современных АСУ показывает необходимость ее декомпозиции на компоненты с установлением для каждого из них критериев эффективности, моделей функционирования, процедур обработки данных, функциональных и информационных связей между компонентами и др. [56].

В сфере промышленного производства с точки зрения реализации функций формирования управляющих воздействий можно выделить следующие виртуальные компоненты АСУ:

1. Обработка информации. Обеспечивает учет, контроль, хранение, поиск, отображение, тиражирование и преобразование формы информации.
2. Обмен данными. Отвечает за доведение выработанных управляющих воздействий до объекта управления и обмен информацией с лицом, принимающим решение.
3. Принятие решения. Осуществляет создание новой информации (преобразование содержания информации) в ходе анализа, прогнозирования или оперативного управления объектом.

В качестве виртуального компонента, отвечающего за обмен данными в распределенных АСУ промышленного предприятия (ПП), выступают сети передачи данных (СПД), для которых специфика задач принятия решений определяется, в первую очередь, наличием невзаимозаменяемых видов передаваемых продуктов. В настоящее время однозначно не решены вопросы о конкуренции между продуктами различных классов сервиса за ресурсы сети при организации самостоятельного доступа, а также проблемы, связанные с учетом интересов каждого продукта при централизованном распределении ресурсов. На практике данные противоречия преодолеваются в основном путем создания избыточного ресурса, что не всегда является экономически целесообразным. В этой связи

особую актуальность приобретают задачи разработки моделей и алгоритмов оптимального распределения информационных потоков обмена данными в СПД распределенных АСУ ПП.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Модель функционирования многопользовательской потоковой сетевой системы (многопродуктовой потоковой сети) может быть представлена в виде двух взаимосвязанных топологических составляющих: физической (определяет физическую структуру сети) и логической (определяет структуру связей между узлами сети, т.е. структуру требований на передачу потоков данных) [2]. При этом задача распределения потоков в сети состоит в том, чтобы проложить по ребрам физической топологии сети пути для всех пар узлов, имеющих логические связи, при удовлетворении физических ограничений по пропускной способности и логических ограничений по одновременному обеспечению требований для продуктов всех классов сервиса. При удовлетворении этих требований сеть называется допустимой, в противном случае она нуждается в перераспределении потоков таким образом, чтобы максимально согласовать интересы для всех видов продуктов.

Для выбора допустимой из множества логических топологий сети используются следующие два критерия оценки качества и оптимальности ее построения:

- 1) для заданной матрицы потоковых требований $T = (t_{ij})$ максимальная нагрузка на ребро должна быть по возможности минимальной;
- 2) для всех требований на распределение потоков матрицы $T = (t_{ij})$ пути по возможности должны быть кратчайшими (длина пути определяется числом промежуточных узлов).

В соответствии с первым критерием все ребра сети нагружаются равномерно. При оптимальном распределении потоков обмена данными достигается максимальное использование линий-ребер минимального разреза сети.

Так как оптимизация логической топологии сети только на основе первого критерия приводит к образованию неоправданно длинных путей, введен второй критерий, благодаря которому предпочтение отдается тем путям, которые по возможности являются кратчайшими при соблюдении первого критерия [9].

В общем случае задача оптимизации сводится к следующему: необходимо найти такую логическую топологию сети, которая уменьшает максимальную нагрузку на ребра минимального разреза и выбирает наикратчайший путь среди всех возможных.

МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЛОГИЧЕСКОЙ ТОПОЛОГИИ СПД РАСПРЕДЕЛЕННОЙ АСУ ПП ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ МНОГОПРОДУКТОВОГО ПОТОКА

Любую СПД распределенной АСУ ПП можно представить в виде графа и использовать методы теории графов для ее исследования и оптимизации [7, 8]. При этом сеть может быть сопоставлена с неким направленным, сильно связанным графом $G = (V, E)$ с множеством вершин $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ и множеством ребер $E = \{e_1, \dots, e_m\} \subset V \times V$. По сети передается трафик различных классов сервиса $s \in S$, где S – множество всех классов сервиса. Каждый класс характеризуется набором атрибутов, которые определяют уровень предоставляемого качества обслуживания (QoS).

Пусть для каждого ребра $e \in E$ заданы две вершины $h(e), t(e) \in V$, в качестве начала и конца соответственно $e = (h(e), t(e))$, а также определены пропускная способность ребра $c(e)$ и коэффициент использования ребра $\rho(e)$. Трафик, который необходимо передать между

узлами сети v_i и v_j , задан матрицей $T = (t_{ij})$, а поток между ними описывается вектором $f^{(ij)} = (f^{ij}(e_1), \dots, f^{ij}(e_m))$ с неотрицательными элементами $\forall k: f^{ij}(e_k) \geq 0$.

Для каждого потока в сети с целью недопущения потерь пакетов на маршрутизаторах и в СПД в целом необходимо обеспечить выполнение системы условий сохранения потока:

$$\sum_{k: t(v_k)=l} f_k^{(ij)} - \sum_{k: h(v_k)=l} f_k^{(ji)} = \begin{cases} t_{ij}, & \text{при } l = i \\ -t_{ij}, & \text{при } l = j \\ 0, & \text{в противном.} \end{cases} \quad (1)$$

Число условий в системе (1) соответствует количеству маршрутизаторов в сети. Сумма потоков $\sum_{i,j} f^{(ij)}$ представляет собой многопродуктовый поток, который соответствует всем требованиям на распределение потоков от всех источников ко всем потребителям. Требование на распределение потока может быть выполнено только в случае, если соответствующий ему поток не превосходит пропускную способность ребер и соответствующий коэффициент использования ребра не больше единицы:

$$\forall k: f(e_k) = \sum f^{ij}(e_k) \leq c(e_k) \text{ или } \rho(e_k) = \frac{f(e_k)}{c(e_k)} \leq 1. \quad (2)$$

Путь длиной $r \in N$ в направленном графе $G = (V, E)$ от вершины v_i к вершине v_j рассматривается как последовательность вершин $p = (e_1, \dots, e_r)$ и обозначается как (i, j) -путь. Каждый поток $f^{(ij)}$ проходит вдоль одного или нескольких путей. В данном случае под логической топологией сети понимается множество путей, сведенных в матрицу $P = (p_{ij})$, при этом каждому потоку предоставляется в распоряжение полоса пропускания некоторого пути:

$$\sum_{\forall p_{ij} \in P} c(p_{ij}) = \varphi^{ij}. \quad (3)$$

Максимальный коэффициент использования ребра показывает, является ли логическая топология сети оптимальной или нет [7], [8]:

$$\max_l \rho(e_l) = \max_l \frac{f(e_l)}{c(e_l)} \leq 1. \quad (4)$$

Для представления некоторой сети в качестве направленного связного и конечного графов необходимо, чтобы были выполнены следующие граничные условия:

- заранее известна физическая топология сети $G = (V, E)$ с конечным числом вершин $|V|$ и ребер $|E|$, а также доступная пропускная способность ребер $c(e)$;
- задана соответствующая матрица потоковых требований $T = (t_{ij})$.

Пусть $D_s = (d_s^{ij})$ – матрица размерности $V \times V$ с нулевыми диагональными элементами, заданная для трафика s -го класса сервиса. Каждый элемент d_s^{ij} может быть вычислен с помощью Гауссовской аппроксимации:

$$d_s^{ij} = \mu_s^{ij} + \alpha \sigma_s^{ij},$$

где μ_s^{ij} – математическое ожидание; σ_s^{ij} – стандартная девиация; α – множитель, задающий границу, в пределах которой оцениваемое требование полосы пропускания удовлетворяет изменчивости трафика.

Составим матрицу $R_s = (r_s^{ij})$, содержащую совокупность всех возможных маршрутов для D_s . При задании r возможных маршрутов, различных для каждого класса трафика s и для каждой пары узлов (v_i, v_j) , элементы r_s^{ij} матрицы определяются следующим образом:

$$\begin{cases} r_s^{ij}(h, l) = 1, \text{ если канал } e_l \text{ принадлежит маршруту } h (h = \overline{1, r}) \\ r_s^{ij}(h, l) = 0, \text{ в противном.} \end{cases} \quad (5)$$

С целью повышения согласованности при решении оптимизационной задачи в разрабатываемой модели необходимо описать процесс распределения канального ресурса (пропускной способности трактов передачи) между трафиками разных классов. Для решения данной задачи в качестве искомым выступают маршрутные переменные $x_s^r(i, j)$, определяемые как часть запроса d_s^{ij} , которая передается по маршруту r . Тогда систему уравнений (1) можно представить в следующем виде:

$$\sum_{k: t(v_k)=l} (x_s^r(i, j))_k - \sum_{k: h(v_k)=l} (x_s^r(j, i))_k = \begin{cases} d_s^{ij}, \text{ при } l = i \\ -d_s^{ij}, \text{ при } l = j \\ 0, \text{ в противном.} \end{cases} \quad (6)$$

Кроме того, с целью предотвращения возможной перегрузки трактов передачи в ходе расчета маршрутных переменных важно выполнить условие, учитывающее децентрализацию принимаемых решений по маршрутизации трафиков:

$$\sum_{s=1}^S \sum_{\forall p_{ij} \in P} x_s^r(i, j) \leq \varphi^{ij} - \sum_{s=1}^S \sum_{g \neq r} \sum_{\forall p_{ij} \in P} x_s^g(i, j). \quad (7)$$

Размерность условия (7) определяется количеством трактов передачи в сети. Физический смысл выражения состоит в том, что r -й трафик не должен по своей интенсивности превышать доступной пропускной способности тракта передачи, оставшейся после обслуживания других трафиков.

С учетом организации обслуживания сетевого трафика на основе использования классов условие (7) можно более детально представить в следующем виде:

$$\sum_{\forall p_{ij} \in P} x_s^r(i, j) \leq \beta_s^{ij} \varphi^{ij} - \sum_{g \neq r} \sum_{\forall p_{ij} \in P} x_s^g(i, j), \quad (8)$$

где β_s^{ij} – доля пропускной способности (i, j) -пути, зарезервированная для трафиков s -го класса и трактуемая в модели как управляющая переменная.

В случае идентичного распределения пропускной способности трактов передачи между классами трафика индексы (i, j) в переменных могут быть опущены, а их общее количество будет соответствовать количеству S классов обслуживания в сети. Введенный параметр

модели β_s^{ij} хорошо согласуется с принятыми на практике решениями, когда каналный ресурс делится в процентном соотношении между классами трафиков.

Согласно физическому смыслу маршрутных и управляющих переменных на них необходимо наложить ограничения вида:

$$0 \leq x_s^r(i, j) \leq d_s^{ij}, \quad 0 \leq \beta_s^{ij}, \quad \sum_{s=1}^S \beta_s^{ij} \leq 1. \quad (9)$$

В качестве критерия оптимальности в рамках предлагаемой модели выберем экстремум некоторой целевой функции, основным требованием к которой является учет технологических особенностей решаемой задачи:

$$\min_{\varphi} F \text{ при } F = \sum_{\forall e_l \in E} \gamma(e_l) \cdot \varphi^{ij}, \quad (10)$$

где $\gamma(e_l)$ – стоимостной коэффициент, определяющий интенсивность использования канала e_l в обходных маршрутах.

Таким образом, оптимизационную задачу в рамках предложенной модели (1-10) можно сформулировать следующим образом: при известных параметрах $G(V, E)$, D_s , R_s , β_s , $\gamma(e_l)$ и S необходимо найти такие значения пропускных способностей логических каналов (путей) φ^{ij} , которые обеспечивали бы минимизацию целевой функции F при соблюдении следующих ограничивающих условий:

1) $x_s^r(i, j) \geq 0, \forall s, r$ – переменные $x_s^r(i, j)$ являются неотрицательными;

2) $\sum_r x_s^r(i, j) = d_s^{ij}$ – после распределения запроса по нескольким маршрутам общее значение запроса полосы остается тем же;

3) $\sum_{\forall P_{i,j}(e_l)} x_s^r(i, j) = \varphi_s^{ij}$ – общая полоса пропускания для класса трафика s , передающегося по (i, j) -пути, представляет собой сумму всех частей трафика, выделенных для обслуживания в пределах многопродуктового потока s -го класса трафика;

4) $\sum_{s=1}^S \gamma(e_l) \cdot \varphi_s^{ij} = \varphi^{ij}$ – общая пропускная способность логического канала состоит из суммы всех существующих в этом канале классов трафика;

5) $\sum_{s=1}^S \varphi_s^{ij} \leq \beta_s^{ij} \cdot \varphi^{ij}$ – ограничения по полосе заданы моделью «матрешки».

6) $\varphi_s^{ij} \leq R_s$ – ограничение по пропускной способности канала s -го класса трафика.

7) $\varphi_s^{ij} \leq R_s$ – ограничение по пропускной способности канала s -го класса трафика.

8) $\varphi_s^{ij} \leq R_s$ – ограничение по пропускной способности канала s -го класса трафика.

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ЛОГИЧЕСКОЙ ТОПОЛОГИИ СЕТИ В УСЛОВИЯХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Для решения поставленной задачи предложен алгоритм, основанный на использовании метода ослабления Лагранжа [1, 3]. При реализации алгоритма использованы два набора коэффициентов Лагранжа, каждый из которых содержит несколько коэффициентов по числу каналов, рассматриваемых при расчете сети. На первом этапе исключаются ограничения 4 и 5 путем их включения в другие ограничения и целевую функцию. Затем ослабляются результирующие ограничивающие условия 2 и 3 за счет их включения в новую целевую функцию. Если найденное решение не удовлетворяет ограничивающим условиям, то необходимо увеличить значения коэффициентов, соответствующих данным условиям, в модифицированной целевой функции, таким

образом приближая решение к оптимальному.

Для определения коэффициентов Лагранжа в работе использован метод субградиентной оптимизации. Пусть ϖ_{1b}^0 и ϖ_{2b}^0 – первоначальные значения коэффициентов, тогда последующие значения ϖ_{1b} и ϖ_{2b} определяются в соответствии с выражениями:

$$\varpi_{1b}^{k+1} = \left[\varpi_{1b}^k + \theta_{1b}^k \left(\sum_r x_s^r(i, j)^k - d_s^{ij} \right) \right]^+ \quad (11)$$

$$\varpi_{2b}^{k+1} = \left[\varpi_{2b}^k + \theta_{2b}^k \left(\sum_{s=1}^S \sum_{\forall P_{i,j}(e_l)} x_s^r(i, j) - \beta_s^{ij} \cdot \sum_{s=1}^S \sum_{\forall P_{i,j}(e_l)} \gamma(e_l) \cdot x_s^r(i, j) \right) \right]^+ \quad (12)$$

В этих выражениях символ $[\varpi]^+$ означает положительную часть ϖ , а $x_s^r(i, j)^k$ представляет любое решение проблемы Лагранжа при условии $\varpi = \varpi^k$. Переменная θ^k определяет длину шага на k -й итерации, т.е. величину продвижения в направлении градиента.

$$\theta_{1b}^k = \frac{\lambda_k [F_{onm} - \mathcal{L}(\varpi^k)]}{\left\| \sum_r x_s^r(i, j)^k - d_s^{ij} \right\|^2} \quad (13)$$

$$\theta_{2b}^k = \frac{\lambda_k [F_{onm} - \mathcal{L}(\varpi^k)]}{\left\| \sum_{s=1}^S \sum_{\forall P_{i,j}(e_l)} x_s^r(i, j) - \beta_s^{ij} \cdot \sum_{s=1}^S \sum_{\forall P_{i,j}(e_l)} \gamma(e_l) \cdot x_s^r(i, j) \right\|^2} \quad (14)$$

В выражениях (13) и (14) F_{onm} представляет собой верхнюю границу оптимального значения целевой функции, а $\lambda_k = \overline{0, 2}$ – скалярный коэффициент.

В начале работы алгоритма F_{onm}' является значением целевой функции для любого известного решения, подходящего для проблемы оптимизации, а значение скаляра $\lambda_k = 2$. На следующих шагах алгоритм уменьшает λ_k с помощью коэффициента 2 и обновляет значение F_{onm} каждый раз, когда находится лучшее значение целевой функции (с меньшей стоимостью), и так до тех пор, пока не будет превышено определённое число итераций (рис. 1).

После того, как найдены оптимальные коэффициенты Лагранжа, вычисляются полосы пропускания для каждого класса трафика s , передающегося по (i, j) -пути:

$$\varphi_s^{ij} = \sum_{\forall P_{i,j}(e_l)} x_s^r(i, j), \quad (15)$$

а затем общая пропускная способность для каждого логического канала:

$$\varphi^{ij} = \gamma(e_l) \sum_{s=1}^S \varphi_s^{ij}. \quad (16)$$

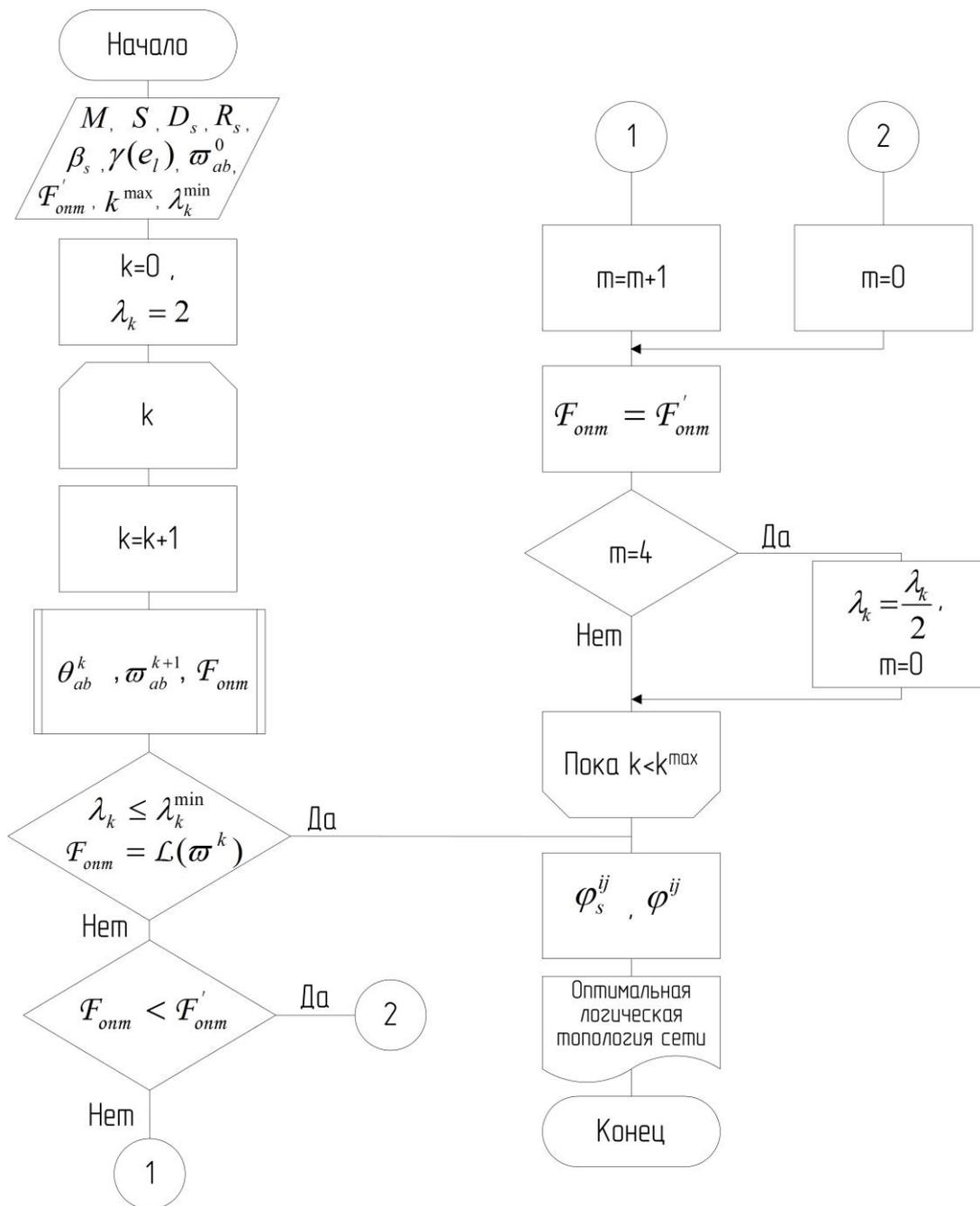


Рисунок 1 – Алгоритм оптимизации логической топологии сети в условиях дифференциального обслуживания

В алгоритме k^{\max} и λ_k^{\min} – постоянные величины, задающие максимальное число итераций, которые будут выполнены и, соответственно, показатель того, насколько малым может быть λ_k . Оба значения являются критериями остановки поиска оптимальной логической топологии сети и могут быть заданы администратором. Другим критерием остановки является вычисление того, насколько нижняя граница улучшилась по сравнению с

предыдущим найденным значением. Алгоритм может остановиться, если улучшения становятся незначительными, что означает, что была найдена достаточно хорошая граница.

Использование субградиентной оптимизации для решения проблемы определения коэффициентов Лагранжа привлекательно по нескольким причинам: это позволяет эффективно использовать структуру потоков базовой сети, кроме того, формулы для обновления коэффициентов Лагранжа ϖ_{ab} являются достаточно простыми для вычисления и их легко закодировать в компьютерной программе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс оптимизации любой сети, в том числе и СПД распределенной АСУ ПП, включает в себя распределение ресурсов пропускной способности между набором заданных путей и преобразование их в физическую сеть трактов с ограничением производительности. При этом важно определить пороги производительности трактов, связанных с использованием некоторой схемы резервирования пропускной способности в целях управления качеством обслуживания при помощи ограничения пропускной способности или предоставления приоритета доступа одного типа трафика над другим.

Предложенные в работе решения позволяют дать ответы на ряд вопросов, связанных с обеспечением гарантии предоставления минимального объема ресурсов для низкоприоритетных потоков, увеличения вероятности принятия потоков с высокими требованиями к пропускной способности, а также управления сетевой стабильностью при помощи предотвращения ухудшения характеристик в случае локальной перегрузки.

Модель и алгоритм могут быть использованы в любых сетях, реализующих стратегию маршрутизации «от источника». Развитие предложенных решений видится в переходе к нелинейным представлениям системы с дополнением архитектур управления процедурами анализа устойчивости ее состояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сингх М., Титли А. Системы: декомпозиция, оптимизация и управление. – М.: Машиностроение, 1986. – 494 с.
2. Малашенко Ю. Е., Новикова Н.М. Модели неопределенности в многопользовательских сетях. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 160 с.
3. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
4. Еременко В.Т. Направления и проблемы интеграции автоматизированных систем управления для предприятий с непрерывным технологическим циклом / В.Т. Еременко, Д.С. Мишин, Т.М. Парамохина, А.В. Еременко, С.В. Еременко // Информационные системы и технологии, 2014. – № 3. – С. 51-58.
5. Еременко В.Т. Анализ технических решений по построению модульных структур сбора и обработки данных газотранспортных предприятий / В.Т. Еременко, Д.С. Мишин, А.Н. Осипов, Н.Г. Пеньков, А.Г. Полякова, С.Н. Иванова // Информационные системы и технологии, 2014. – № 2(82). – С. 93-100.
6. Еременко В.Т., Полянский И.С., Беседин И.И. Методологические аспекты синтеза оптимальной древовидной структуры в системах сбора и обработки информации // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2013. – № 11. – С. 15-21.
7. Офицеров А.И., Еременко В.Т. Методы управления информационными потоками в сетях передачи данных на основе резервирования ресурсов // Методы и устройства передачи и обработки информации. Межвузовский сборник научных трудов. – Выпуск 11. – М.: «Радиотехника», 2009. – С. 340-346.

8. Офицеров А.И., Афонин С.И., Демидов А.В. Моделирование процессов информационного обмена с приоритетами в сетях передачи данных промышленных // «Информационные технологии в науке, образовании и производстве». Материалы международной научно-технической конференции. – Орел: ОрелГТУ, 2010. – Т. 1. – С. 188-191.
9. Офицеров А.И. Синтез сетей передачи данных автоматизированных систем управления на основе критерия неблокируемой маршрутизации / А.И. Офицеров, С.И. Афонин, В.Т. Еременко, О.О. Басов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия «История. Политология. Экономика. Информатика», 2011. – № 7 (102). – Выпуск 18/1. – С. 168-176.

Офицеров Александр Иванович

Академия ФСО России, г. Орел
Кандидат технических наук, сотрудник
Тел.: 8 (4862) 54-99-13
E-mail: officerow@mail.ru

Фокин Александр Борисович

Академия ФСО России, г. Орел
Сотрудник
Тел.: 8 (4862)54-99-13
E-mail: abfokin@mail.ru

A.I. OFICEROV (*Candidate of Engineering Sciences, Employee*)

A.B. FOKIN (*Employee*)

Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel

**MODEL AND ALGORITHM OF OPTIMUM ALLOCATION
OF INFORMATION FLOWS OF THE DATA INTERCHANGE
IN THE AUTOMATED MANAGEMENT SYSTEM
OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE**

In article the model and algorithm of optimum allocation of information highways of a data interchange are considered. Within the limits of the offered model the main regularities of processes of allocation of transmission capacity of transmission paths of a network in interests of the traffic of this or that class are formalized. On a model output the task on optimization of managerial processes by a channel resource of a network for which decision the algorithm is offered is formulated.

Keywords: *data network; logical topology; multigrocery flow; carrier capacity; channel resource; criterion function; optimum allocation.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Singx M., Titli A. Sistemy': dekompoziciya, optimizaciya i upravlenie. – M.: Mashinostroenie, 1986. – 494 s.
2. Malashenko Yu. E., Novikova N.M. Modeli neopredelenosti v mnogopol'zovatel'skix setyax. – M.: E'ditorial URSS, 1999. – 160 s.
3. Mesarovich M., Mako D., Takaxara I. Teoriya ierarxicheskix mnogourovnevny'x sistem. – M.: Mir, 1973. – 344 s.
4. Eremenko V.T. Napravleniya i problemy' integracii avtomatizirovanny'x sistem upravleniya dlya predpriyatij s neprery'vny'm texnologicheskim ciklom / V.T. Eremenko, D.S. Mishin, T.M. Paramoxina, A.V. Eremenko, S.V. Eremenko // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2014. – № 3. – S. 51-58.
5. Eremenko V.T. Analiz texnicheskix reshenij po postroeniyu modul'ny'x struktur sbora i obrabotki danny'x

- gazotransportny'x predpriyatij / V.T. Eremenko, D.S. Mishin, A.N. Osipov, N.G. Pen'kov, A.G. Polyakova, S.N. Ivanova // *Informacionny'e sistemy' i tehnologii*, 2014. – № 2(82). – S. 93-100.
6. Eremenko V.T., Polyanskij I.S., Besedin I.I. Metodologicheskie aspekty' sinteza optimal'noj drevovidnoj struktury' v sistemax sbora i obrabotki informacii // *Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x tehnologij*, 2013. – № 11. – S. 15-21.
 7. Oficerov A.I., Eremenko V.T. Metody' upravleniya informacionny'mi potokami v setyax peredachi danny'x na osnove rezervirovaniya resursov // *Metody' i ustrojstva peredachi i obrabotki informacii. Mezhvuzovskij sbornik nauchny'x trudov. – Vy'pusk 11. – M.: «Radiotekhnika», 2009. – S. 340-346.*
 8. Oficerov A.I., Afonin S.I., Demidov A.V. Modelirovanie processov informacionnogo obmena s prioritetami v setyax peredachi dannyx promyshlennyx // *«Informacionny'e tehnologii v nauke, obrazovanii i proizvodstve». Materialy' mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii. – Orel: OrelGTU, 2010. – T. 1. – S. 188-191.*
 9. Oficerov A.I. Sintez setej peredachi danny'x avtomatizirovanny'x sistem upravleniya na osnove kriteriya neblokiruemoj marshrutizacii / A.I. Oficerov, S.I. Afonin, V.T. Eremenko, O.O. Basov // *Nauchny'e vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Istoriya. Politologiya. E'konomika. Informatika», 2011. – № 7 (102). – Vypusk 18/1. – S. 168-176.*

УДК 621.391.8

А.П. ФИСУН, А.В. НИКОЛАЕВ,
А.В. КОЛИНЬКО, Е.Н. ДЕРКАЧ

АНАЛИЗ АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРИЕМА СИГНАЛОВ КВ-ДИАПАЗОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

В статье рассмотрена возможность повышения качества КВ-радиосвязи за счет применения адаптивной пространственной обработки сигналов. Проведен детальный анализ и моделирование алгоритмов. Показана необходимость введения обратной связи в алгоритм для повышения качества демодуляции сигналов.

Ключевые слова: КВ-радиосвязь; адаптивная антенная решетка; адаптивная пространственная обработка сигналов; вектор весовых коэффициентов.

ВВЕДЕНИЕ

Основная особенность КВ-радиосвязи, ограничивающая ее преимущества перед другими системами радиосвязи, – сложные, непрерывно протекающие процессы в ионосфере, под воздействием которых изменяется структура проходящих через нее электромагнитных волн (ЭМВ) [1]. Для обеспечения устойчивой КВ-радиосвязи необходима постоянная адаптация параметров линии связи к условиям распространения радиоволн. При этом одним из перспективных методов является применение антенн с автоматической регулировкой диаграмм направленности, что дает возможность отказаться от радиально-узлового принципа организации радиосвязи в пользу сетевого с адаптивной маршрутизацией. Это позволит исключить использование нижней части КВ-диапазона, благодаря чему снизится уровень помех и повысится эффективность антенно-фидерных устройств [2].

Современное развитие цифровой обработки сигналов, широкое применение цифровых сигнальных процессоров и программируемых логических интегральных схем позволяет реализовывать сложные параллельные вычисления и создает предпосылки для разработки новых научно-технических решений для повышения качества КВ-радиосвязи.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследования показывают [1, 2], что в КВ-диапазоне перспективным методом повышения качества радиосвязи является адаптивная пространственная обработка сигналов (АПОС), которая имеет возможность подавления помех, тождественных по частотно-временным параметрам полезному сигналу, требует ограниченный объем априорной информации о характеристиках полезных сигналов и помех, а также совместима с другими методами обработки сигналов. При этом эффективность АПОС определяется используемыми алгоритмами, задача синтеза которых формулируется как задача оптимизации некоторой целевой функции $\Phi(\mathbf{W})$, где \mathbf{W} – вектор весовых коэффициентов (ВВК), который определяет амплитудно-фазовое распределение токов в каналах адаптивной антенной решетки (ААР).

Целевая функция (ЦФ) в задачах АПОС, как правило, нелинейно зависит от \mathbf{W} , вследствие чего синтез алгоритмов базируется на теории нелинейного программирования [3]. При этом адаптивные свойства алгоритмов заключаются в том, что оптимизация

осуществляется в условиях априорно неизвестной (либо частично известной) и изменяющейся во времени сигнально-помеховой обстановке (СПО) с использованием вместо неизвестных параметров их выборочных оценок.

В соответствии с [4, 5] алгоритмы АПОС различают на:

- алгоритмы, синтезированные по критерию минимума среднеквадратичного отклонения (МСКО) принимаемого сигнала от опорного и осуществляющие подавление всех сигналов, не совпадающих по структуре с опорным, однако не обеспечивающие подавление оптимизированной помехи, совпадающей по структуре с полезным сигналом;
- алгоритмы, использующие априорную информацию о направлении прихода полезного сигнала и реализующие критерий максимума выходного отношения мощности полезного сигнала к сумме мощностей помех и шума (МОСП);
- алгоритмы, синтезированные без применения априорной информации о характеристиках полезного сигнала, реализующие критерий минимума мощности сигнала на выходе антенной решетки (АР) (ММВ);
- алгоритмы, синтезированные по критерию ММВ при ограничении на коэффициенты усиления АР (ММВО).

Таким образом, необходимо провести анализ указанных алгоритмов на предмет возможности их использования для повышения качества КВ-радиосвязи.

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ПО КРИТЕРИЮ МОСП

Алгоритмы АПОС, синтезированные по критерию МОСП, получают путем решения оптимизационной задачи [4]:

$$\Phi_{\text{мосп}}(\mathbf{W}) = \frac{0.5 E\{y_c(t)y_c(t)^*\}}{0.5 E\{y_n(t)y_n(t)^*\} + 0.5 E\{y_{\text{ш}}(t)y_{\text{ш}}(t)^*\}}, \quad (1)$$

где $y_c(t)$, $y_n(t)$, $y_{\text{ш}}(t)$ – соответствующие э.д.с. сигнала, помех и шума на выходе ААР, представленные в виде аналитических сигналов; $E\{\dots\}$, $*$ – обозначение операций математического ожидания и комплексного сопряжения соответственно.

Применительно к ААР

$$y_c(t) = \mathbf{W}^T \mathbf{S}(t), \quad y_n(t) = \mathbf{W}^T \mathbf{P}(t), \quad y_{\text{ш}}(t) = \mathbf{W}^T \mathbf{I}(t), \quad (2)$$

где $\mathbf{P}(t) = \sum_{k=1}^L \mathbf{P}_k(t)$; $\mathbf{S}(t)$, $\mathbf{P}_k(t)$, $\mathbf{I}(t)$ – N -мерные векторы сигнала, k -ой помехи и шума на выходах АЭ соответственно. С учетом (2) выражение (1) принимает вид

$$\Phi_{\text{мосп}}(\mathbf{W}) = \mathbf{W}^+ \mathbf{R}_{\text{cc}} \mathbf{W} / (\mathbf{W}^+ \mathbf{R}_{\text{шш}} \mathbf{W}), \quad (3)$$

где $\mathbf{R}_{\text{cc}} = E\{\mathbf{S}\mathbf{S}^+\}$ – корреляционная матрица (КМ) сигнала; $\mathbf{R}_{\text{шш}} = \mathbf{R}_{\text{пш}} + \mathbf{R}_{\text{шш}}$ – КМ помех и шума; $\mathbf{R}_{\text{пш}} = E\{\mathbf{P}\mathbf{P}^+\}$ – КМ помех; $\mathbf{R}_{\text{шш}} = E\{\mathbf{I}\mathbf{I}^+\}$ – КМ шума; $+$ – обозначение операции эрмитового сопряжения.

Известно [4], что решением оптимизационной задачи (3) является ВВК

$$\mathbf{W}_{\text{мосп}} = \beta \cdot \mathbf{R}_{\text{шш}}^{-1} \cdot \mathbf{V}_c, \quad (4)$$

где $\mathbf{V}_c^T = [1 \ e^{i\varphi_c} \dots e^{i\varphi_c j} \dots e^{i\varphi_c(N-1)}]$ – вектор волнового фронта сигнала в случае АР, состоящий из идентичных и невзаимодействующих АЭ; β – постоянный коэффициент.

Синтез рекуррентных алгоритмов нахождения ВВК удобно проводить с использованием эквивалентной ЦФ [6]:

$$\Phi(\mathbf{W}) = \mathbf{W}^+ \mathbf{R}_{\text{ппш}} \mathbf{W} - 2\mathbf{W}^+ \mathbf{V}_c. \quad (5)$$

Применяя градиентный метод [7], получим:

$$\mathbf{W}_{k+1} = \mathbf{W}_k - \mu_k (\mathbf{R}_{\text{ппш}} \mathbf{W}_k - \mathbf{V}_c), \quad (6)$$

где μ_k – шаговая постоянная на k -ом шаге.

Для обеспечения сходимости (6) к соответствующему оптимальному значению (4) шаговая постоянная должна выбираться из условия [8]:

$$0 < \mu_k < 1 / \lambda_{\text{max}}(\mathbf{R}_{\text{ппш}}),$$

где $\lambda_{\text{max}}(\mathbf{R}_{\text{ппш}})$ – максимальное собственное число корреляционной матрицы $\mathbf{R}_{\text{ппш}}$.

Рассмотренные значение ВВК (4) и итерационная процедура (6) предполагают, что полезный сигнал на входе ААР во время расчета ВВК либо отсутствует, либо искусственно исключен из входных реализаций [8]. Однако применительно к системам приема КВ-радиосигналов данное условие невыполнимо. Кроме того, на практике вместо вектора волнового фронта сигнала \mathbf{V}_c известна только его некоторая оценка – управляющий вектор \mathbf{V}_y , предположительно соответствующий \mathbf{V}_c . Поэтому при отсутствии во время расчета ВВК полезного сигнала выражение (4) принимает вид:

$$\mathbf{W}_{\text{мосп}} = \beta \cdot \mathbf{R}_{\text{ппш}}^{-1} \cdot \mathbf{V}_y, \quad (7)$$

а при наличии полезного сигнала –

$$\mathbf{W}_{\text{пс}} = \beta \cdot \mathbf{R}_{\text{xx}}^{-1} \cdot \mathbf{V}_y, \quad (8)$$

где $\mathbf{R}_{\text{xx}} = \{ \mathbf{X}\mathbf{X}^+ \} = \mathbf{R}_{\text{сс}} + \mathbf{R}_{\text{ппш}}$ – КМ сигнала, помех и шума, \mathbf{X} – вектор выходных сигналов АР.

АПОС ПРИ НАЛИЧИИ ТОЧНОЙ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ О НАПРАВЛЕНИИ ПРИХОДА ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА

В [4] показано, что при наличии точной априорной информации о направлении прихода полезного сигнала алгоритмы (7, 8) обеспечивают синфазное сложение сигнала ($\mathbf{W}_{\text{мосп}} = \mathbf{W}_{\text{пс}}$), а при наличии помех всегда справедливо неравенство $\eta_{\text{вых}} \geq \eta_{\text{вх}}$ ($\eta_{\text{вх}}, \eta_{\text{вых}}$ – отношение сигнал/помеха+шум (ОСПШ), соответственно, на входе и на выходе ААР). При этом равенство $\eta_{\text{вых}} = \eta_{\text{вх}}$ возможно только при наличии одной помехи ($L=1$), совпадающей по направлению прихода с сигналом.

Действительно, при отсутствии помех ($L = 0$) ОСПШ на выходе ААР [4] (с учетом $\mathbf{V}_y = \mathbf{V}_c$ и $\mathbf{R}_{\text{ппш}} = \sigma_{\text{ш}}^2 \mathbf{I}$, где $\sigma_{\text{ш}}^2$ – дисперсия теплового шума; \mathbf{I} – единичная диагональная матрица)

$$\eta_{\text{вых}} = \frac{\mathbf{W}^+ \mathbf{R}_{\text{св}} \mathbf{W}}{\mathbf{W}^+ \mathbf{R}_{\text{ш}} \mathbf{W}} = \frac{\mathbf{V}_c^+ \mathbf{R}_{\text{св}} \mathbf{V}_c}{\sigma_{\text{ш}}^2 \mathbf{V}_c^+ \mathbf{V}_c} = N(P_c / \sigma_{\text{ш}}^2) \quad (9)$$

за счет синфазного сложения полезных сигналов с каждого АЭ в N раз больше ОСПШ на входе $\eta_{\text{вых}} = P_c / \sigma_{\text{ш}}^2$.

При наличии одной помехи ($L = 1$) на основании (7) запишем

$$\mathbf{W} = \alpha((\sigma_{\text{ш}}^2 + P_n \mathbf{V}_n^+ \mathbf{V}_n) \mathbf{I} - P_n \mathbf{V}_n \mathbf{V}_n^+) \mathbf{V}_y, \quad (10)$$

где $\alpha = 1 / (\sigma_{\text{ш}}^2 + P_n \mathbf{V}_n^+ \mathbf{V}_n)$.

Тогда при $\mathbf{V}_c = \mathbf{V}_n$ непосредственно из (10) получим $\mathbf{W} = \beta_1 \cdot \mathbf{V}_y$, то есть ВВК \mathbf{W} обеспечивает синфазность сложения как сигнала, так и помехи и $\eta_{\text{вых}} = \eta_{\text{вх}} N / N = \eta_{\text{вх}}$. В случае же, когда $\mathbf{V}_c \neq \mathbf{V}_n$ ВВК в соответствии с (10) осуществляет подавление помехи, обеспечивая тем самым $\eta_{\text{вых}} > \eta_{\text{вх}}$.

В случае $L \geq 2$ положим, что для l -ой помехи справедливо $\mathbf{V}_l = \mathbf{V}_c = \mathbf{V}_y$ и на основании леммы об обращении матриц [9] запишем

$$\mathbf{R}_{\text{ш}}^{-1} = (\mathbf{R}_{\text{ш}}^{-1} - \mathbf{R}_{\text{ш}}^{-1} \mathbf{V}_y \mathbf{V}_y^+ \mathbf{R}_{\text{ш}}^{-1} / (1 + \mathbf{V}_y^+ \mathbf{R}_{\text{ш}}^{-1} \mathbf{V}_y)), \quad (11)$$

где $\mathbf{R}_{\text{ш}} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq l}}^L P_{nj} \mathbf{V}_j \mathbf{V}_j^+ + \sigma_{\text{ш}}^2 \mathbf{I}$ – КМ шума и всех помех, кроме l -ой.

Подставляя (11) в (7) имеем

$$\mathbf{W} = \beta \cdot \mathbf{R}_{\text{ш}}^{-1} \cdot \mathbf{V}_y. \quad (12)$$

Из (12) следует, что \mathbf{W} обеспечивает максимизацию отношения $\eta_{\text{вых}l} = P_{\text{св}l} / P'_{\text{пв}l}$ ($P_{\text{св}l}$ – мощность сигнала, $P'_{\text{пв}l}$ – суммарная мощность шума и $(L-1)$ помех на выходе ААР). Очевидно, что если $\eta_{\text{вых}l}$ максимально, а $P_{\text{св}l} / P_{\text{л}l} = P_c / P_l$ ($P_{\text{св}l}$, $P_{\text{л}l}$ – мощности сигнала и l -ой помехи на выходе, а P_c , P_l – мощности сигнала и l -ой помехи на входе ААР), то $\eta_{\text{вых}} > \eta_{\text{вх}}$. Учитывая, что $\mathbf{R}_{\text{св}} = \mathbf{R}_{\text{ш}} + P_c \mathbf{V}_c \mathbf{V}_c^+$ [4] и используя лемму об обращении матриц [9], получим тождество $\mathbf{R}_{\text{св}} \cdot \mathbf{V}_y = \beta_l \cdot \mathbf{R}_{\text{ш}}^{-1} \cdot \mathbf{V}_y$. Следовательно, приведенные выше рассуждения справедливы также и для алгоритма, представленного выражением (8).

Из вышеизложенного непосредственно следует целесообразность применения при решении задач АПОС алгоритмов (7, 8) (ОСПШ на выходе ААР никогда не будет меньше ОСПШ на входе).

Анализ качества алгоритмов АПОС был проведен на ПЭВМ методами аналитического моделирования. При этом были рассмотрены две ААР – кольцевая восьмиэлементная радиусом $R=20$ м с одним элементом в центре и линейная восьмиэлементная с таким же расстоянием между АЭ. В качестве АЭ использовались несимметричные вибраторы.

На вход ААР поступал полезный сигнал с углом прихода $\Theta_c = 60^\circ$ и помехи:

$$\Theta_{n1} = 0^\circ \dots 360^\circ; \Theta_{n2} = 105^\circ; \Theta_{n3} = 30^\circ.$$

Соотношение мощностей сигнала и помех на входе ААР:

$$P_c / P_{n1} = -10 \text{дБ}; P_c / P_{n2} = 0 \text{дБ}; P_c / P_{n3} = 0 \text{дБ}.$$

Соотношение мощности сигнала и собственных шумов приемной системы пересчитанных ко входу ААР $P_c / \sigma_{ш}^2 = 20\text{дБ}$.

Результаты моделирования представлены на рисунке 1 в виде графиков зависимости отношения мощности сигнала к суммарной мощности помех и шума (ОСПШ) на выходе ААР от угла прихода первой помехи ($\Theta_{п1} - var$). На рисунке 2 приведена диаграмма направленности ААР для этих же условий СПО при фиксированном значении угла прихода первой помехи ($\Theta_{п1} = 210^0$). Для сравнения на рисунке 3 приведена диаграмма направленности (ДН) ААР, реализующей алгоритм МОСП в случае отсутствия помех на ее входе.

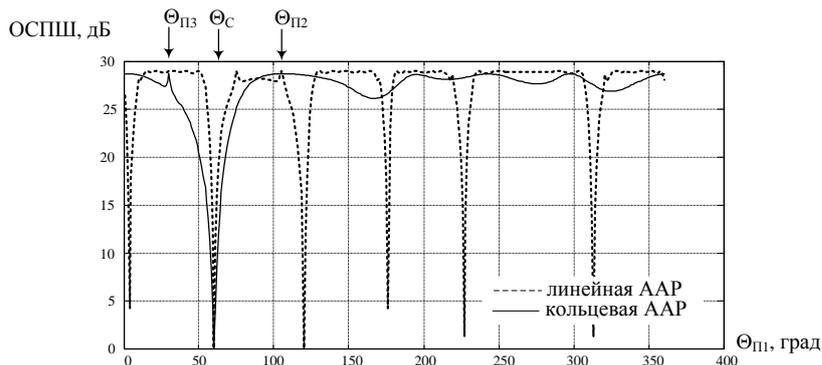


Рисунок 1 – Зависимость ОСПШ от угла прихода помехи

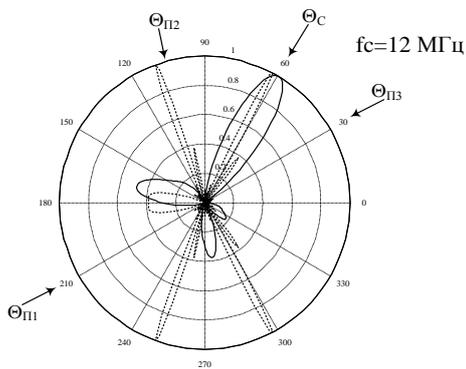


Рисунок 2 – ДН ААР при наличии 3-х помех

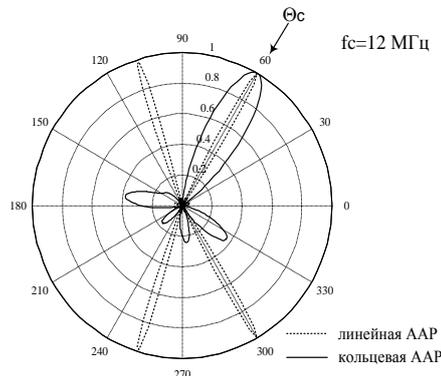


Рисунок 3 – ДН ААР при отсутствии помех

Анализ приведенных графиков показывает:

1. АПОС на основе алгоритмов МОСП позволяет существенно улучшить соотношение сигнал/(помеха+шум) на входе радиоприемного устройства.
2. Наилучшие результаты показывает кольцевая АР, ОСПШ на выходе которой практически оказывается не хуже 25 дБ. В отличие от линейной ААР у нее отсутствуют паразитные минимумы в ДН, приводящие к подавлению полезного сигнала при определенных условиях СПО.
3. АПОС на основе алгоритмов МОСП не приводит к ухудшению ОСПШ на выходе

ААР по сравнению со входом. Так, при совпадении углов прихода сигнала и помехи ($\Theta_c = \Theta_{п1} = 60^\circ$) ОСПШ на выходе ААР равно ОСПШ на ее входе. При отсутствии же помех алгоритм МОСП формирует ДН ААР с максимумом в направлении прихода сигнала (рис.3).

АПОС ПРИ ОТСУТСТВИИ ТОЧНОЙ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ О НАПРАВЛЕНИИ ПРИХОДА ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА

При отсутствии точной априорной информации о сигнале ($V_c \neq V_y$) условие ($\eta_{\text{вых}} > \eta_{\text{вх}}$) не выполняется. В частности, при отсутствии помех $R_{xx} = P_c V_c V_c^+ + \sigma_{ш}^2 I$ выражение (8) принимает вид:

$$W_{\text{мосп}} = \beta((V_c^+ V_c + \sigma_{ш}^2 / P_c) V_y - \rho V_c), \quad (13)$$

где $\rho = V_c^+ V_y$.

Используя (13) и полагая $\|V_y\| = \|V_c\| = \sqrt{N}$ ($\|*\|$ – обозначение нормы в N -мерном евклидовом пространстве), $\beta = 1$, получим:

$$\xi(W_{\text{мосп}}) = N^2 (\cos \gamma)^2, \quad \eta_{\text{вых}}(W_{\text{мосп}}) = (P_c / \sigma_{ш}^2) N (\cos \gamma)^2, \quad (14)$$

$$\xi(W_{\text{пс}}) = N^2 (\cos \gamma)^2 (\sigma_{ш}^2 / P_c)^2, \quad (15)$$

$$\eta_{\text{вых}}(W_{\text{пс}}) = \frac{P_c}{\sigma_{ш}^2} \frac{N^2 (\cos \gamma)^2 (\sigma_{ш}^2 / P_c)^2}{(N + \frac{\sigma_{ш}^2}{P_c}) + N^2 (\cos \gamma)^2 - 2N(N + \frac{\sigma_{ш}^2}{P_c}) (\cos \gamma)}, \quad (16)$$

где $\xi(*) = P_{\text{свых}} / P_c$; $\cos \gamma = |\rho| / (\|V_y\| \|V_c\|)$ (γ – обобщенный угол между V_y и V_c в комплексном векторном пространстве; $\cos \gamma$ – коэффициент пространственной корреляции (КПК) [10]).

Из выражений (14-16) видно, что для обоих алгоритмов мощности сигнала и ОСПШ на выходе ААР зависят от величины КПК, характеризующего степень «близости» векторов V_y и V_c .

В случае невыполнения условия $V_c = V_y$ использование алгоритмов МОСП может привести к полному подавлению полезного сигнала даже при отсутствии помех.

Анализ качества алгоритмов АПОС был проведен аналогично предыдущему случаю. Значение ошибки в определении направления прихода сигнала предполагалось $\Delta \Theta_c = 5^\circ$.

Результаты моделирования представлены соответственно на рисунке 4 в виде графиков зависимости ОСПШ на выходе ААР от угла прихода первой помехи ($\Theta_{п1} - \text{var}$). На рисунке 5 приведена диаграмма направленности ААР для этих же условий СПО при фиксированном значении угла прихода первой помехи ($\Theta_{п1} = 210^\circ$).

Для сравнения на рисунке 6 приведена диаграмма направленности ААР, реализующая алгоритм МОСП в случае отсутствия помех на входе антенной системы.

Анализ приведенных графиков показывает:

1. АПОС на основе алгоритмов МОСП в условиях даже сравнительно небольших значений ошибки в определении направления прихода сигнала существенно ухудшает

ОСПШ на выходе ААР по сравнению со входом (происходит подавление полезного сигнала).

2. При отсутствии помех алгоритм МОСП даже при сравнительно небольших значениях ошибки в определении направления прихода сигнала ($\Delta\Theta_c = 5^\circ$) формирует ДН ААР с максимумом, не совпадающим с направлением прихода полезного сигнала (рис. 6).

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА АЛГОРИТМОВ АПОС, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ПО КРИТЕРИЮ ММВ

Алгоритмы АПОС, синтезированные по критерию (минимума мощности выходного сигнала АР) ММВ, получают путем решения оптимизационной задачи [4]:

$$\min_W \Phi_{\text{ММВ}}(W) = W^+ R_{\text{XX}} W. \quad (17)$$

Целевая функция $\Phi_{\text{ММВ}}(W)$ является эрмитовой (квадратичной) формой [11], следовательно, для решения оптимизационной задачи (17) можно применить градиентный метод вычисления значения ВВК:

$$W_{k+1} = W_k - 2\mu_k R_{\text{XX}} W_k. \quad (18)$$

Условие устойчивой сходимости алгоритма (18) имеет вид [4]:

$$0 < \mu_k < 1/P_{\text{ВХ}},$$

где $P_{\text{ВХ}}$ – суммарная мощность сигнала, помех и шума на входе ААР.

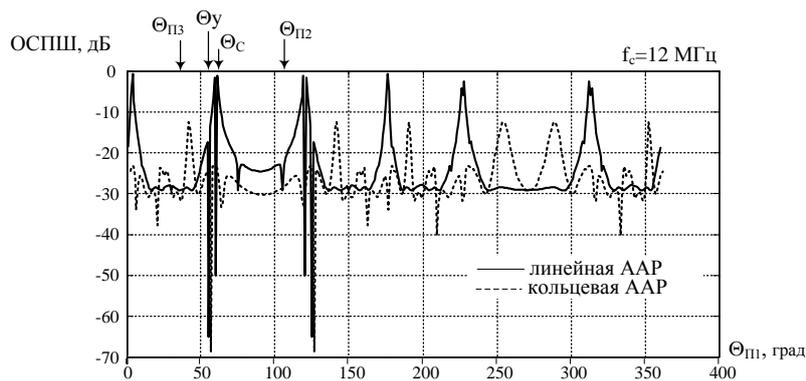


Рисунок 4 – Зависимость ОСПИ от угла прихода помехи

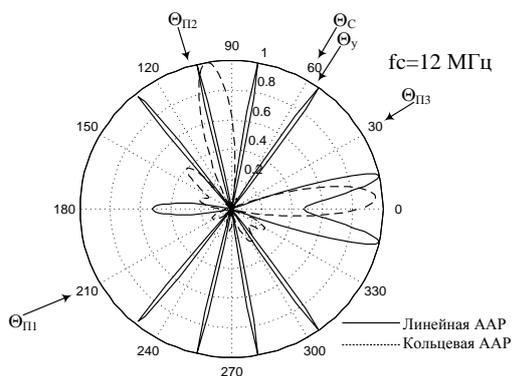


Рисунок 5 – ДН ААР при ошибке в определении направления прихода сигнала

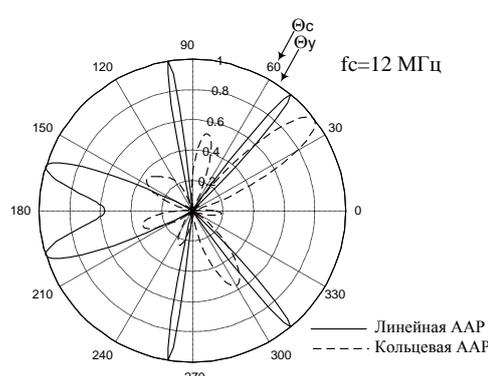


Рисунок 6 – ДН ААР при ошибке в определении направления прихода сигнала

Заменяя в (18) КМ \mathbf{R}_{xx} ее «мгновенной» оценкой, полученной по одному выборочному отсчету, получим стохастический рекуррентный алгоритм для вычисления ВВК по отсчетам сигналов на входе и выходе ААР (алгоритм с обратной связью):

$$\mathbf{W}_{k+1} = \mathbf{W}_k - 2\mu_k y_k \mathbf{X}_k, \quad (19)$$

сходимость которого доказывается методами стохастической аппроксимации [8].

Для исключения вырожденного решения алгоритмы ММВ могут быть синтезированы с использованием нелинейных ограничений на ВВК путем решения оптимизационной задачи

$$\min_{\mathbf{W}} \Phi_{\text{ММВ}}(\mathbf{W}), \quad \Phi_{\text{ММВ}}(\mathbf{W}) = \mathbf{W} + \mathbf{R}_{xx} \mathbf{W}, \quad \mathbf{W}^+ \mathbf{W} = 1. \quad (20)$$

Итерационные процедуры, обеспечивающие решение (20), имеют вид:

$$\mathbf{W}_{k+1} = \mathbf{W}_k - 2\mu_k (\mathbf{R}_{xx} + (\mathbf{W}_k + \mathbf{R}_{xx} \mathbf{W}_k) \mathbf{I}) \mathbf{W}_k, \quad (21)$$

$$\mathbf{W}_{k+1} = \mathbf{W}_k - 2\mu_k (y_k \mathbf{X}_k + |y_k| 2\mathbf{W}_k). \quad (22)$$

Можно показать [6], что решением оптимизационных задач (17) и (20) будет собственный вектор соответствующий минимальному собственному числу КМ \mathbf{R}_{xx} :

$$\mathbf{W}_{\text{ММВ}} = Q(\lambda_{\min}(\mathbf{R}_{xx})). \quad (23)$$

При этом качество алгоритмов, синтезированных по критерию ММВ, будет зависеть от количества степеней свободы ААР, реализующей этот алгоритм, следовательно, при анализе алгоритмов необходимо рассматривать два случая:

1. На вход АР поступает узкополосный сигнал $s(t)$ и несколько помех $p_1(t) \dots p_N(t)$ от независимых источников. Общее количество сигналов и помех меньше или равно количеству степеней свободы АР.
2. Общее количество сигналов и помех, поступающих на вход АР, больше количества ее степеней свободы.

В первом случае ВВК $\mathbf{W}_{\text{ММВ}} = Q(\lambda_{\min}(\mathbf{R}_{xx}))$ формирует характеристику направленности ААР $f(\Theta)$ с «нулями» как в направлении прихода помехи, так и в направлении прихода сигнала. В результате происходит непреднамеренное подавление полезного сигнала независимо от ОСПШ на входе АР.

Во втором случае ВВК $\mathbf{W}_{\text{ММВ}} = Q(\lambda_{\min}(\mathbf{R}_{xx}))$ формирует характеристику направленности ААР $f(\Theta)$, которая осуществляет подавление сигналов или помех, имеющих большую мощность.

Таким образом, применение ААР, реализующих АПОС по критерию ММВ, либо неэффективно, либо приводит к непреднамеренному подавлению принимаемого сигнала.

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА АЛГОРИТМОВ АПОС, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ПО КРИТЕРИЮ ММВО

При реализации алгоритма ММВ на ВВК могут накладываться различные ограничения, например, на коэффициент усиления ААР – алгоритм ММВО:

$$\min_{\mathbf{W}} \Phi_{\text{ММВО}}(\mathbf{W}), \quad \Phi_{\text{ММВО}}(\mathbf{W}) = \mathbf{W}^+ \mathbf{R}_{xx} \mathbf{W}, \quad \mathbf{C}^+ \mathbf{W} = h, \quad (24)$$

где \mathbf{C} – комплексный вектор ограничений размерностью N , задающий направление, в котором необходимо обеспечить требуемый коэффициент усиления АР – h .

В (24) обычно полагают $C=V_y=V_c$. В этом случае на выходе ААР, реализующей АПОС по критерию ММВО, осуществляется минимизация мощности сигналов, поступающих на ее вход со всех направлений, кроме направления прихода полезного сигнала, задаваемого вектором V_c . Можно показать [6], что решение (24) с точностью до постоянного множителя совпадает с решением оптимизационной задачи по критерию МОСП (8). Поэтому качество АПОС в ААР, реализующей алгоритмы по критерию ММВО, будет аналогичным алгоритмам МОСП.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ АПОС

Аналитическое моделирование показало достаточно хорошие результаты по повышению качества приема сигналов КВ-диапазона при точной настройке в направлении прихода полезного сигнала. При этом наиболее предпочтительно использование алгоритма ММВО, который обеспечивает формирование диаграммы направленности с максимумом в направлении полезного сигнала и минимумами в направлении на остальные источники радиоизлучения. Однако одной из характерных особенностей КВ-радиосвязи является многолучевое распространение радиоволн, следовательно, необходимо проанализировать работу алгоритма при появлении второго луча.

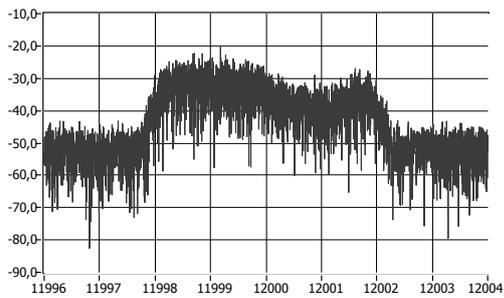
При моделировании формировались два луча – основной и задержанный на длительность импульса ($\tau_3 = \tau_{имп}$). Амплитуда задержанного луча соответствовала половине основного. Основные условия моделирования соответствуют рассмотренным ранее.

Анализ полученных результатов показывает, что появление второго луча принимаемого сигнала и помех приводит к искажению спектра на входе антенной системы (рис. 7 (а)), однако благодаря АПОС на основе алгоритма ММВО осуществляется подавление помех, максимизация мощности выходного сигнала и выравнивание спектра на выходе ААР (рис. 7 (б)). При этом на выходе демодулятора в ряде случаев наблюдается снижение отношения сигнал шум (рис. 8 (а)). В [12] показано, что максимизация ОСПШ является достаточно универсальным энергетическим критерием, который, однако, не отражает цель функционирования системы связи, то есть нельзя утверждать, что будет обеспечиваться извлечение наибольшего количества информации о полезном сигнале. Следовательно, для оценки качества работы алгоритмов АПОС необходимо опираться и на ОСШ, получаемое на входе схемы принятия решения. Для этого необходимо обеспечить обратную связь выхода демодулятора и блока вычисления ВВК, в котором при формировании комплексного вектора ограничений C будет учитываться и качество АПОС – K_{oc} .

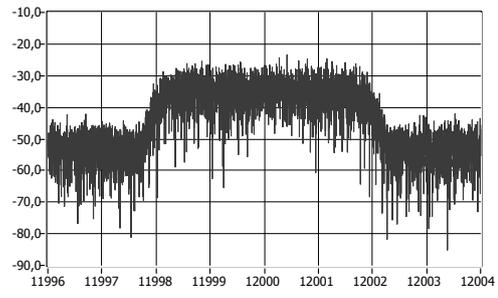
$$\min_W \Phi_{ММВО}(W), \Phi_{ММВО}(W) = W^+ R_{xx} W, K_{oc} C^+ W = h. \quad (25)$$

Таким образом, при введении обратной связи появляется возможность реализации адаптивной пространственно-временной обработки сигналов (АПВОС). В качестве управляющего выхода с радиоприемного устройства может быть использован сигнал с выхода демодулятора либо любой другой сигнал, позволяющий оценить качество принимаемого сигнала. При этом необходимо учитывать, что введение любого нового параметра в систему управления алгоритмом значительно усложняет систему адаптации, увеличивает время регулирования в системе и требует наложения ограничений на ряд параметров, участвующих в адаптации системы. Кроме того, такие системы будут иметь разную чувствительность к изменению отдельных параметров [1].

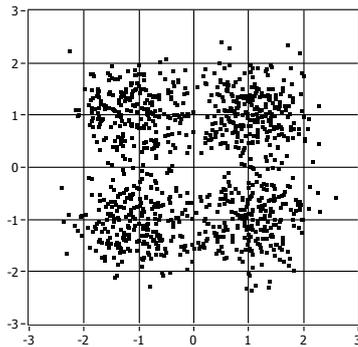
Полученная в результате моделирования фазовая диаграмма показана на рисунке 8 (б).



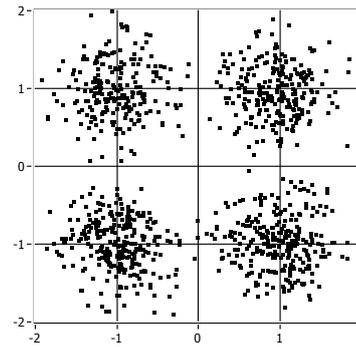
а) Спектр сигнала на входе антенной системы



б) Спектр сигнала на выходе антенной системы

Рисунок 7 – Спектры принимаемого сигнала

а) без обратной связи



б) с обратной связью

Рисунок 8 – Фазовые диаграммы**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, в данной статье проведен анализ основных алгоритмов АПОС, позволяющих повысить качество КВ-радиосвязи за счет устранения помех непосредственно до входа демодулятора. Показано, что алгоритм АПОС, реализованный по критерию ММВО, осуществляет минимизацию мощности сигналов поступающих на ее вход со всех направлений, кроме направления прихода полезного сигнала.

В результате моделирования выявлено, что в ряде случаев наблюдается ухудшение качества радиосвязи из-за характерных особенностей КВ-диапазона – многолучевого распространения радиоволн в ионосфере.

В качестве решения предложено использование АПВОС на основе информации, получаемой с выхода демодулятора, что усложняет работу алгоритма, но позволяет повысить качество приема в условиях многолучевого распространения радиоволн в ионосфере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головин О.В., Простов С.П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи; под ред. профессора О.В. Головина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 598 с.
2. Березовский В.А., Фомин В.В., Романов Ю.В. Комплексы адаптивной радиосвязи ОАО ОНИИП // VIII Всероссийская межведомственная научно-практическая конференция. Материалы и доклады, 2013. – Часть 6. – С. 156-158.
3. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. – М.: Мир, 1975. – 534 с.
4. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. Введение в теорию. – М.: Радио и связь, 1986. – 442 с.

5. Адаптивная компенсация помех в каналах связи; под ред. Ю.И. Лосева – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.
6. Марчук Л.А. Пространственно-временная обработка сигналов в линиях радиосвязи. – Л.: ВАС, 1991. – 136 с.
7. Duvall K.M., Cooch R.P., Nuwman W.C. IEEE Trans. **Antennas and Propagation**, 1982. – V. 30. – № 3.
8. Коростелев А.П. Стохастические рекуррентные процедуры (локальные свойства). – М.: Наука, 1984. – 208 с.
9. Хорн Р., Джонсон Ч. Матричный анализ. – М.: Мир, 1989. – 655 с.
10. Heng-Chen Lin. Spatial correlations in adaptive arrays // IEEE Trans, 1982. – V. AP-30. – № 2. – P. 467-475.
11. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. – М.: Наука, 1988. – 552 с.
12. Борисов В.И., Зинчук В.М. Помехозащищенность систем радиосвязи. Вероятностно-временной подход. – Изд. 2-е, испр. – М.: РадиоСофт, 2008. – 260 с.

Фисун Александр Павлович

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электроника, вычислительная техника, информационная безопасность»

Тел.: 8 (4862) 42-15-56

E-mail: fisun01@pisem.net

Николаев Алексей Владимирович

Академия ФСО, г. Орел

Старший научный сотрудник

Тел.: 8 (4862) 54-96-62

E-mail: a.nikolaew@mail.ru

Колынько Александр Васильевич

Академия ФСО, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент

Тел.: 8 (4862) 54-98-30

E-mail: kolavas@pisem.net

Деркач Евгений Николаевич

Академия ФСО, г. Орел

Кандидат технических наук

Тел.: 8 (4862) 54-94-54

E-mail: derkache@mail.ru

A.P. FISUN (*Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Professor of the Department «Electronics, Computer Engineering, Information Security»
State University – ESPC, Orel*)

A.V. NIKOLAEV (*Senior Researcher*)

A.V. KOLIN'KO (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*)

E.N. DERKACH (*Candidate of Engineering Sciences*)
Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel

**ANALYSIS OF ADAPTIVE ALGORITHMS IMPROVE THE QUALITY
OF THE RECEIVING SIGNAL SW-BAND USING ANTENNA ARRAYS**

The article discusses the possibility of improving the quality of SW radio through the use of adaptive spatial signal processing. The detailed analysis and modeling algorithms. The necessity of introducing feedback to improve the quality of demodulation.

Keywords: SW-radiocommunication; adaptive antenna array; adaptive spatial signal processing; vector of weights.

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Golovin O.V., Prostov S.P. Sistemy' i ustrojstva korotkovolnovoj radiosvyazi; pod red. professora O.V. Golovina. – M.: Goryachaya liniya-Telekom, 2006. – 598 s.
2. Berezovskij V.A., Fomin V.V., Romanov Yu.V. Kompleksy' adaptivnoj radiosvyazi OAO ONIIP // VIII Vserossijskaya mezhdedomstvennaya nauchno-prakticheskaya konferenciya. Materialy' i doklady', 2013. – Chast' 6. – S. 156-158.
3. Ximmel'blau D. Prikladnoe nelinejnoe programmirovaniye. – M.: Mir, 1975. – 534 s.
4. Monzingo R.A., Miller T.U. Adaptivny'e anteny'e reshetki. Vvedeniye v teoriyu. – M.: Radio i svyaz', 1986. – 442 c.
5. Adaptivnaya kompensaciya pomex v kanalax svyazi; pod red. Yu.I. Loseva – M.: Radio i svyaz', 1988. – 208 s.
6. Marchuk L.A. Prostranstvenno-vremennaya obrabotka signalov v liniyax radiosvyazi. – L.: VAS, 1991. – 136 c.
7. Duvall K.M., Cooch R.P., Nuwman W.C. IEEE Trans. Antennas and Propagation, 1982. – V. 30. – № 3.
8. Korostelev A.P. Stokasticheskie rekurentny'e procedury' (lokal'ny'e svojstva). – M.: Nauka, 1984. – 208 c.
9. Xorn R., Dzhonson Ch. Matrichny'j analiz. – M.: Mir, 1989. – 655 s.
10. Heng-Chen Lin. Spatial correlations in adaptive arrays // IEEE Trans, 1982. – V. AP-30. – № 2. – P. 467-475.
11. Gantmaxer F.R. Teoriya matric. – M.: Nauka, 1988. – 552 s.
12. Borisov V.I., Zinchuk V.M. Pomexozashhishhennost' sistem radiosvyazi. Veroyatnostno-vremennoj podxod. – Izd. 2-e, ispr. – M.: RadioSoft, 2008. – 260 s.

УДК 519.8

Д. С. ХАБАРОВА, В. И. ГРАКОВ

ЗАДАЧА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТА СЕТИ ОБМЕНА ДАННЫМИ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В статье рассматриваются задача и алгоритм выбора проекта сети обмена данными на основе оценки вариантов сети по критерию пропускной способности.

Ключевые слова: сеть обмена данными; задача выбора; пропускная способность сети.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большое число предприятий испытывает необходимость в создании собственных автоматизированных информационных систем. Абоненты территориальной автоматизированной информационной системы (ТАИС) образуют абонентскую сеть и взаимодействуют друг с другом через сеть обмена данными (СОД). Сеть обмена данными представляется в виде совокупности коммуникационных узлов, связанных между собой магистральными трактами каналов связи. СОД составляет основу ТАИС как телекоммуникационной системы, ее показатели в значительной степени определяют основные характеристики ТАИС. Ограничения на ресурсы, варианты расположения узлов и линий связи, возможные маршруты передачи данных и применяемое оборудование при синтезе оптимальной структуры СОД приводят к необходимости решения задачи выбора оптимального проекта из множества допустимых вариантов построения СОД [1, 2]. Принятие оптимальных решений по выбору вариантов построения СОД при проектировании ТАИС остается важной задачей, решение которой обеспечит эффективное функционирование ТАИС в целом. Для решения задач проектирования сетей разработаны разнообразные методы, и их выбор зависит от конкретной постановки задачи и требований предъявляемых к сети. Для постановки и решения задачи выбора оптимального проекта СОД необходимо формализовать свойства функционирования сети и процесса обмена данными.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ СВОЙСТВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТИ И ПРОЦЕССА ОБМЕНА ДАННЫМИ

Построение СОД учитывает взаимодействие абонентов с СОД, поэтому структуру ТАИС представим обобщенной структурной схемой ТАИС (рис. 1).

Концептуальная модель СОД [3] задана кортежем

$$S = \langle A^{Bx}, G, K, H, T, C, A^{Bbx} \rangle,$$

где $A^{Bx} = \|\lambda_{ij}^{Bx}\|$ – входной трафик в информационных направлениях (i, j) подлежащих передачи между i и j абонентами; $G(V, W)$ – граф, отражающий структуру СОД; V – множество узлов коммутации (вершин графа) $a, b \in V$, а $(a, b) \in W$ – магистральные тракты обмена (ребра графа) между узлами коммутации a и b ; $K = \|k_{ab}\|$ – пропускные способности трактов обмена данными СОД; $H = \|h_{ab}\|$ – внутренний трафик СОД в направлениях связи между узлами коммутации a и b ; C – ресурсы, определенные затратами на создание и эксплуатацию сети, такими, как аренда линий связи, стоимость узлов коммутации и коммутационного оборудования; T – требования, предъявляемые к сети ТАИС как главной

системой по отношению к СОД; $\Lambda^{Вых} = \|\lambda_{ij}^{Вых}\|$ – выходной трафик, формирующийся в результате обслуживания входного трафика и содержащий только качественно обслуженные данные.

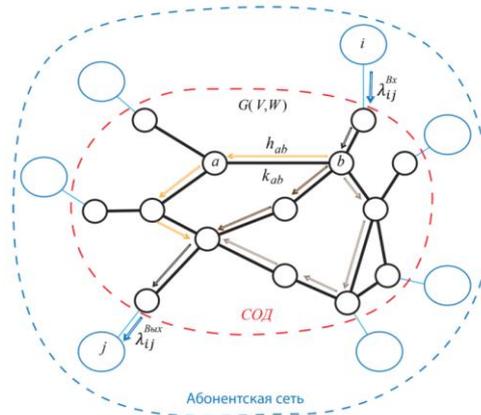


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема ТАИС

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТА СОД

С учетом существенных параметров СОД, включенных в модель S , под проектами СОД понимаем альтернативные варианты $\{B\}$, которые отличаются структурными решениями, которые задают граф структуры СОД $G(V, W)$, значения пропускных способностей трактов K и внутреннего трафика H .

Выбор наилучшего варианта сети обеспечивается оценкой эффективности функционирования исследуемых проектов СОД. Степень обеспечения передачи между абонентами ТАИС объема данных с требуемым качеством определяет эффект функционирования СОД. Интегральной характеристикой отражающей общее количество качественно обслуженных данных в единицу времени является производительность СОД Π :

$$\Pi = \sum_{i,j} \lambda_{ij}^{Вых}$$

Так как производительность варьируется в зависимости от нагрузки, поступающей в сеть от всех абонентов $N = \sum_{i,j} \lambda_{ij}^{Вх}$, за показатель эффективности СОД Q примем отношение производительности Π к нагрузке N , позволяющее оценить долю данных, переданных с требуемым качеством от общего числа данных поступивших в сеть за оцениваемый момент времени:

$$Q = \frac{\Pi}{N} \tag{1}$$

Тогда постановка задачи выбора оптимального проекта СОД сформулируем следующим образом: при заданном входном трафике $\Lambda^{Вх}$, требованиях к его обслуживанию $T^{Тр}$ и выделенных на проектирование допустимых ресурсов $C^{Доп}$ определить такой оптимальный вариант B^* , который обеспечивает наилучшее значение показателя эффективности Q^* по параметрам СОД G, K, H :

$$Q^* = \max_{G, K, H} \frac{\Pi}{N} \Big|_{T^{Тр}, C^{Доп}, \Lambda^{Вх}} \tag{2}$$

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Выходной трафик $\lambda_{ij}^{\text{Вых}}$ зависит от нагрузки N , поступающей в сеть, плана распределения внутреннего трафика H , пропускной способности трактов K и от требований T , предъявляемых к сети. Введем для каждого информационного направления (i, j) коэффициент $g_{ij}(N, G, K, H, T)$ как функцию от существенных компонент СОД N, G, K, H . Тогда выходной трафик $\lambda_{ij}^{\text{Вых}}$ представим в виде произведения значений входного трафика $\lambda_{ij}^{\text{Вх}}$ на коэффициент информационного направления $g_{ij}(N, G, K, H, T)$:

$$\lambda_{ij}^{\text{Вых}} = \lambda_{ij}^{\text{Вх}} g_{ij}(N, G, K, H, T).$$

Если входной трафик $\lambda_{ij}^{\text{Вх}}$ по всем информационным направлениям обслуживается с требуемым качеством, то $\lambda_{ij}^{\text{Вых}} = \lambda_{ij}^{\text{Вх}}$ и коэффициент $g_{ij}(N, G, K, H, T) = 1$. Если ни один пакет не отвечает требованиям ТАИС, то $\lambda_{ij}^{\text{Вых}} = 0$, и, следовательно $g_{ij}(N, G, K, H, T) = 0$. Поэтому коэффициент информационного направления величина, изменяемая от нуля до единицы:

$$0 \leq g_{ij}(N, G, K, H, T) \leq 1, \forall i, j.$$

Наилучшему значению показателя Q^* соответствует выражение:

$$Q^* = \text{opt}_{G, K, H} \frac{1}{N} \sum_{i, j} \lambda_{ij}^{\text{Вх}} g_{ij}(N, G, K, H, T) \Big|_{T^{\text{Тр}}, C^{\text{Доп}}, A^{\text{Вх}}}. \quad (3)$$

Для того, чтобы задать конкретный вид коэффициента информационного направления $g_{ij}(N, K, H, T)$, определяющего направление экстремума в (3), далее рассматриваются требования к качеству функционирования СОД.

Качество функционирования СОД $T^{\text{Тр}}$ определяется требованиями к процессу обмена данными по своевременности $T_{\text{Св}}$, достоверности $T_{\text{Дос}}$ и безопасности обмена данными $T_{\text{Без}}$ [2].

Требования по достоверности $T_{\text{Дос}}$ и по безопасности $T_{\text{Без}}$ в ТАИС обеспечиваются соответствующим оборудованием, то есть техническими характеристиками приобретенного оборудования, которое гарантирует требуемые значения $T_{\text{Дос}}^{\text{Тр}}$ и $T_{\text{Без}}^{\text{Тр}}$. Требование по своевременности обмена данными $T_{\text{Св}}^{\text{Тр}}$ определяет ограничение на показатель своевременности обмена данными СОД. Рассмотрим параметры своевременности обмена данными.

Основным параметром своевременности обмена данными является время задержки доставки пакета $t_{\text{з}ij}$ в направлении (i, j) от i -го абонента-отправителя до j -го абонента-получателя. Оно измеряется от момента поступления пакета $t_{\text{п}}$ до момента его появления на выходе СОД $t_{\text{в}}$:

$$t_{\text{з}ij} = t_{\text{в}j} - t_{\text{п}i}.$$

За время задержки $t_{\text{з}ij}$ примем среднее время задержки, определенное как математическое ожидание времен задержек для всех переданных и принятых пакетов в направлении (i, j) . Качество каналов и создаваемые потоками данных очереди придают случайный характер значению времени задержки. Время задержки $t_{\text{з}ij}$ как случайная величина описывается функцией распределения $F(t_{\text{з}ij}) = P\{t_{\text{з}ij} \leq t_{\text{з}ij}^{\text{Тр}}\}$, определяющей

вероятность того, что значение времени задержки не превысит требуемое время задержки t_3^{Tp} . Пакет в сети считается потерянным, если время задержки t_{3ij} превышает требуемое t_3^{Tp} :

$$t_{3ij} > t_3^{Tp}. \quad (4)$$

Вероятность своевременной доставки данных $P_{CB}\{t_{3ij}\}$ определяет относительную долю данных, доставленных адресату в пределах требуемого времени задержки:

$$P_{CB}\{t_{3ij}\} = P_{д}\{t_{3ij} \leq t_3^{Tp}\}.$$

Многие методы направлены на решение задачи минимизации стоимости СОД при ограничении времени задержки доставки сообщений или обратной ей задачи [4-6]. Выбор времени задержки сети в качестве показателя обусловлен относительной простотой построения моделей сети, а не практической ценностью. Вероятность доставки данных позволяет определить связь между эффективностью СОД и механизмом ограничения нагрузки [7]. Поэтому показателем своевременности обмена данными, определяющим коэффициент $g_{ij}(N, K, H, T)$, выбрана вероятность своевременной доставки данных $P_{CB}\{t_{3ij}\}$.

ТАИС определяет допустимое значение вероятности своевременной доставки данных $P_{CB}^{Доп}$. Тогда требование по своевременности обмена данными T_{CB}^{Tp} имеет следующий вид:

$$P_{CB}\{t_{3ij}\} = P_{д}\{t_{3ij} \leq t_3^{Tp}\} \geq P_{CB}^{Доп}. \quad (5)$$

С учетом вышесказанного коэффициент информационного направления $g_{ij}(N, K, H, T)$ определяется требованием к вероятности своевременной доставки данных:

$$g_{ij}(N, G, K, H, T) = P_{CB}\{t_{3ij}\}(N, G, K, H)$$

В свою очередь наилучшему варианту проекта СОД B^* соответствует максимальное значение показателя эффективности Q :

$$Q^* = \max_{G, K, H} \frac{1}{N} \sum_{i,j} \lambda_{ij}^{Bx} P_{CB}\{t_{3ij}\}(N, G, K, H) \Big|_{t_3^{Tp}, P_{CB}^{Доп}, C^{Доп}, A^{Bx}} \quad (6)$$

Учитывая зависимость производительности от нагрузки на сеть f , рассмотренную в [5, 7]

$$\Pi = f(N), \quad (7)$$

при фиксированной величине нагрузки N максимум показателя эффективности Q достигается при максимуме производительности.

Интерес представляет максимально возможное значение производительности для потенциальной нагрузки на сеть. Это значение соответствует пропускной способности всей СОД Φ :

$$\Phi = \max_N \sum_{i,j} \lambda_{ij}^{Bx} P_{CB}\{t_{3ij}\}(N, G, K, H) \Big|_{t_3^{Tp}, P_{CB}^{Доп}, C^{Доп}, A^{Bx}} \quad (8)$$

Пропускные способности вариантов проектов сети, рассчитанные для потенциальных нагрузок, позволяют сравнивать варианты между собой. Поэтому выражение (8) выбрано в качестве целевой функции.

Критерий эффективности СОД задается максимумом пропускной способности:

$$\Phi \xrightarrow{G, K, H} \max. \quad (9)$$

Оптимальный вариант СОД B^* при выбранных ограничениях $P_{Св}^{Доп}$, $C^{Доп}$ обеспечивает максимальную пропускную способность Φ^* :

$$\Phi^* = \max_{G, K, H} \left[\max_N \sum_{i,j} \lambda_{ij}^{Вх} P_{Св} \{ t_{z,ij} \} (N, G, K, H) \right] \Big|_{t_{z,ij}^{Тр}, P_{Св}^{Доп}, C^{Доп}, \Lambda^{Вх}} \quad (10)$$

ГРАФИКИ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СОД ОТ НАГРУЗКИ

График зависимостей производительности СОД от нагрузки позволяет наглядно сравнить варианты проектов СОД между собой (рис. 2).

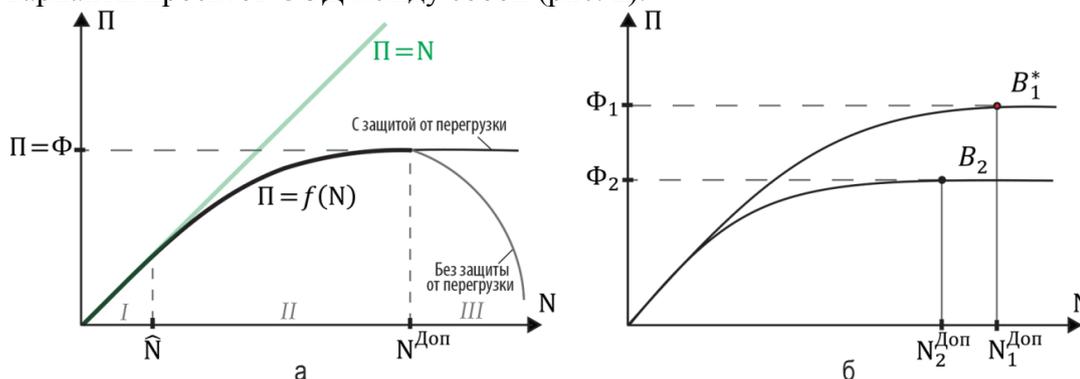


Рисунок 2 – Графики зависимости производительности СОД Π от нагрузки N

Когда сеть не загружена, вероятность своевременной доставки $P_{Св} \{ t_{d,ij} \} = 1$ и производительность возрастает равномерно с увеличением нагрузки $\Pi = N$ ($\Lambda^{Вых} = \Lambda^{Вх}$) до тех пор, пока нагрузка не достигнет некоторого значения \tilde{N} . Данная ситуация соответствует области I на рисунке 2 (а).

С увеличением нагрузки (в области II) равномерность нарушится из-за перегрузки, вызванной очередями и переполнением буферной памяти в узлах. В связи с увеличением времени пребывания пакетов в очередях возрастает количество потерянных данных, для которых выполняется неравенство (4). Количество своевременно доставленных данных уменьшается, а производительность растет медленнее и достигает своего максимума $\Pi = \Phi$ при предельно допустимой нагрузке на сеть $N^{Доп}$. Происходит снижение вероятности своевременной доставки с единицы до допустимого значения: $1 \geq P_{Св} \{ t_{d,ij} \} \geq P_{Св}^{Доп}$.

При дальнейшем увеличении нагрузки ($N > N^{Доп}$), соответствующей области III, перегрузка сети увеличивается и вероятность своевременной доставки принимает значение меньше допустимой $P_{Св} \{ t_{d,ij} \} < P_{Св}^{Доп}$. В сетях, не использующих методы защиты от перегрузок, производительность резко снижается. С защитой от перегрузок производительность сохраняется на одном уровне. Существуют различные методы защиты от перегрузок, но основные возможности СОД закладываются на этапе проектирования.

Для примера на рисунке 2 (б) вариант B_1 , который обеспечивает пропускную способность Φ_1 , является предпочтительнее варианта B_2 с пропускной способностью Φ_2 , $\Phi_2 < \Phi_1$. В соответствии с выражением (10) $\Phi^* = \Phi_1$ и оптимальный вариант $B^* = B_1$.

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТА СОД

Предполагается следующая последовательность шагов алгоритма выбора оптимального проекта СОД:

1. Формулировка исходных данных:
 - требования $t_{\Sigma}^{Тр}$, $P_{Св}^{Доп}$;
 - ресурсы $C^{Доп}$;
 - входной трафик $\Lambda^{Вх}$, N .
2. Формирование допустимого множества вариантов проектов СОД $\{B\}$ для возможных $G(V, W)$, K и H .
3. Оценка вариантов проектов СОД $\{B\}$:
 - оценка вероятности своевременной доставки данных $P_{Св}\{t_{\Sigma ij}\}$;
 - оценка пропускной способности СОД Φ .
4. Сравнение вариантов проектов СОД $\{B\}$ по критерию эффективности $\Phi \xrightarrow{G, K, H} \max$
5. Выбор оптимального варианта B^* , который обеспечивает оптимальные параметры $G(V, W)^*$, K^* и H^* :

$$B^* = \Psi(\Phi^*, C^{Доп}).$$

Функционал $\Psi(\Phi^*, C^{Доп})$ определяет зависимость пропускной способности Φ от выделенных ресурсов $C^{Доп}$.

Алгоритм выбора оптимального проекта СОД при конкретизации всех составляющих компонентов обеспечит получение количественных оценок потенциальной пропускной способности СОД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена задача выбора вариантов построения СОД, синтезирующая оптимальную структуру СОД при проектировании ТАИС. Полученный алгоритм позволяет сделать обоснованный выбор проекта СОД, который обеспечит максимальную пропускную способность сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении; под ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
2. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений. – СПб: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
3. Хабарова Д.С., Граков В.И. Концептуальная модель сети обмена данными территориальной автоматизированной информационной системы // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). Ежемесячный научный журнал: сборник научных трудов XV Международной научно-практической конференции «Современные концепции научных исследований». – № 6(15). – Часть 3. – Москва, 2015. – С. 29-31.
4. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. – М.: Мир, 1979. – 600 с.
5. Дэвис Д. и др. Вычислительные сети и сетевые протоколы / Д. Дэвис, Д. Барбер, У. Прайс, С. Соломонидес; пер. с англ. под ред. С.И. Самойленко. – М.: Мир, 1982.
6. Вишневецкий В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
7. Мизин И.А., Богатырев В.А., Кулешов А.П. Сети коммутации пакетов. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.

Хабарова Диана Сергеевна

Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

Соискатель кафедры прикладной математики и математического моделирования

Тел.: 8 918 755 19 06

E-mail: diana.dip@yandex.ru

Граков Вячеслав Иванович

Северо-Кавказский социальный институт, г. Ставрополь

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационных систем и сервиса

Тел.: 8 905 465 20 90

E-mail: VGrakov@yandex.ru

D.S. XABAROVA (*Applicant of the Department of Applied Mathematics and Mathematical Simulation*)

I.V. GRAKOV (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
Head of the Department Information Systems and Service
North-Caucasus Federal University, Stavropol*)

**THE TASK OF CHOOSING AN OPTIMAL PROJECT OF DATA INTERCHANGE NETWORK
OF THE TERRITORIAL AUTOMATED INFORMATION SYSTEM**

The article deals with the task and the selection algorithm of the project of the data interchange network based on an assessment of options by network bandwidth criterion.

Keywords: *data exchange network; the task of choosing; network bandwidth.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Anfilatov B.C., Emel'yanov A.A., Kukushkin A.A. Sistemny'j analiz v upravlenii; pod red. A.A. Emel'yanova. – M.: Finansy' i statistika, 2002. – 368 s.
2. Chernoruckij I.G. Metody' prinyatiya reshenij. – SPb: BXV-Peterburg, 2005. – 416 s.
3. Xabarova D.S., Grakov V.I. Konceptual'naya model' seti obmena dannymi territorial'noj avtomatizirovannoj informacionnoj sistemy' // Evrazijskij Soyuz Ucheny'x (ESU). Ezhemesyachny'j nauchny'j zhurnal: sbornik nauchny'x trudov XV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Sovremennye konceptii nauchny'x issledovanij». – № 6(15). – Chast' 3. – Moskva, 2015. – S. 29-31.
4. Klejnrok L. Vy'chislitel'ny'e sistemy' s ocheredyami. – M.: Mir, 1979. – 600 s.
5. De'vis D. i dr. Vy'chislitel'ny'e seti i setevy'e protokoly' / D. De'vis, D. Barber, U. Prajs, S. Solomonides; per. s angl. pod red. S.I. Samojlenko. – M.: Mir, 1982.
6. Vishnevskij V.M. Teoreticheskie osnovy' proektirovaniya komp'yuterny'x setej. – M.: Texnosfera, 2003. – 512 s.
7. Mizin I.A., Bogaty'rev V.A., Kuleshov A.P. Seti kommutacii paketov. – M.: Radio i svyaz', 1986. – 408 s.

УДК: 004.942

Н.А ОВЧИННИКОВ, Е.А МАКСИМОВА

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УГРОЗ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ «УМНЫЙ ДОМ»

В статье проанализирован рост мирового рынка систем «умный дом», и выявлена актуальность поставленной проблемы. Выделено три варианта построения системы «умный дом» и составлена модель угроз в соответствии со схемой. Также предлагается формализованное представление модели угроз системы защиты информации системы «умный дом».

Ключевые слова: модель угроз; система; «умный дом»; схема; централизованная; децентрализованная; силовая проводка; X10; дерево угроз; формализованная модель.

Современная действительность – век информационных технологий, которые упрощают жизнь и делают ее комфортнее. Одно из проявлений данного – система «умный дом».

Согласно расчетам DISCOVERY Research Group [1] (рис. 1), в мире с каждым годом прогнозируется увеличение объема затрачиваемых средств на разработку систем «умный дом». Все больше и больше средств затрачиваются на ее построение и улучшение. Следовательно, происходит постепенный переход пользователей к тотальной автоматизации. Однако на фоне актуализации динамики развития систем «умный дом» не рассматриваются вопросы ее безопасности от злоумышленных воздействий.

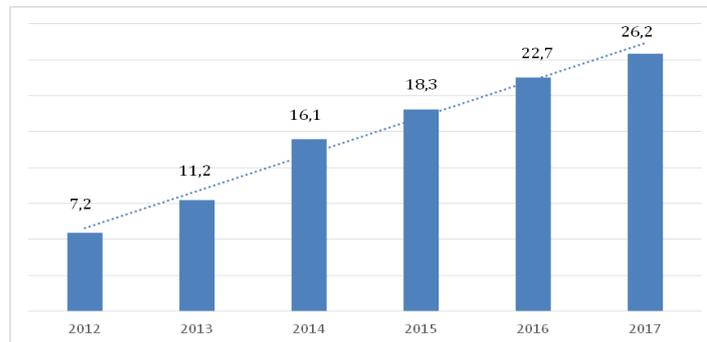


Рисунок 1 – Темпы роста мирового рынка систем «умный дом» (млрд евро)

«Умный дом» – жилой дом современного типа, организованный для проживания людей при помощи автоматизации и высокотехнологичных устройств. Под «умным домом» следует понимать систему, которая обеспечивает безопасность, комфорт и ресурсосбережение для всех пользователей [2].

Сегодня выделяется три варианта построения системы «умный дом» [3]:

1. Системы централизованного управления системы «умный дом».
2. Системы децентрализованного управления системы «умный дом».
3. Системы, работающие по радиоканалу в силовой проводке (X-10).

Системы централизованного управления состоят из центрального контроллера, панелей управления и множества исполнительно-командных блоков.

Центральный контроллер в данной системе автоматизации «Умный дом» выполняет функции мозга – к нему подключаются все остальные системы. Различные компоненты имеют свои микроконтроллеры, но программа взаимодействия находится в одном – главном.

От главного контроллера сигналы управления могут идти к исполнителям по различным каналам.

К особенностям данной системы можно отнести:

- доскональная проработка ядра и программного обеспечения;
- возможность собрать в единый комплекс все системы жизнеобеспечения и свести управление ими на единый пульт;
- возможность включать в качестве исполнителей устройства от самых разных производителей «умного дома»;
- хорошие средства создания графического интерфейса;
- отлично продуманная работа с аудио- и видеотехникой, мультимедиа-системами, живым видеосигналом;
- респектабельный дизайн и функциональность панелей управления, узнаваемость и престижность.

Проектирование и инсталляция системы в данном случае доступны только квалифицированным специалистам. При этом монтаж осуществим в ходе ремонта или постройки дома.

В противоположность обозначенному отмечается ее большая стоимость и ограниченный выбор дизайнерских решений внешнего вида и цветов сенсорных и клавишных пультов управления.

Типовая схема системы централизованного управления представлена на рисунке 2.

Децентрализованное управление осуществлено в пределах устройств – являются ли они передатчиками или приемниками, они связаны друг с другом напрямую по общему каналу – шине. Передача данных между устройствами осуществляется по протоколу шины.

Схема децентрализованного управления имеет простую и наглядную структуру. Она полностью автономна и независима от компьютера визуализации, надежна в работе, многофункциональна, она позволяет гибко перепрограммировать систему под желания пользователя.

Децентрализованная система имеет отличную проработку программно-аппаратного обеспечения компонентов, огромные возможности расширения, хорошие средства создания графического интерфейса. Однако система имеет достаточно высокую цену, невысокую скорость передачи команды (около 0,3 сек) и низкую помехозащищенность.

Типовая схема системы децентрализованного управления представлена на рисунке 3.

X10 – это метод и протокол передачи управляющих сигналов-команд по силовой электропроводке на электронные модули, к которым подключены управляемые электробытовые и осветительные приборы [3].

Передаваемый от устройства по сети X10 сообщения содержат два информационных поля – адрес устройства, которому эта команда адресована, и саму команду. Подключенные к электросети устройства X10 принимают передаваемые сообщения, декодируют поле адреса получателя и, если он совпадает с их собственным адресом, выполняют команду. Т.е. каждый контроллер системы «умный дом» получает сигнал независимо от того, кому он предназначался.

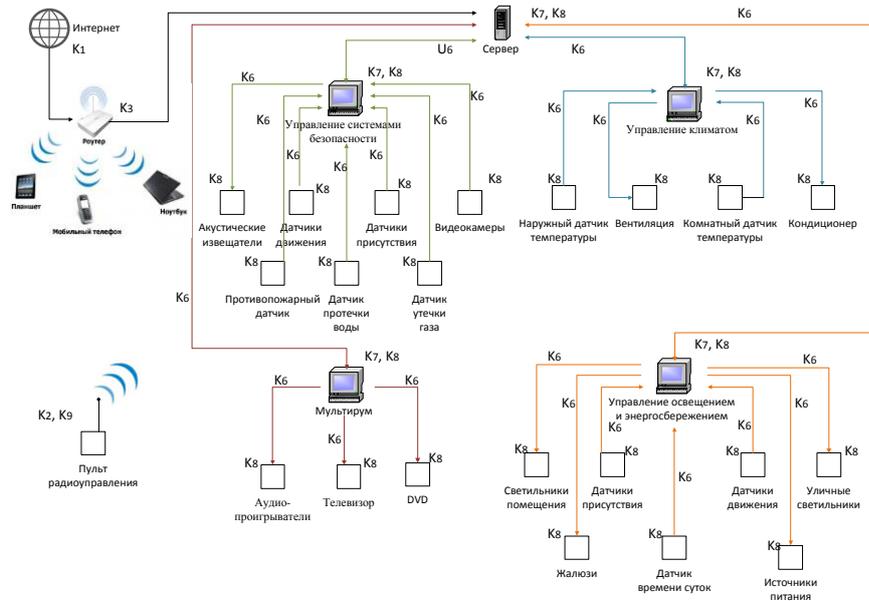


Рисунок 2 – Схема централизованной системы «Умный Дом»,

где K_1 – угрозы Интернета; K_2 – угрозы радиоперехвата пульта; K_3 – угрозы подключения к Wi-Fi; K_4 – перебои в сети электропитания; K_5 – стихийные бедствия; K_6 – перехват данных в оптоволоконных и коаксиальных кабелях; K_7 – ошибки программного обеспечения; K_8 – поломки аппаратуры; K_9 – ошибки пользователя; K_{10} – физическое проникновение; K_{11} – утечки информации через ПЭМИН

Протокол X-10 имеет низкую цену и легкий монтаж устройств – он совместим с любыми устройствами от разных производителей, возможна легкая интеграции. Однако он имеет низкую скорость передачи информации, низкую помехозащищенность, проблему ложного срабатывания, отсутствие обратной связи приемника с передатчиком, при этом возможен несанкционированный доступ к устройствам X-10 по электросети.

Типовая схема, работающая по радиоканалу в силовой проводке, представлена на рисунке 3.

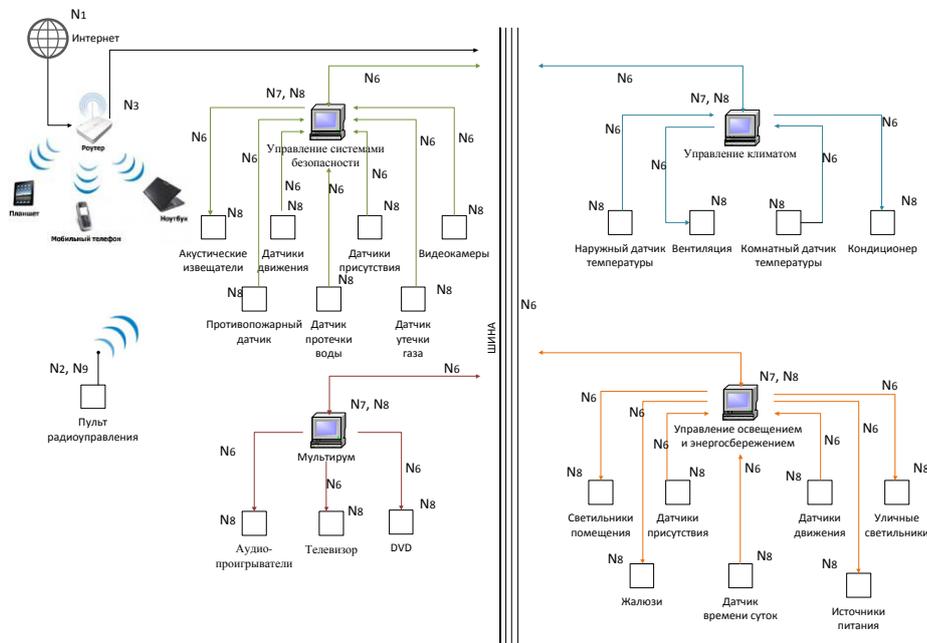


Рисунок 3 – Схема системы, работающей по радиоканалу в силовой проводке,

где U_1 – угрозы Интернета; U_2 – угрозы радиоперехвата пульта; U_3 – угрозы подключения к Wi-Fi; U_4 – перебои в сети электропитания; U_5 – стихийные бедствия; U_6 – перехват данных в оптоволоконных и коаксиальных кабелях; U_7 – ошибки программного обеспечения; U_8 – поломки аппаратуры; U_9 – ошибки пользователя; U_{10} – физическое проникновение; U_{11} – утечки информации через ПЭМИН

Ключевым моментом создания системы защиты информации системы «умный дом» является построение модели угроз. При этом возможен вариант составления угроз разными схемами. Например, можно определиться со списком актуальных угроз в соответствии с классификатором. Так, ГОСТ Р 51275-2006 позволяет определить полный набор возможных угрозы (альтернативой может быть Британский стандарт BS 7799, Международный стандарт ISO 17799 и другие). Или список актуальных угроз определяется в соответствии со статистикой (примерами ресурсов со статистиками могут быть Касперский [5], infowatch [6] и другие).

При разработке дерева угроз системы «умный дом» необходимо учитывать техническое построение системы, так как состав оборудования влияет на определение возможных угроз.

Модель угроз – физическое, математическое, описательное представление свойств или характеристик угроз безопасности информации [7]. Формой представления модели угроз является дерево угроз. Дерево угроз – это модель угроз, представленная в виде дерева.

Для определения структуры дерева и возможных угроз выделяются ключевые модули:

1. Облачное управление системой «умный дом».
2. Пульт дистанционного управления.
3. Wi-Fi.
4. Сеть электропитания.
5. Оптоволоконные и коаксиальные кабели.
6. Оборудование (датчики движения, видеокамеры и т.д.).
7. Программное обеспечение.

Для каждого модуля определяется набор угроз. На рисунке 5 представлено дерево угроз. Соответствие угрозы схеме построения системы «умный дом» определяется визуальным индикатором.

Формализованное представление модели угроз системы защиты информации системы «умный дом» имеет вид:

$$F_u = \{F_1, F_2, F_3\}. \quad (1)$$

$$F_1 = \varphi_1 (\{K_i\}),$$

где i – множество угроз в централизованной системе «умного дома», $i = \overline{1;11}$.

$$F_2 = \varphi_2 (\{N_j\}),$$

где j – множество угроз в децентрализованной системе «умного дома», $j = \overline{1;11}$.

$$F_3 = \varphi_3 (\{U_l\}),$$

где l – множество угроз системе, работающей по радиоканалу в силовой проводке, $l = \overline{1;11}$.

Логическая форма представления модели угроз в системе «умный дом»:

$$F_u = F_1 \vee F_2 \vee F_3. \quad (2)$$

Формула (2) в детализированном виде:

$$F_u = (\bigwedge_{i=0}^{11} (K_i)) \vee (\bigwedge_{j=0}^{11} (N_j)) \vee (\bigwedge_{l=0}^{11} (U_l)),$$

где K_i – угрозы централизованного управления системы «умный дом»; N_j – угрозы децентрализованного управления системы «умный дом»; U_1 – угрозы системы «умный дом», работающей по радиоканалу в силовой проводке.

F_1 – функция системы централизованного управления системы «умный дом», F_2 – функция системы децентрализованного управления системы «умный дом», F_3 – функция системы, работающей по радиоканалу в силовой проводке.

Представленная модель позволит формализовать процесс системы защиты «умный дом» и таким образом выйти на новый уровень эффективности функционирования всей системы в целом.



Рисунок 5 – Дерево угроз системы «умный дом»,
 где первые квадраты в ряду – схема централизованной системы; вторые квадраты в ряду – схема децентрализованной системы; третьи квадраты в ряду – схема X-10

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Темпы роста мирового рынка систем «умный дом» (млрд евро) [Электронный ресурс]. – URL: www.drgroup.ru.
2. Википедия [Электронный ресурс]. – URL: www.ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%BE%D0%BC.
3. Обзор систем и технологий «умный дом» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.vistatech.ru/?descr=info&sdescr=1&more=17>.
4. По сети 220В можно передавать сигналы благодаря технологии X10 [Электронный ресурс]. – URL: razumdom.ru/tech4.
5. [Электронный ресурс]. – URL: kaspersky.ru.
6. [Электронный ресурс]. – URL: infowatch.ru.

7. Модели угроз. Практическая защита персональных данных [Электронный ресурс]. – URL: pdsec.ru/model_ugroz.
8. ГОСТ Р 51275-2006. Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения.

Овчинников Николай Андреевич

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград
Студент
Тел.: 8 904 774 84 74
E-mail: nickboy95@mail.ru

Максимова Елена Александровна

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград
Кандидат технических наук, доцент кафедры информационной безопасности
Тел.: 8 961 698 22 79
E-mail: mvpuno@yandex.ru

N.A. OVChINNIKOV (*Student*)

E.A. MAKSIMOVA (*Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor of the Department of Information Security*)
Volgograd State University, Volgograd

**DEVELOPMENT OF A THREAT MODEL OF INFORMATION SECURITY SYSTEM
«SMART HOUSE»**

This article analyzes the growth of the world market of systems of «smart home», and identified the relevance of the problem. Allocated three variants of building of a system of «smart house», and made the threat model in accordance with the scheme and a formalized representation of the threat model of the system of information protection systems «smart house».

Keywords: *threat model; system; «smart home»; scheme; centralized; decentralized; wiring; X10; tree threats; formal model.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Tempy' rosta mirovogo ry'nka sistem «umny'j dom» (mlrd evro) [E'lektronny'j resurs]. – URL: www.drgroup.ru.
2. Vikipediya [E'lektronny'j resurs]. – URL: www.ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%BE%D0%BC.
3. Obzor sistem i tehnologij «umn'yj dom» [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.vistatech.ru/?descr=info&sdescr=1&more=17>.
4. Po seti 220V mozjno peredavat' signaly' blagodarya tehnologii X10 [E'lektronny'j resurs]. – URL: razumdom.ru/tech4.
5. [E'lektronny'j resurs]. – URL: kaspersky.ru.
6. [E'lektronny'j resurs]. – URL: infowatch.ru.
7. Modeli ugroz. Prakticheskaya zashhita personal'nyx dannyx [E'lektronnyj resurs]. – URL: pdsec.ru/model_ugroz.
8. GOST R 51275-2006. Zashhita informacii. Ob''ekt informatizacii. Faktory', vozdejstvuyushhie na informaciyu. Obshhie polozheniya.

ТРЕБОВАНИЯ
к оформлению статьи для опубликования в журнале
«Информационные системы и технологии»

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 4 до 9 страниц; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.

В одном сборнике может быть опубликована только одна статья одного автора, включая соавторство.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Научная статья, предоставляемая в журналы, должна иметь следующие **обязательные** элементы:

- постановка проблемы или задачи в общем виде;
- анализ достижений и публикаций, в которых предлагается решение данной проблемы или задачи, на которые опирается автор, выделение научной новизны;
- исследовательская часть;
- обоснование полученных результатов;
- выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления;
- библиография.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и сверху – 2 см.

Обязательные элементы:

- **УДК**
- **заглавие (на русском и английском языках)**
- **аннотация (на русском и английском языках)**
- **ключевые слова (на русском и английском языках)**
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

ТАБЛИЦЫ, РИСУНКИ, ФОРМУЛЫ

Все таблицы, рисунки и основные формулы, приведенные в тексте статьи, должны быть пронумерованы.

Формулы следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 с размерами: обычный шрифт – 12 pt, крупный индекс – 10 pt, мелкий индекс – 8 pt. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!** Русские и греческие буквы, а также обозначения тригонометрических функций набираются прямым шрифтом, латинские буквы – *курсивом*.

Рисунки и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. Рисунки, число которых должно быть логически оправданным, представляются в виде отдельных файлов в формате *.eps (Encapsulated PostScript) или TIF размером не менее 300 dpi.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В конце статьи приводятся набранные 10 pt сведения об авторах в такой последовательности: фамилия, имя, отчество (полуужирный шрифт); учреждение или организация, ученая степень, ученое звание, должность, адрес, телефон, электронная почта (обычный шрифт). Сведения об авторах также предоставляются отдельным файлом и обязательно дублируются на английском языке.