

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ
И ПРИКЛАДНАЯ
ИНФОРМАТИКА
№ 1, 2018**

**SYSTEM ANALYSIS
AND APPLIED
INFORMATION SCIENCE
No 1, 2018**



**Международный
Научно-технический журнал**

Издается с декабря 2012 года

Учредитель

Белорусский национальный
технический университет

Главный редактор

Сергей Васильевич Харитончик

Редакционная коллегия

В. Ф. Голиков (зам. главного редактора),
В. А. Богущ, Т. В. Борботько, В. Б. Байбурин (РФ),
Д. Ю. Большаков (РФ), Л. С. Герасимович, Н. Н. Гурский,
Ю. М. Захарик, И. А. Каляев (РФ), Г. О. Кипиани (Грузия),
Э. Г. Лазаревич, В. А. Липницкий, А. А. Лобаты, В. А. Мищенко, Е. И. Никифорович (Украина),
А. А. Прихожий, И. А. Сатиков, В. В. Старовойтов,
П. П. Урбанович, А. Патрин (Польша),
Ю. Н. Петренко (ответственный секретарь),
Н. Н. Ташатов (Казахстан), А. В. Чигарев, Д. К. Щеглов (РФ)

**International
Science and Technique Journal**

Published since December, 2012

Founder

Belarusian National Technical
University

Editor-in-chief

Sergei V. Kharytonchyk

Editorial board

V. Golikov (deputy editor-in-chief), V. Bogush,
T. Borbotko, V. Baiburin (RF), D. Bolshakov (RF), N. Gurskiy,
L. Gerasimovich, J. Zaharik, I. Kalyaev, G. Kipiani (Georgia),
E. Lazarevich, V. Lipnitsky, A. Lobaty, V. Mishchenko,
E. Nikiforovich (Ukraine), A. Prihozhy, I. Satikov,
V. Starovoytov, P. Urbanovich, A. Patrin (Poland),
Y. Petrenko (executive secretary), N. Tashcatov
(Kazakhstan), A. Chigarev, D. Shcheglov (RF)

Журнал включен в "Перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований".

Журнал включен в международные каталоги и базы данных:

- ❖ Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)
- ❖ Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU
- ❖ Электронно-библиотечная система (ЭБС) издательства Лань
- ❖ DOAJ <https://doaj.org/toc/2414-0481>
- ❖ Google Scholar
- ❖ Киберленинка

- ❖ EBSCO
- ❖ BASE Search
- ❖ OpenAIRE
- ❖ WorldCat
- ❖ OpenDOAR
- ❖ ROAR

Содержание

Contents

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Лазарев В. С., Юрик И. В.

О проблемах идентификации информационных источников, выявляемых в ходе исследований цитат-показателей с применением journal citation reports® 4

Петухов А. В.

Формализация задачи выбора автоматизированной системы 16

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Опейко О. Ф.

Синтез управления в двухконтурной дискретной системе 22

Пислар И. В., Браиловский В. В., Рождественская М. Г., Иванчук М. М.

Возможности использования световых лучей видимого диапазона в системах скрытой передачи информации 27

SYSTEM ANALYSIS

Lazarev V. S., Yurik I. V.

On the problems of identification of information sources being discovered in the course of citation studies with the use of journal citation reports® 4

Petukhov A. V.

Formalization of the problem of selection of automated system 16

MANAGEMENT OF TECHNICAL OBJECTS

Opeiko O. F.

Control synthesis for two loops discret system 22

Pyslar I.V., Brailovsky V. V., Rozhdestvenska M. G., Ivanchuk M. M.

Capabilities of applying visible light rays in the systems of hidden information transmitting 27

Степанов В. Ю. Математическое моделирование динамики беспилотного летательного аппарата 37	Stepanov V. Y. Mathematical modelling of the unmanned aerial vehicle dynamics 37
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ	DATA PROCESSING AND DECISION-MAKING
Вишняков В. А. Использование интеллектуальных и блокчейн технологий в информационном управлении..... 45	Vishniakou U. A. Use of intellegent and block chain technologies in information management 45
Голуб Ю. И. Сжатие широкого динамического диапазона яркости радарных снимков 51	Golub Y. I. Compression of high dynamic range of sar images 51
ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ	INFORMATION SECURITY
Захарова К. О. Исследование параметров шифрования алгоритма с переменной фрагментацией блока..... 59	Zakharova K. O. Research of parameters of encoding of the algorithm with variable fragmentation of the unit..... 59
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ	INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION
Макарич М. В. Применение item response theory для оценки языкового теста 65	Makarych M. V. Item response theory as a tool for the estimation of a language test..... 65
Попова Ю. Б., Голобурда А. В. Алгоритмическая и программная реализация определения плагиата в системах управления обучением 71	Popova Y. B., Goloburda A. V. Algorithmic and program implementation of the plagiarism definition in learning management systems 71

Ответственный секретарь редакции

Петренко Ю. Н.

Технический редактор

Лакин В. И.

Адрес редакции

ул. Франциска Скорины 25/3, Минск, 220114,
Республика Беларусь
Тел. +375 17 267-66-84
e-mail: CA_PI@bntu.by

Executive secretary of the editorial board

Y. Petrenko

Technical Editor

V. Lakin

Editorial board address

25/3 Franciska Skariny str., Minsk, 220114,
Republic of Belarus
Tel. +375 17 267-66-84
e-mail: CA_PI@bntu.by

Свидетельство о государственной регистрации средства массовой информации № 1540
от 08.06.2012, выданное Министерством информации Республики Беларусь

Подписано в печать 23.04.2018. Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 9,30. Уч.-изд. л. 3,64. Тираж 100 экз. Заказ 366.

Отпечатано в БНТУ. Лицензия ЛП № 02330/74 от 03.03.2014.
220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

© Системный анализ и прикладная информатика, 2018

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

SYSTEM ANALYSIS

УДК 001.811 + 004.65 + 001.891:303.443.2

В. С. ЛАЗАРЕВ, И. В. ЮРИК

О ПРОБЛЕМАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ, ВЫЯВЛЯЕМЫХ В ХОДЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ЦИТАТ-ПОКАЗАТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ JOURNAL CITATION REPORTS®

Белорусский национальный технический университет

В ходе изучения цитат-показателей сериальных изданий с помощью Journal Citation Reports® (JCR) среди прочих выявляются источники, сокращенные наименования которых не поддаются идентификации с помощью данных самого JCR. Обычно такие источники считаются малозначительными, так как не имеют «импакт-фактора». Однако выполненный нами анализ выявленных источников, сокращенные наименования которых не поддаются идентификации с помощью данных самого JCR, убеждает, что такие источники могут быть действительно полезными для специалистов. Также установлено, что в JCR встречаются ошибки двойного написания сокращенных наименований, причем таковые могут касаться даже журналов, включенных в «мастер-список», то есть источников, имеющих установленные для JCR сокращения. Материалы данного исследования цитируемости сериальных изданий в специализированных журналах и цитирования сериальными изданиями специализированных журналов, представляющих тематику «энергобезопасность и энергосбережение, энергоэффективные технологии и техника», позволили выделить ряд последствий и причин таких ошибок. Так, например, установлено, что использование различных написаний сокращений наименования одного и того же сериального издания бывает вызвано как объективно существующим двойным их наименованием, неправильно понятым индексаторами, так и включением в цитат-данные JCR полных наименований сериальных изданий наряду с сокращенными, а также включением в сокращенные наименования в отдельных случаях года издания или указания на то, что выпуск сериального издания представляет собой материалы конференции. Наличие трудноидентифицируемых сокращений вынуждает предпринимать в ходе библиометрических исследований трудоемкие проверки, – часто с последующим пересчетом данных.

Ключевые слова: научные сериальные издания, научные несериальные издания, цитат-анализ, идентификация наименований, библиометрия, отбор, энергетика.

Введение

Наше продолжающееся исследование, направленное на создание документальной составляющей научно-информационной среды¹, обеспечивающей доступ к публикациям из мировых сериальных изданий, необходимых для качественного выполнения исследований по Приоритетным направлениям научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2016–2020 годы [2], выполняется с применением данных Journal Citation Reports® (JCR) [3] (раздела наукометрической базы данных Web of Science) и методики, подробно описанной в наших статьях [4; 5]. Как отмечено в работах

[5; 6], мы уже сталкивались при его проведении с проблемой идентификации цитируемых материалов по сокращениям, приводимым в JCR. При этом представляется удивительным, что ошибки JCR, влияющие на распознаваемость цитируемого материала (в частности, такая распространенная и очевидная ошибка, как использование вариантов сокращений названий, отличающихся от установленных самими создателями JCR), не рассмотрены ни в соответствующих специальных работах², ни

¹ Представление авторов об информационной среде лежит в русле концепции, изложенной в статье К. А. Калюжного [1].

² Из известных нам публикаций, посвященных идентификационным ошибкам Web of Science, в работе van Raan [7, р. 136–138] таковые рассматриваются на уровне отдельных публикаций, а не сериальных изданий; в статье F. Franceschini с соавт. [8] при рассмотрении различных ошибок, приводящих к невозможности использования данных Web of Science и Scopus, ошибки в названии

в методических и эмпирических работах, посвященных применению JCR для отбора и оценки научных сериальных изданий в помощь выполнению исследований по конкретной проблематике.

В работе [5] нами приведено несколько примеров подобных ошибок применительно к сериальным изданиям, отбираемых в помощь выполнения исследований по атомной энергетике; в работе [6] – ряд примеров, связанных как с атомной энергетикой, так и с исследованиями в области возобновляемых источников энергии. Однако, при выполнении такого исследования по тематике «энергобезопасность и энергосбережение, энергоэффективные технологии и техника», основанного на цитируемости сериальных изданий в журналах соответствующей специализации и цитирования сериальными изданиями специализированных журналов [4;5] (основные его результаты в табличной форме доступны в репозитории figshare [10]) выявилось настолько более значительное количество подобных ошибок – в их пугающем разнообразии, – что беглого упоминания о них кажется уже недостаточно. Нами было решено специально посвятить этому вопросу данную статью, выполненную на примере вышеназванной тематики.

Контекст, в котором рассматривается проблема

Ряд цитируемых источников, учтенных в «Citing Journal Data» JCR, отсутствуют в «мастер-списке» Journal Citation Reports® [11] то есть их сокращенные наименования не могут быть расшифрованы с помощью самого JCR. Порой эти источники относятся к непродолжающимся книжным изданиям и другим несериальным информационным источникам. Как и ранее [6, с. 140–143], мы не только осуществляли «отсев» тех выявляемых источников информации, которые оказалось невозможным идентифицировать (а также тех, которые не являлись сериальными изданиями и были признаны нами бесполезными для создания пла-

источника отмечены лишь мельком, а отдельных примеров с разборами таких ошибок нет; наконец, в статье Д. В. Соколова [9, с. 135] хотя указано на то, что «нередки технические ошибки, связанные с разницей в наименовании журналов/организаций/издательств и их англоязычной транскрипцией – из-за чего может быть искажена итоговая статистика», – но также без приведенных примеров.

нируемой среды), – но и объединяли данные об одних и тех же источниках, цитируемых под разными сокращенными наименованиями. Также мы пытались анализировать и по возможности систематизировать возникающие при идентификации проблемы, которые использованием различных сокращений не исчерпываются.

Исключаемые информационные источники, выявляемые с помощью JCR

1) *Не поддавшиеся идентификации источники*. Среди таковых могут быть названы цитируемые источники под наименованиями: «FUND ENG THE»³ (10 ссылок в специализированных журналах, представляющих тематику «энергобезопасность и энергосбережение, энергоэффективные технологии и техника»), «HDB PROCESS INTEGRAT», «REP NOVA SCOTIA I» (по 8 ссылок). Использование интернет-поиска не позволило нам найти полные названия возможных информационных источников, с которыми можно было бы сопоставить данные сокращения. (Строго говоря, полные списки подобных примеров лишены интереса.)

Напомним, что, как и в работах [4; 5], помимо отбора источников информации с помощью анализа их *цитируемости в специализированных журналах* мы предпринимали дополнительный отбор таковых на основании данных о *цитировании ими специализированных журналов* с выбором, соответственно, *цитирующих* сериальных изданий. (Этот подход был апробированный и описанный одним из соавторов еще в 1981 г. [12, с. 32]⁴). В ходе от-

³ Написание в данной статье названий прописными буквами – воспроизведение соответствующего написания в JCR.

⁴ Выбор такого подхода, однако, был в каком-то смысле предопределен наличием в JCR раздела «Cited Journal Data» (бывш. «Cited Journal Package»). Конечно, причинно-следственные связи, отображаемые между цитирующими и цитируемыми объектами, при этом иные: цитирующие источники, которые отбираются в данном случае, вовсе не являются ни наиболее ценными, ни наиболее используемыми. Однако, данные о сериальных изданиях, использующих специализированные источники, представляющие определенную специальность, в какой-то мере указывают на возможные внешние «рынки интеллектуального сбыта» результатов научной деятельности, получаемых в рамках рассматриваемой специализации [4;5]. Поэтому представляется, что знакомство исследователей с такими источниками позволит им искать возможное приложение своих результатов на междисциплинарном уровне, во «внешних» дисциплинах.

бора *цитирующих* информационных источников нам пришлось исключить из рассмотрения всего один источник, идентифицировать который нам не удалось: «INN VIS 2020 REG», имевший 8 цитирований специализированных журналов. (Еще один неустановленный источник – «2015 9 INT S ADV» – имел величину цитирования, меньше пороговой, и, соответственно, не входил и в предварительный список отобранных материалов.)

Можно сказать, что ссылки на сокращенное наименование «WORKING PAP» (39 ссылок в специализированных журналах, представляющих тематику «энергобезопасность и энергосбережение, энергоэффективные технологии и техника») относятся к другой разновидности «не поддающихся идентификации источников»: полное название документа кажется очевидным, но к выявлению конкретного цитируемого источника его знание не приводит. Дело в том, что интернет-поиск позволяет обнаружить *ряд* источников (включая сериальные) под названиями «WORKING PAPER», «WORKING PAPERS», «WORKING PAPER SERIES», *выпускаемых разными организациями*, для полных названий которых подходит данное сокращения; однако тематика ни одного из них не вызывает уверенности, что именно *данный* источник и был цитированным⁵. С учетом того, что «working papers» могут выпускаться в качестве рабочих документов практический любой организации, дальнейшие догадки представляются лишними смысла. То же касается и сокращения «TECH REP» («technical report»; 138 ссылок)⁶.

⁵ Например, «ISID Working Papers» (сайт ЮНИДО) – страница, содержащая находящиеся в открытом доступе работы по вопросам всестороннего и устойчивого промышленного развития (United Nations Industrial Development Organization: Working Papers: ISID Working Papers [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.unido.org/publications/publications-by-type/working-papers.html>. Дата доступа: 26.10.2017.), или «Working papers» сайта Европейского центрального банка (European Central Bank: Working Papers [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ecb.europa.eu/pub/research/working-papers/html/index.en.html>. Дата доступа: 26.10.2017.), содержащая находящиеся в открытом доступе работы по экономике. Эти Web-страницы, по существу, – также продолжающиеся источники информации; но о которой из них идет речь? (Или – что еще более вероятно – о каком третьем источнике информации?).

⁶ В отношении к «TECH REP» широко известен сайт по персональным компьютерам и соответствующей суб-

2) *Заведомо ненужные и в то же время не поддающиеся идентификации несериальные источники*. Такая формулировка – «не поддающиеся идентификации, но ненужные» – не парадокс, и не ошибка: в данный блок входят такие традиционные, знакомые нам еще по бумажным изданиям JCR, объекты цитирования как «THESIS» (87 ссылок) и «COMMUNICATION» (74 ссылок), то есть отдельные диссертации и личные сообщения⁷, которые, с одной стороны, не могут быть идентифицированы, а с другой стороны – и не нужны для планируемой к созданию информационной среды, т. к. они не являются пополняемой упорядоченной совокупностью данных.

3) *Идентифицируемые, но ненужные несериальные издания*, по-видимому, отраженные по ошибке. Эта группа представлена, например, такими «разовыми» книгами, как «Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 7th Edition» (T. L. Bergman et al., обозначено как «FUND HEAT MA») – 12 ссылок и «GEA, 2012: Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria» – 8 ссылок (обозначено как «GLOBAL ENERGY ASSESS»). Источники идентифицированы, но являются разовыми; не будучи пополняемой упорядоченной совокуп-

культуре «The Tech Report PC Hardware Explored» (The Tech Report PC Hardware Explored [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://techreport.com>. Дата доступа: 24.11.2017.), содержащий массу пополняющейся и обновляющейся информации, который также можно считать продолжающимся источником информации. В интернете найдено также немало примеров отдельных технических отчетов различных университетов. Вновь невозможно установить, какие именно источники имеются в виду под ссылками на «TECH REP». Весьма вероятно и то, что в обоих случаях имелись в виду некие разовые издания.

⁷ В принципе, возможно искушение расшифровать «PREPRINT» как ссылку на Web-платформу «preprints» (URL: <https://www.preprints.org/>; дата обращения: 20.12.2017); что же касается «THESIS», то издания под таким названием публикуются в России и Греции (данные БД ULRICHSWEB™ [13]). Однако данная информация не влияет на нашу интерпретацию: платформа «preprints» появилась в 2016 году, в то время как ссылки на «PREPRINT» имеются и на более раннее время; российское издание «THESIS» специализировано в области общественных наук, а одноименный греческий журнал – в европейской политике: очевидное тематическое несоответствие налицо. А это значит, что первая и очевидная интерпретация оказывается правильной.

ностью данных, они для наших целей не нужны⁸. Их идентификация посредством интернет-поиска – в определенной степени есть вопрос везения. Методический же интерес эта группа (кроме трудов конференций) представляет тем, что разовые книги не являются источниками, отражаемыми JCR.

Источники, выявляемые с помощью JCR, данные о которых вынужденно объединяются вследствие использования в JCR различных сокращений для обозначения их наименований

В ходе работы по формированию списка нам приходилось также объединять данные об одних и тех же информационных источниках, сокращенные наименования которых были представлены в цитат-данных JCR по-разному.

1) Научные журналы.

1.1) *Объединение данных, вызванное использованием различных сокращений.* Так, данные о цитируемости журнала «IEEE Transactions on Power Systems» (ISSN: 0885-8950, IEEE, USA), были представлены дважды: под принятым в JCR сокращенным названием «IEEE T POWER SYST» (179 ссылок), а также под сокращением «POWER SYST IEEE T» (9 ссылок). При этом второй вариант сокращения журнала не сопровождался данными о его импакт-факторе.

В отношении журнала «Energy Policy» также обнаружили разночтения в написании. Помимо принятого в JCR сокращения «ENERG POLICY» (на которое, понятно, пришлась львиная доля ссылок) он цитировался под сокращениями «ENERGY POLICY C» (17 ссылок) и «ENERGY P» (13 ссылок). Разыскания в интернете подтвердили, что в обоих случаях речь идет о данном журнале, причем аббреви-

⁸ Поясним подробнее: если данные о состоявшейся цитируемости сериального издания могут быть полезны, например, для будущей подписки на него, то что реально можно сделать (в контексте деятельности библиотек) в будущем в отношении обеспечения стабильной доступности читателям книги, которая издана уже настолько давно, что уже успела получить заметное число ссылок?! Впрочем, при условии открытого доступа к таким книгам в интернете они могут быть с пользой рекомендованы исследователям-энергетикам для самостоятельного ознакомления с ними даже без принятия каких-либо посреднических мер со стороны библиотеки (помимо выявления электронных адресов, по которым доступны их полные тексты). Однако почти ко всем выявленным книгам такой доступ отсутствует.

атуру «ENERGY POLICY C» цитирующие авторы относили к опубликованным *материалам конференций* («C» – это «Conference»), материалы которой публиковались в цитируемом номере журнала; некоторые найденные в Интернете ссылки в списках литературы выложенных отсканированных работ подтвердили эту догадку. Данные были объединены.

Журнал «Energy Efficiency» также не всегда цитируется под фиксированным сокращением JCR «ENERG EFFIC» (96 ссылок); нами зафиксирована также одна ссылка на него под его полным названием.

Также мы объединили данные о считающемся журналом ежегоднике (в соответствии со сведениями БД ULRICHSWEB™ [13]) «SAE International Journal of Engines», не индексируемом JCR (ISSN: 1946–3936, S A E Inc., USA), который цитировался также под двумя вариантами названия: «SAE INT J ENGINES» (24 ссылки) и «SAE INT J ENG» (12 ссылок).

1.2) *Объединение данных, вызванное переименованием журнала.* Наш следующий пример – журнал «J NAT GAS CHEM» («Journal of Natural Gas Chemistry», ISSN: 1003–9953, ELSEVIER SCIENCE BV, CHINA MAINLAND). Его наименование в JCR приводилось под единственным – и правильным – сокращением, но в 2013 г. он претерпел переименование в «Journal of Energy Chemistry»⁹. Поскольку никаких структурных реформ при его переименовании не проводилось, данные о его цитируемости под старым названием были просто сохранены в итоговом списке документальных источников, отбираемых для создания информационной среды, куда он был внесен *под новым названием*.

1.3) *Объединение данных, вызванное двойным наименованием журнала.*

Более интересным примером цитируемого журнала, претерпевшего реорганизацию, является журнал, цитируемый под названием «CHINA POPUL RESOUR E». Ссылки на данный журнал учитывались в пределах 2010–2015 гг. [5], в то время как БД ULRICHSWEB™ сообщает, что журнал «China Population, Resources and Environment» (кажущаяся единственно приемлемой версия расшифровки дан-

⁹ Journal of Energy Chemistry [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.jenergychem.org/EN/column/column79.shtml>. Дата доступа: 13.10.2017.

ного сообщения; ISSN: 1872-583X, Elsevier, Netherlands) прекратил свое существование в 2009 году! Однако интернет-поиск журнала «China Population, Resources and Environment» в качестве ныне существующего привел нас на Web-страницу, где приведены наименования публикаций 2009–2014 года из журнала под двойным названием: «Zhongguo Renkou Ziyuan Yu Huan Jing / China Population Resources and Environment»¹⁰. Повторный поиск в БД ULRICHSWEB™ – теперь уже по названию «Zhongguo Renkou Ziyuan Yu Huan Jing» – дает нам название журнала с несколько иным написанием – «Zhongguo Renkou Ziyuan yu Huanjing», но это, безусловно, тот же самый журнал. Его ISSN – 1002–2104; издатель, как указано в БД ULRICHSWEB™, – «Zhongguo Renkou Ziyuan yu Huanjing», журнал основан в 1991 году и выходит, если верить БД ULRICHSWEB™, и в настоящее время. В период же по 2009 год в издательстве «Elsevier» явно выходила его переводная версия. Итак, именно к журналу «Zhongguo Renkou Ziyuan Yu Huan Jing» мы и относим зафиксированные ссылки на наименование «CHINA POPUL RESOUR E». Приведенный пример представился весьма интересным, но правы ли мы в своих догадках о тождественности журналов? Да: на имеющейся Web-странице эльзевировского журнала указано, что «данный источник публикует избранные статьи из оригинальной китайской версии <журнала>»¹¹. Правда, до этой информации, набранной мелким шрифтом в неудобном месте страницы еще нужно «добратся».

2) *Продолжающиеся издания – труды конференций.* Данные, касающиеся цитируемости сериальных трудов конференций «Energy Procedia» (ISSN: 1876–6102, Elsevier, Netherlands), нам приходилось объединять и в предыдущих исследованиях [4; 5], однако, в них источник встречался «всего» под двумя написаниями («ENRGY PROCED» и «ENERGY

PROCEDIA»). В данном случае под первым из названий он был процитирован 112 раз; под вторым – 67 раз. Однако встретилось и третье написание: «ENRGY PROCED C» (18 ссылок), где лишняя буква «С» относится к слову «Conference» (ср. с примером, приведенным выше).

Продолжающееся издание трудов конференции «AIP Conference Proceedings» (ISSN: 0094-243X, AIP Publishing LLC, USA) цитировалось под названиями «AIP C PROC» и «AIP CONF P», а продолжающееся издание «Procedia Engineering» (ISSN: 1877-7058, Elsevier, Netherlands), также являющееся трудами конференций, цитировалось под названием «PROCEDIA ENGINEER» (13 ссылок) и «PROCEDIA ENG» (7 ссылок) Все три издания – не индексируемые в JCR.

3) *Ежегодный справочник.* Издающийся ежегодно справочник Международного энергетического агентства «World Energy Outlook» (ISSN: 1026-1141, Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) & International Energy Agency, France) позиционируется как наиболее авторитетный источник для анализа энергетики, надежный источник анализа глобальных энергетических рынков. Издание цитировалось под одним и тем же сокращением («WORLD EN OUTL»)¹², но либо с указанием года издания, либо без такого указания. Мы объединили все ссылки на него и получили значительную величину показателя цитируемости данного источника, равную 72 ссылкам.

4) *Серию монографий.*

Достаточно интересны данные о следующих источниках, *цитирующих* специализированные журналы, представляющих тематику «энергобезопасность и энергосбережение, энергоэффективные технологии и техника», различные варианты сокращенного написания названий которых нам пришлось объединить.

Серию монографий, обозначенные как «LECT NOTES COMPUT SC» («Lecture Notes in Computer Science», 29 раз ссылалось на специализированные журналы, представляющие указанную тематику) и «LECT NOTES ARTIF

¹⁰ Фрагмент электронного ресурса на китайском языке. Режим доступа: (http://en.ahau.findplus.cn/?page=2&h=search_list&query=JN:%22Zhongguo%20Renkou%20Ziyuan%20Yu%20Huan%20Jing/%20China%20Population%20Resources%20and%20Environment%22). Дата доступа: 24.10.2017. О двойных наименованиях китайских журналов – см. [14].

¹¹ Science Direct: China Population, Resources and Environment [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/journal/china-population-resources-and-environment>. Дата доступа: 13.10.2017.

¹² В одном из наших предыдущих исследований ссылки в журналах по атомной энергетике были почти поровну распределены между сокращенным наименованием «WORLD EN OUTL» и полным – «World Energy Outlook» [6, с. 141].

INT» («Lecture Notes in Artificial Intelligence», 8 цитирований специализированных журналов) имеют, согласно JCR, один и тот же ISSN и не имеют прямой ссылки для перехода из JCR в БД ULRICHSWEB™. Непосредственный же вход в БД ULRICHSWEB™ по названиям этих изданий также демонстрирует наличие у них одного и того же ISSN. Обратившись к интернет-материалам издателя, выясняем, что издание «Lecture Notes in Artificial Intelligence» «было создано в середине 1980-х как подсерия «Lecture Notes in Computer Science»»¹³. Соответственно, наши цитат-данные объединяются: уровень цитирований в «Lecture Notes in Computer Science» специализированных журналов при его суммировании с аналогичным показателем для его подсерии «Lecture Notes in Artificial Intelligence» принимается равным 37 цитированиям.

**Трудноидентифицируемые выявляемые
с помощью JCR источники, данных
о названиях которых нет в JCR,
включаемые в документальную
составляющую информационной среды**

1) *Журнал*. Приведем пример трудноидентифицируемого и с трудом поддающегося оценке цитируемого источника и подхода к работе по его идентификации. Итак, название: «CHINA PULP PAP». (С помощью самого JCR его сокращенное название расшифровать не удалось.) Сведений об источнике с названием, похожим на данное сокращение, не дает не только JCR, но и БД ULRICHSWEB™ (!!) [13], – зато интернет-поиск приводит нас на сайт издательства¹⁴, на котором сообщается о журнале «China Pulp & Paper» и указывается его тематика, но сам источник назван не «journal» (научный журнал), а «magazine» (≈ популярный журнал). Это вселяет определенные сомнения в целесообразности применения такого источника. Однако, по кнопке «Magazines» на данном сайте попадаем на его раздел с более полной характеристикой отраженных на нем жур-

налов¹⁵, где читаем, что данный журнал – один из важнейших технических журналов Китая, уделяющий большое внимание развитию науки и инноваций. Можно счесть это описание чисто рекламной декларацией, но сообщение о том, что журнал имеет «рецензируемую колонку», то есть раздел, публикующий научные статьи, изменяет наше представление о его ненужности в информационном обслуживании. Мало того, указанный на данной странице ISSN журнала позволяет обнаружить его и в БД ULRICHSWEB™ – правда под другим названием, т. е. под его названием на китайском языке: «Zhongguo Zaozhi»¹⁶. Рассмотрение совокупности доступных данных о журнале показывает, что он является т. н. «trade magazine»¹⁷, но с достаточно мощной научной составляющей. Итак, этот источник по своим характеристикам представляется достойным включения в документальную составляющую подготавливаемой к созданию информационной среды.

Что касается нежурнальных сериальных изданий, то вообще таковых в ходе выполненного исследования выполнения исследования было выявлено достаточно много, причем около 20-и примеров таковых признаны нами интересными либо из-за особенностей их идентификации, либо – вследствие неожиданности для нас высоких цитат-показателей, обнаруженных у источников подобной тематики и вида. К действительно трудноидентифицируемым эти примеры могут быть отнесены достаточно условно; тем не менее, приведем некоторые – на наш взгляд, наиболее интересные – из них.

2) *Продолжающиеся издания – труды конференций*. Здесь стоит упомянуть про такой источник, как «Advances in Computer Science Research» (ISSN: 2352-538X; Atlantis Press BV; Netherlands) – издающиеся только он-лайн труды конференций¹⁸, 20 раз цитирующие из-

¹⁵ China Pulps and Paper Magazines Publisher: Magazines [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.cppmp.com/Magazines.asp>. Дата доступа: 19.10.2017.

¹⁶ На то, что в JCR не учитывается практика двойных наименований неанглоязычных и, в частности, китайских журналов, указано в заметке [14]. В ней приведены и конкретные примеры.

¹⁷ То есть является периодическим изданием для работников торговли или промышленности [15].

¹⁸ Proceedings series Advances in Computer Science Research [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.atlantis-press.com/proceedings/series/acsr>. Дата доступа: 03.11.2017.

¹³ Springer: New & Forthcoming Titles: Lecture Notes in Artificial Intelligence [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.springer.com/series/1244>. Дата доступа: 20.10.2017.

¹⁴ China Pulps and Paper Magazines Publisher [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.cppmp.com/English.asp>. Дата доступа: 19.10.2017.

бранные узкоспециализированные источники; а также «Proceedings of the Economics & Finance Conferences» (ISSN, указанный на сайте: 2336–6044, в БД ULRICHSWEB™ ISSN и сам источник не зафиксирован; International Institute of Social and Economic Sciences, Czech Republic) – также издающиеся он-лайн труды конференций¹⁹, 20 раз цитирующие избранные узкоспециализированные источники. Второй из названных источников, несмотря на ISSN, указанный на своем Web-сайте, не индексируется в БД ULRICHSWEB™), что создало определенные затруднения при его разыскании. Подобным же примером может служить «Advances in Intelligent Systems Research» (ISSN на сайте: 1951–6851, в БД ULRICHSWEB™ источник не зафиксирован; Atlantis Press BV; Netherlands) – также издающиеся он-лайн труды конференций²⁰, 13 раз цитирующие специализированные источники по тематике «энергобезопасность и энергосбережение, энергоэффективные технологии и техника».

3) *Серии монографий*. Считаю целесообразным упомянуть про «Woodhead Publishing Series in Energy» (ISSN: 2048-0571; Woodhead Publishing Ltd.; United Kingdom) – серию монографий, с которой мы уже «встречались» при изучении сериальных изданий в помощь исследованиям по атомной энергетике – впрочем, когда рассматривали не высокоцитируемые, а высокопродуктивные источники [5, с. 35]. Это сериальное издание также имеет цитируемость в узкоспециализированных источниках, равную 8. Серия позиционирует себя как публикующая «передовые исследования и практические руководства для обычных и атомных электростанций, устойчивого производства, управления водными ресурсами, градостроительства и развития транспорта»²¹.

¹⁹ International Institute of Social and Economics Sciences: Proceedings of the Economics & Finance Conferences [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.iises.net/proceedings/economics-finance-conference-proceedings>. Дата доступа: 24.10.2017.

²⁰ Proceedings series Advances in Intelligent Systems Research [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.atlantis-press.com/proceedings/series/aisr>. Дата доступа: 03.11.2017.

²¹ Series: Woodhead Publishing Series in Energy [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.elsevier.com/books/book-series/woodhead-publishing-series-in-energy>. Дата доступа: 23.10.2017.

4) *Книжные серии*. Меньшая определенность с видовым понятием связана в данном случае с самим содержанием описываемого источника: «Computer Aided Chemical Engineering» (ISSN: 1570-7946; Elsevier BV; Netherlands) – это любопытная книжная серия, которая публикует «как тематические тома, так и труды конференций»²². На данную серию пришлось 8 ссылок в избранных узкоспециализированных журналах; сама же она цитировала эти журналы 39 раз.

Выводы

Выявленные в ходе подобных исследований источники, сокращенные наименования которых не поддаются идентификации с помощью данных самого JCR, обычно считаются малозначительными либо вовсе ненужными. Объясняется это тем, что в силу самой структуры JCR такие источники – это обычно периодические и продолжающиеся издания, не имеющие «импакт-фактора»²³. Однако выполненный нами анализ убеждает, что такие источники могут быть действительно полезными для специалистов²⁴. Далее, установлено, что в JCR не просто встречаются ошибки двойного написания сокращенных наименований, но что таковые могут касаться даже журналов, включенных в «мастер-список», то есть источников, определенно имеющих установленные для JCR сокращения. Все это приводит нас к выводу о том, что при выполнении библиометрических исследований с помощью JCR отказ от скрупулезных идентификационных изысканий приведет нас к потере действительно ценных данных о цитируемых/цитирующих информационных источниках.

Материалы исследования цитируемости сериальных изданий в журналах по тематике

²² Series: Computer Aided Chemical Engineering [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.elsevier.com/books/book-series/woodhead-publishing-series-in-energy>. Дата доступа: 23.10.2017.

²³ К таким изданиям многие специалисты неоправданно относятся сейчас как к изданиям «второго сорта». Из обширной текущей литературе об «импакт-факторе» мы сошлемся на достаточно новый обзор [16, р. 380], где его корректное и полное определение вписано в широкий и адекватный познавательный контекст.

²⁴ Выполнение такого анализа по существу было неизбежным, т. к. конечным пунктом наших разысканий трудноидентифицируемых источников всегда были их Web-сайты с привлечением по необходимости и содержания конкретных публикуемых в них материалов.

«энергобезопасность и энергосбережение, энергоэффективные технологии и техника» / цитирования ими этих журналов, будучи источником более разнообразных ошибок в обозначениях в JCR цитируемых/цитирующих информационных источников, нежели наши предыдущие исследования [4–6], позволили выделить ряд различных последствий и причин таких ошибок. Из рассмотренных в данной статье ошибок, их причин и последствий интерес в контексте практического использования данных, на наш взгляд, представляют: 1) использование сокращений, не позволяющих идентифицировать обозначенные ими источники, что приводит к их неизбежному исключению из рассмотрения; 2) использование двойных и многократных различных сокращений для наименования одного и того же сериального издания, вызванное как 2.1) объективно существующим двойным их наименованием, неправильно понятым индексаторами, так и 2.2) включением в цитат-данные JCR полных наименований сериальных изданий наряду с сокращенными, а также 2.3) включением в отдельных случаях года издания или указания на то,

что выпуск сериального издания представляет собой материалы конференции, – что вынуждает исследователя-библиометриста предпринимать трудоемкие кропотливые проверки, а затем объединять полученные данные. Двойные наименования сериальных изданий ошибочно возникают при индексации материалов в JCR и 2.4) как следствие наличия подсерий внутри серий (которые воспринимаются либо как часть серии, либо как самостоятельная серия).

Легко заметить, что если ошибки 2.2 и 2.3 – это обычная небрежность, то ошибки 2.1 и 2.4 – это следствия объективных характеристик отображаемого источника. Для их преодоления мало простой внимательности, и мы затруднились бы дать конкретный совет соответствующим службам фирмы Clarivate Analytics, поддерживающей БД Web of Science и ее раздел Journal Citation Reports®. Еще труднее кажется «предсказать» алгоритм генерации сокращений, «понятных интернету» при соответствующем последующем поиске в нем полных названий. Однако, проблема в настоящей работе выявлена и сформулирована, и решать ее – необходимо.

Благодарность

Авторы благодарны А. В. Скалабану (НП «НЭИКОН») за обсуждение рукописи статьи.

Литература

1. **Калюжный К. А.** Информационная среда и информационная среда науки: сущность и назначение. // Альманах «Наука. Инновации. Образование». – 2015. – Выпуск 18. – С. 7–23.
2. **О приоритетных** направлениях научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2016–2020 годы: Указ Президента Респ. Беларусь, 22 апр. 2015 г., № 166 [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.scienceportal.org.by/upload/2015/April/SandT.pdf>. Дата доступа: 14.11.2017.
3. **InCites Journal Citation Reports** [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://jcr.incites.thomsonreuters.com>. Дата доступа: 14.11.2017.
4. **Лазарев В. С., Скалабан А. В.** Основные мировые научные журналы в помощь выполнения исследований по проблеме «возобновляемые источники энергии, местные и вторичные энергоресурсы» // Энергетика: Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2016. – Т. 59, № 5. – С. 488–502. – DOI:10.21122/1029-7448-2016-59-5-488-502. (Доступна по адресу: <http://energy.bntu.by/jour/article/view/1033>. Дата доступа: 23.11.2016.)
5. **Лазарев В. С., Скалабан А. В., Юрик И. В., Лис П. А., Качан Д. А.** Отбор сериальных изданий в помощь исследованиям (на примере научных работ по атомной энергетике) // НТИ. Сер. 1. – 2017. – № 8. – С. 29–41.
6. **Лазарев В. С., Скалабан А. В.** Некоторые проблемные вопросы отбора научной периодики в помощь выполнения исследований конкретной проблематики путем цитат-анализа // Библиотеки в информационном обществе: сохранение традиций и развитие новых технологий. Тема года – «Эффективное использование информационных технологий и наукометрических инструментов в библиотечно-информационной, научной и образовательной деятельности»: доклады II Международной научной конференции, Минск, 1–2 декабря 2016 г. / Государственное учреждение «Белорусская сельскохозяйственная библиотека им. И. С. Лупиновича» Национальной академии наук Беларуси – Минск: Ковчег, 2016. – С. 134–145.
7. **Van Raan A. F. J.** Fatal attraction: Conceptual and methodological problems in the ranking of universities by bibliometric methods // Scientometrics. – 2005 – v. 62, N 1. – P. 133–143. – DOI: 10.1007/s11192-005-0008-6.
8. **Franceschini F.** Empirical analysis and classification of database errors in Scopus and Web of Science / F. Franceschini, D. Maisano, L. Mastrogiacomo // Journal of Informetrics. – 2016. – v. 10, N 4. – P. 933–953. – DOI: 10.1016/j.joi.2016.07.003.
9. **Соколов Д. В.** Публикационная активность как наукометрический индикатор: российский и международный опыт // Альманах «Наука. Инновации. Образование». – 2014. – Выпуск 15. – С. 131–147.

10. **Yurik I., Lazarev V., Dydik N.** Serial Publications to Support Research in Energy Security, Energy Conservation and Energy Efficiency Technologies and Techniques [: Table]. Version 2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://figshare.com/articles/energy_sec_xlsx/5606053/2. Дата доступа: 23.11.2016.
11. **Clarivate** Analytics Master Journal List [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mjl.clarivate.com/>. Дата доступа: 24.11.2017.
12. **Лазарев В. С.** Анализ библиографических ссылок как метод оценки отраслевой научной периодики // Науч. и техн. б-ки СССР. – 1981. – С. 27–34.
13. **ULRICHSWEB™** Global Serial Directory. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ulrichsweb.serialssolutions.com>. Дата доступа: 14.11.2017.
14. **Ren S. L., Zu G., Wang H.** Statistics hide impact of non-English journals // Nature. – 2002. – v. 245, 14 Feb. – P. 732. – DOI:10.1038/415732a.
15. **Trade** magazine / Wikipedia: The Free Encyclopedia [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Trade_magazine. Дата доступа: 01.10.2017.
16. **Waltman L.** A review of the literature on citation impact indication // Journal of Informetrics. – 2016. – Vol. 10, N 2. – P. 365–391. – DOI:10.1016/j.joi.2016.02.007.

References

1. **Kalyuzhnyi, K. A.** Information Environment and Information Environment of Science: Nature and Purpose // Al'manakh «Nauka. Innovatsii. Obrazovanie» [Almanac «Science. Innovation. Education»]. – 2015. – Issue 18. – P. 7–23. (in Russian)
2. **On Priority** Directions of the Research and Technical Activities in the Republic of Belarus for 2016–2020. Decree of the President of the Republic of Belarus. 22 April 2015, N 166. Available at: <http://www.scienceportal.org.by/upload/2015/April/SandT.pdf>. (Accessed 14 November 2017) (in Russian)
3. **InCites** Journal Citation Reports [E-resource]. Mode of access: <https://jcr.incites.thomsonreuters.com>. Date of access: 14.11.2017.
4. **Lazarev, V. S.** The world major scientific periodicals to be used by researchers of «Renewable energy, local and secondary energy resources» / V. S. Lazarev, A. V. Skalaban // Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc., 2016. – v. 59, N 5. – P. 488–502 (in Russian)
5. **Lazarev, V. S.** Selection of serial publications to support researchers (based on the example of scientific works on nuclear power) / V. S. Lazarev, A. V. Skalaban, I. V. Yurik, P. A. Lis, D. A. Kachan // Scientific and Technical Information Processing. – 2017. – N 44, N 3. – P. 196–206. – DOI: 10.3103/S0147688217030066.
6. **Lazarev, V. S.** Some doubtful points of citation analysis selection of scientific periodicals to be used by specialists in a particular field / V. S. Lazarev, A. V. Skalaban // Libraries in the information society: the preservation of traditions and the development of new technologies. The theme of the year is «Efficient use of information technology and scientific tools in library information, research and education»: Proc. of the II International scientific conference, Minsk, December 1–2 2016 / State institution «Belarusian agricultural I. S. Lupinovich library» of the National Academy of Sciences of Belarus – Minsk: Kovcheg, 2016. – P. 134–145. (in Russian)
7. **Van Raan, A. F. J.** Fatal attraction: Conceptual and methodological problems in the ranking of universities by bibliometric methods // Scientometrics. – 2005 – v. 62, N 1. – P. 133–143. – DOI: 10.1007/s11192-005-0008-6.
8. **Franceschini, F.** Empirical analysis and classification of database errors in Scopus and Web of Science / F. Franceschini, D. Maisano, L. Mastrogiacomio // Journal of Informetrics. – 2016. – V. 10, N 4. – P. 933–953. – DOI: 10.1016/j.joi.2016.07.003.
9. **Sokolov, D. V.** Publication activity as a scientometric indicator: Russian and international experience // Al'manakh «Nauka. Innovatsii. Obrazovanie» [Almanac «Science. Innovation. Education»]. – 2014. – Issue 15. – P. 131–147. (in Russian)
10. **Yurik, I.** Serial Publications to Support Research in Energy Security, Energy Conservation and Energy Efficiency Technologies and Techniques [: Table]. Version 2. / I. Yurik, V. Lazarev, N. Dydik [E-resource]. Mode of access: https://figshare.com/articles/energy_sec_xlsx/5606053/2. Date of access: 23.11.2016.
11. **Clarivate** Analytics Master Journal List [E-resource]. Mode of access: <http://mjl.clarivate.com/>. Date of access: 24.11.2017.
12. **Lazarev, V. S.** Analysis of bibliographic citation as a method for scientific periodicals evaluation // Nauch. i tekhn. b-ki SSSR [Scientific and technical libraries of the USSR] – 1981. – N 5. – P. 27–34. (in Russian).
13. **ULRICHSWEB™** Global Serial Directory. [E-resource]. Mode of access: <https://ulrichsweb.serialssolutions.com>. Date of access: 14.11.2017.
14. **Ren, S. L.** Statistics hide impact of non-English journals / S. L. Ren, G. Zu, H. Wang // Nature. – 2002. – V. 245, 14 Feb. – P. 732. – DOI:10.1038/415732a.
15. **Trade** magazine / Wikipedia: The Free Encyclopedia [E-resource]. Mode of access: https://en.wikipedia.org/wiki/Trade_magazine. Date of access: 01.10.2017.
16. **Waltman L.** A review of the literature on citation impact indication // Journal of Informetrics. – 2016. – Vol. 10, N 2. – P. 365–391. – DOI:10.1016/j.joi.2016.02.007.

Поступила
22.01.2018

После доработки
22.01.2018

Принята к печати
15.03.2018

Lazarev V. S., Yurik I. V.

ON THE PROBLEMS OF IDENTIFICATION OF INFORMATION SOURCES BEING DISCOVERED IN THE COURSE OF CITATION STUDIES WITH THE USE OF JOURNAL CITATION REPORTS®

Belarusian National Technical University

During the citation study of serial publications with the use of Journal Citation Reports® (JCR) a number of items are being revealed (among others) which abbreviated titles cannot be identified with the use of the JCR itself. Typically, such sources are considered unimportant, because they do not have an «impact factor». However, our analysis of the information sources, which abbreviated titles could not be identified with the use of the Journal Citation Reports® itself, convinced us that such sources can be really useful for the specialists. It was also discovered that in the JCR there are mistakes of writing of abbreviated titles in two different ways that relate even the periodicals included in the «master list», i. e. the sources having abbreviated titles established for JCR. The content of the present citation study of serial publications in relation to their ability to support research in the subject of «energy security and energy efficiency, energy efficient technologies and appliances» has made it possible to identify a number of different consequences of such mistakes and the reasons for them. It was found, for example, that the use of double and multiple different abbreviations for the titles of the same serial publication is either due to their objectively existing dual title misinterpreted by the indexers, or due to the inclusion in the citation data of the JCR full titles of the serial publications along with the abbreviated ones, and also by the inclusion in such data in some cases the year of publication or by indicating that the publication issue represents the conference proceedings. All the hard-to-identify abbreviations compel a bibliometrician to take time-consuming laborious identifications and verifications of such titles often followed by the recount of the resulting data.

Keywords: scientific serials, scientific non-serials, citation analysis, identification of items, bibliometrics, selection, power engineering.

Лазарев Владимир Станиславович работал в 1977–1998 гг. в группе научной медицинской информации НИИ гематологии и переливания крови Министерства здравоохранения Беларуси: по 1981 год младшим, а с 1981 года – старшим научным сотрудником; с 1980 года – с выполнением обязанностей руководителя группы. С декабря 1998 года по март 2016 года – вначале заведующий отделом научно-технической информации, интеллектуальной собственности и менеджмента качества научно-исследовательской части Белорусского национального технического университета (БНТУ), затем ведущий инженер данного отдела. С марта 2016 года – заведующий сектором отдела информационных технологий Научной библиотеки БНТУ. Член международного общества «Качественные и количественные методы исследования в библиотеках» (с 2017 г.). Автор более 200 публикаций (включая ряд научных статей в научной периодике США, Великобритании, Франции и др. стран, а также в международной), 60 докладов и выступлений на различных конференциях. В. С. Лазаревым выполнен ряд проектов по библиометрии и с привлечением библиометрии, в т. ч. темы НИР «Разработка библиометрической методики отбора и оценки мировых научных периодических изданий, публикации в которых необходимы для качественной реализации научных исследований в Республике Беларусь» (исполнитель, 2017), «Система проведения студенческих научных конференций и публикация студенческих работ как средство подготовки творчески активных профессионально зрелых специалистов: состояние и пути совершенствования» (научный руководитель, 2000–2002), «Белорусские средства массовой коммуникации и формирование постчернобыльского стресса у населения» (Research Support Scheme (OSI/HESP), грант № 1290/1996 – индивидуальный грантополучатель на выполнение исследования). В 90-е годы XX века участвовал также в эпидемиологических исследованиях постчернобыльской онкогематологической заболеваемости населения Беларуси.

Vladimir Lazarev worked at the Unit of Scientific Medical Information, Institute of Hematology and Blood Transfusion of the Ministry of Health of Belarus (1977–1998): till 1981 – as junior, and since 1981 – as senior researcher; since 1980 – with the duties of the head of a unit. Since December 1998 to March 2016 he was first the Head of the Department of Scientific and Technical Information, Intellectual Property and Quality Management of the Research Division of the Belarusian National Technical University (BNTU), then – a leading engineer of this Department. Since March 2016 he is

a head of a sector of the Information Technology Department of the Scientific Library of the BNTU. Member of the International Society «Qualitative and Quantitative Methods in Libraries» (since 2017). The author of over 200 papers (including research articles in scientific periodicals of the USA, UK, France and other countries, and also in international ones), of 60 presentations at various conferences. Vladimir Lazarev fulfilled a number of projects in bibliometrics and with the involvement of bibliometrics, including research projects of the «Development of bibliometric methods for selection and assessment of world scientific periodicals, which publications support quality implementation of scientific research in the Republic of Belarus» (executor, 2017), «System of holding student scientific conferences and publication of student work as a means of preparing creative mature professionals: state of arts and ways of improvement» (supervisor, 2000–2002), and also «Belarusian mass communication and the post-Chernobyl public stress formation» (Research Support Scheme (OSI/HESP), grant No 1290/1996 – individual grantee to perform the research work). In the 90-ies of XX century Vladimir Lazarev also participated in the post-Chernobyl epidemiological studies of blood malignancies morbidity of the population of Belarus.

Юрик Инна Викторовна – директор Научной библиотеки Белорусского национального технического университета. Окончила факультет информационно-документных коммуникаций Белорусского государственного университета культуры и искусств (специализация «менеджмент и маркетинг библиотечно-информационных систем»); специальность по диплому – «библиотекарь-библиограф». Соискатель кафедры менеджмента информационно-документной сферы УО «Белорусский государственный университет культуры и искусств», специальность 05.25.03 – «библиотековедение, библиографоведение и книговедение», тема диссертационного исследования: «Социально-педагогические основы профессиональной адаптации библиотекарей Беларуси». Специалист в области менеджмента и маркетинга автоматизированных информационно-библиотечных систем, информационного обеспечения науки и образования. Автор более 70 публикаций научного и научно-методического характера в рецензируемых научных, профессиональных периодических изданиях, сборниках международных научно-практических конференций, в том числе коллективной монографии, учебно-методического и научно-популярного пособий. И. В. Юрик выполнен ряд проектов: темы НИР «Разработка библиометрической методики отбора и оценки мировых научных периодических изданий, публикации в которых необходимы для качественной реализации научных исследований в Республике Беларусь» (исполнитель, 2017), «Анализ мирового опыта и разработка предложений по стратегии развития на 2018–2020 годы и на перспективу до 2025 года системы научно-технической и инновационной информации Республики Беларусь как элемента национальной инновационной системы» (исполнитель, 2017). Участвовала в международной программе Mobility Scheme for Targeted People-to-People-Contacts (2016, 2017). Председатель Белорусской библиотечной ассоциации (с 2017 г.).

Inna Yurik is the Director of the Scientific Library of the Belarusian National Technical University. She has graduated from the Faculty of Information and Document Communications, Belarusian State University of Culture and Arts (specialized in «management and marketing of library information systems»); diploma specialty is «librarian-bibliographer». A candidate for a PhD degree in Library Science, Theory of Bibliography and Bibliology at the Department of Information and Documentation Management of the Belarusian State University of Culture and Arts; the subject of her PhD study is «Socio-pedagogical bases of professional adaptation of librarians of Belarus». She is an expert in the field of management and marketing automated information and library systems, information support of science and education; the author of over 70 published scientific and methodological papers in peer-reviewed professional journals, proceedings of international scientific-practical conferences, as well as of one collective monograph, educational and popular scientific manuals. Inna Yurik fulfilled a number of projects, viz. research projects of the «Development of bibliometric methods for selection and assessment of world scientific periodicals, which publications support quality implementation of scientific research in the Republic of Belarus» (executor, 2017) and «Analysis of world experience and development of proposals on strategy of the development of the of scientific-technical and innovative informa-

tion system of the Republic of Belarus as a part of the national innovation system for the years 2018 to 2020 and prospectively up to 2025» (executor, 2017). A participant of the Mobility Scheme for Targeted People-to-People-Contacts international programme (2016, 2017). The Chairperson of the Belarusian Library Association (since 2017).

UDC 658.512.011.56

A. V. PETUKHOV

FORMALIZATION OF THE PROBLEM OF SELECTION OF AUTOMATED SYSTEM

Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Republic of Belarus

The results of many years of research in the field of formalizing the task of selecting automated systems for various areas of design and office activities are given. The purpose of the study is the development of methods for qualitative and quantitative evaluation when choosing an automated system, taking into accounts the operating conditions and customer requirements. Qualitative assessment is based on the theory of choice and decision making, which examines the mathematical models of this type of activity. In view of the fact that in the problem under consideration, many alternatives, which are automated systems, are known, it can be related to the choice problem. The peculiarity of this approach is that it does not require a complete restoration of the principle of optimality, but allows us to confine ourselves to information sufficient to identify the optimal variant. The quantitative assessment is based on the determination of the projected annual economic effect from the introduction of an automated system. The described technique can be used by enterprises and organizations in the evaluation of automated systems at the stage preceding the tender for their purchase.

Keywords: *choice of automated system, qualitative assessment, quantitative assessment, theory of choice and decision-making*

Introduction

Expanding the use of information technology in practically all spheres of life of modern society and the continuous appearance of various automated systems (AS) on the market actualizes the task of developing a methodology for assessing the optimal version of a particular system, based on operating conditions and customer requirements.

As a rule, enterprises, institutions and firms especially need the proposed methodology in two cases:

- 1) The enterprise has only been established and needs to purchase AS for work;
- 2) The enterprise already exists for a while, has accumulated certain experience in the use of information technology, but the existing situation does not suit management and modernization is required, including the purchase of new software.

In both cases, experience shows that the evaluation methodology must meet two basic requirements.

First, the methodology should be as broad and objective as possible, based on simple and understandable criteria that do not allow double interpretation, equally perceived by both customers and performers.

Secondly, the methodology should allow the implementation of the evaluation procedure on the basis of a widespread computer program, for example, Microsoft Excel. This will ensure the simplicity of creation, the adequacy of perception and ease of modernization. This is explained by the fact that the customer, in most cases, does not have the necessary level of knowledge in the field of existing decision support technologies and therefore does not want to risk losing money, trusting, in his opinion, a complex and biased program.

The formalization of the task of selecting an AS involves a comprehensive study of systems, including qualitative and quantitative assessments.

1. The method of qualitative evaluation of AS

The basis for the methodology of qualitative assessment is the theory of choice and decision-making, which examines the mathematical models of this type of activity.

Let there be a lot of AS, and the problem is to isolate a subset from it based on the idea of the quality of the options, characterized by the principle of optimality. In this case, the decision-making

ing task is called a pair $\langle \Omega, OP \rangle$, where Ω – many options, OP – optimality principle. By the solution of the problem $\langle \Omega, OP \rangle$ we mean the set $\Omega_{OP} \subseteq \Omega$, obtained with the help of the optimality principle OP .

The mathematical function of the OP optimality principle is the C_{OP} selection function. It associates with any subset $X \subseteq \Omega$ its part $C_{OP}(X)$. The solution Ω_{OP} of the original problem is the set $C_{OP}(\Omega)$.

The decision-making tasks are distinguished depending on the available information on the set Ω and the optimality principle of the OP . In view of the fact that in the problem under consideration, the set of alternatives that are AS is known, it can be related to the choice problem. Thus, the problem of choice is a special case of the general problem of decision-making. The peculiarity of this approach to the solution of the problem of choice lies in the fact that in the general case it does not require a complete restoration of the optimality principle, but allows us to confine ourselves only to information sufficient for distinguishing Ω_{OP} . The general optimization problem may not assume the maximization of one or more numerical functions. Its meaning is to select the set of the best elements, i. e. in calculating the value of $C_{OP}(\Omega)$ for given Ω and C_{OP} . If C_{OP} is a scalar selection function on the set Ω , then we get the usual optimization problem.

The alternatives in question have many properties that affect the solution. Being enlarged these properties can be classified into specific sets. In particular, when solving the problem of choosing a computer-aided manufacturing (CAM) system, the following sets of properties are considered: M' – integration with CAD systems; M'' – design of technological processes; M''' – work with technology directories; M'''' – calculation of allowances and cutting modes; M''''' – material and technical rationing.

Detailing of the indicated sets, shows that each of them is formed by several properties. For example, $M' \{m_1', m_2'\}$, where m_1' – data transfer on the composition of the machine-building product; m_2' – data transfer of the elements of machine parts.

Similarly, $M'' \{m_1'', m_2'', m_3''\}$, where m_1'' – interactive designing of technological processes on the basis of code information entered into the computer-aided process planning (CAPP) system; m_2'' – interactive designing of technological pro-

cesses on the basis of code information transmitted automatically from the CAD-system file to the CAPP system; m_2''' – automatic design of technological processes on the basis of the code information transferred from a file of CAD-system in the CAPP system.

Some of these properties are expressed by a number. This is confirmed by the existence of a mapping $\varphi: \Omega \rightarrow E_1$. Consequently, the savings from reducing the labor intensity of work in the CAM system is a criterion in the problem under consideration, and the number $\varphi(x)$ is the estimation of the alternative x by the criterion. Simultaneous accounting of individual properties can be difficult. In this case, the groups of properties that aggregate in the form of aspects are distinguished. An aspect is a complex property of alternatives, which simultaneously takes into account all the properties that belong to the corresponding group. In a particular case, an aspect can be a criterion. For example, when considering the properties that make up the set M' , the economy can be used as a criterion when implementing a CAM system integrated with the CAD system.

Therefore, all the properties $m_1', m_2'', \dots, m_n'''$, which are taken into account when solving the problem $\langle \Omega, OP \rangle$, are criteria. We put in correspondence to the criterion m_j the j -th axis of E_n ($j = 1, n$). We map the set Ω в E_n , associating with each alternative $x \in \Omega$ the point $\varphi(x) = \{\varphi_1(x), \dots, \varphi_n(x)\} \in E_n$, where $\varphi_j(x)$ – is the estimate of x by the criterion m_j ($j = 1, n$). A criterion space is a space whose coordinates of points are considered as estimates by the corresponding criteria.

The calculation of the estimates $\varphi_j(x)$ of each Ω_j -th alternative over the whole set of properties allows us to determine the indicator of the overall efficiency $E_{\Omega_j} M_i$. To do this, it is necessary to classify the estimates according to the properties that are to be maximized and minimized.

The purpose of this classification is that, in calculating the indicator of the overall efficiency $E_{\Omega_j} M_i$, it is correct (in the sense of the sign) to take into account the values of the efficiency measures for the properties to be minimized.

Indeed, based on the physical meaning of this classification, it is desirable that estimates for the properties subjected to minimization of $\varphi_j^{(min)}(x)$ be minimal (for example, costs associated with the purchase of computer facilities), but on pro-

properties subjected to maximization $\varphi_j^{(max)}(x)$ are maximal.

In this case, the calculation of the indicator of the overall efficiency $E_{\Omega_j} M_i$ of the Ω_j -th projection alternative is made by the formula

$$E_{\Omega_j} M_i = \sum_M \varphi_j^{(max)} M_i - \sum_M \varphi_j^{(min)} M_i$$

where $\sum_M \varphi_j^{(max)} M_i$, $\sum_M \varphi_j^{(min)} M_i$ – accordingly, the sum of measures of efficiency on the properties subject to maximization and minimization.

After these calculations, confidence intervals of the indicator $E_{\Omega_j} M_i$ are determined.

The final stage of the choice of the CAPP system is the decision-making based on the analysis of the calculated estimates $\varphi_j(x)$ and the indicator of the overall efficiency $E_{\Omega_j} M_i$.

The alternative having the largest value of the indicator of the overall efficiency $E_{\Omega_j} M_i$, can be considered as optimal for the considered set of alternatives of the CAPP systems Ω . Therefore, if the indicator of the overall efficiency $E_{\Omega_j} M_i$ of the alternative to the CAPP system is the largest in magnitude, taking into account the sign on the whole set of design alternatives, then the Ω_j -th alternative is optimal.

However, it is quite logical to take step by step decisions.

1. An alternative with the highest overall efficiency index $\max E_{\Omega_j} M_i$ is adopted as a nodal alternative.

2. Analyzing the estimates $\varphi_j(x)$ of each alternative for all purposes, an ordered set of alternatives Ω in accordance with the values $\varphi_j(x)$ is constructed.

3. In each order of importance, the set of estimates $\alpha_i = \{\varphi_1(x), \dots, \varphi_n(x)\}$ determines the place of the nodal alternative to the design of Ω_{nod} and determines the ways of its optimization:

A) if the set α_i is constructed for the goal that is to be maximized, then Ω_{nod} can be optimized by the alternatives to the left of it in the set Ω ;

B) if the set α_i is constructed for a goal subjected to minimization, then Ω_{nod} can be optimized by the alternatives to the right of it in the set Ω .

In this case, possible ways of optimizing the nodal alternative Ω_{nod} are determined. The possibility of their practical implementation is considered in the subsequent stages of engineering analysis and is related to the resolution of compatibility and feasibility problems. In particular, when

solving the problem of choosing the CAPP system, the ways of optimizing the nodal alternative can be scheduled at the stage of the tender for the purchase of the above-mentioned system.

2. The method of quantification evaluation of AS

The annual economic effect from the introduction of an AS is determined by the formula

$$Y_{econ} = \sum_{i=1}^{i=k} Zp_i - \sum_{j=1}^{j=m} Zt_j \quad (1)$$

where $\sum_{i=1}^{i=k} Zp_i$ – the amount of saving wages of workers in the i -th categories due to the increase in labor productivity when implementing an AS

for one year of work; $\sum_{j=1}^{j=m} Zt_j$ – amount of costs for the implementation of an AS for j -th items of expenditure.

The amount of saving wages of workers in the i -th categories due to the increase in labor productivity when implementing an AS for one year of work is determined by the formula

$$\sum_{i=1}^{i=k} Zp_i = \sum_{i=1}^{i=k} (Zp_i^Y n_i) \quad (2)$$

where Zp_i^Y – the amount of saving on the wages of one specialist of a certain category, resulting from a reduction in labor intensity by the types of work performed, for one year of work; n_i – number of specialists in the i -th categories of employees.

The amount of costs for the implementation of an AS for j -th items of expenditure is determined by the formula

$$\sum_{j=1}^{j=m} Zt_j = \sum_{j=1}^{j=m} \left(St_j^{emp} \times \sum_{j=1}^{j=k} n_j \right) + \sum_{j=1}^{j=p} St_j^{soft} \quad (3)$$

where St_j^{emp} – the cost of one user license by user category; n_j – number of specialists in the j -th categories of employees; $\sum_{j=1}^{j=p} St_j^{soft}$ – sum of the cost of j -th work on the implementation of an AS.

3. The results of approbation of the described approach

Approbation of the described technique was carried out for a long time in solving problems of the choice of AS.

In the beginning, it was used to identify the most important functions and tasks in the forma-

tion of ways to create CAM systems of prototypes for forage harvesting equipment [1], [2]. The obtained results were used in the Main specialized design bureau for the complex of forage harvesting machines when creating the first stage of the CAM system. Implemented on the basis of SM-1420 computer, the CAM system consisted of CAPP system of prototypes of forage harvesting equipment [3] and an AS for structural analysis of prototype designs [4].

Later on, when switching to PC and integrating the above mentioned system, the methodology was used to select the path of their further development. In particular, with its help, the decision was made to model decision making when choosing methods for automating the technological preparation of production of prototypes for forage harvesting and grain harvesting equipment [5]. In addition, the technique was used for the information analysis of the technological preparation for the production of prototypes for forage harvesting and grain harvesting equipment [6], and also for the development of the sequence of the creation of integrated systems [7].

To expand the scope of the described methodology, it was tested while analyzing and developing the proposals for the modernization of the existing PDM system of the joint stock company «Gomeltransneft Druzhba» [8].

In 2013, the methodology was used in higher education. Namely, when choosing a CAPP system for the performance of laboratory work at the Sukhoi State Technical University of Gomel [9].

Conclusion

The described technique can be used by enterprises and organizations in the evaluation of AS at the stage preceding the tender for their purchase. One of the advantages of the methodology is that it is based on simple and understandable criteria that do not allow double interpretation, is equally perceived by both customers and executors, and also allows the implementation of the evaluation procedure based on the Microsoft Excel office application. This circumstance ensures the ease of creation, adequacy of perception and ease of modernization at the request of the decision-maker.

References

1. **Petukhov, A. V.** Diagnostic analysis at the stage of pre-project research / A. V. Petukhov // Tractors and agricultural machinery. – 1990. – № 2. – pp. 21–22.
2. **Petukhov, A. V.** Investigation of the functional structure of the system of technological preparation of prototype production / A. V. Petukhov // Tractors and agricultural machinery. – 1993. – № 6. – pp. 26–29.
3. **Petukhov, A. V.** Automation of the design of technological processes for the production of prototypes / A. V. Petukhov // Tractors and agricultural machines – 1993. – № 12. – pp. 33–35.
4. **Petukhov, A. V.** Automation of structural analysis during technological preparation of production of prototypes / A. V. Petukhov // Tractors and agricultural machinery. – 1994. – № 3. – pp. 24–26.
5. **Petukhov, A. V.** Modeling decision-making when choosing methods for automating the technological preparation of production of prototypes for forage harvesting and grain harvesting equipment / A. V. Petukhov // Modern Problems of Mechanical Engineering: Collection of articles of the international scientific and technical conference, Gomel, 5–7 July 2000. – Gomel: Sukhoi STU of Gomel, 2000. – Vol. II. – pp. 70–73.
6. **Petukhov, A. V.** Information analysis of technological preparation of production of prototypes for forage harvesting and grain harvesting equipment / A. V. Petukhov // Modern Problems of Mechanical Engineering: Collection of articles of the international scientific and technical conference, Gomel, 5–7 July 2000. – Gomel: Sukhoi STU of Gomel, 2000. – Vol. II. – pp. 75–77.
7. **Petukhov, A. V.** The method of creating integrated systems of design and technological design / A. V. Petukhov // Modern Problems of Mechanical Engineering: Abstracts of the IX International Scientific and Technical Conference, Gomel, 25–26 October 2012. – Gomel: Sukhoi STU of Gomel, 2012. – pp. 87–88.
8. **Completed** projects of the Republican Unitary Enterprise «Center for Scientific, Technical and Business Information» (Gomel). 5. Topic: To conduct an analysis of the current automated information system for document circulation of the joint stock company «Gomeltransneft Druzhba» and develop proposals for its modernization [Electronic resource]. – 2008. – Mode of access: <http://www.cntdi.gomel.by/ITprojects.htm>. – Date of access: 13.01.2017.
9. **Petukhov, A. V.** Development of the method of criteria evaluation of the CAPP system / A. V. Petukhov // Modern Problems of Mechanical Engineering: Abstracts of the XI International Scientific and Technical Conference, Gomel, 20–21 October 2016. – Gomel: Sukhoi STU of Gomel, 2016. – pp. 57–58.

Литература

1. **Петухов, А. В.** Диагностический анализ на стадии предпроектного исследования / А. В. Петухов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1990. – № 2. – С. 21–22.
2. **Петухов, А. В.** Исследование функциональной структуры системы технологической подготовки производства опытных образцов / А. В. Петухов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1993. – № 6. – С. 26–29.

3. Петухов, А. В. Автоматизация проектирования технологических процессов изготовления опытных образцов / А. В. Петухов // Тракторы и сельскохозяйственные машины – 1993. – № 12. – С. 33–35.
4. Петухов, А. В. Автоматизация структурного анализа при технологической подготовке производства опытных образцов / А. В. Петухов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1994. – № 3. – С. 24–26.
5. Петухов, А. В. Моделирование принятия решений при выборе методов автоматизации технологической подготовки производства опытных образцов кормоуборочной и зерноуборочной техники / А. В. Петухов // Современные проблемы машиноведения: сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. 105 годовщине со дня рождения П. О. Сухого), Гомель, 5–7 июля 2000 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, АООТ «ОКБ Сухого»; под общ. ред. А. С. Шагиняна. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2000. – Т. II. – С. 70–73.
6. Петухов, А. В. Информационный анализ технологической подготовки производства опытных образцов кормоуборочной и зерноуборочной техники / А. В. Петухов // Современные проблемы машиноведения: сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. 105 годовщине со дня рождения П. О. Сухого), Гомель, 5–7 июля 2000 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, АООТ «ОКБ Сухого»; под общ. ред. А. С. Шагиняна. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2000. – Т. II. – С. 75–77.
7. Петухов, А. В. Методика создания интегрированных систем конструкторско-технологического проектирования / А. В. Петухов // Современные проблемы машиноведения: тез. докл. IX Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), Гомель, 25–26 окт. 2012 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, ОАО «ОКБ Сухого»; под общ. ред. С. И. Тимошина. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – С. 87–88.
8. Законченные проекты Республиканского унитарного предприятия «Центр научно-технической и деловой информации» (г. Гомель). 5. Тема: Провести анализ действующей автоматизированной информационной системы документооборота РУП «Гомельтранснефть «ДРУЖБА» и разработать предложения по ее модернизации [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: <http://www.cntdi.gomel.by/ITprojects.htm> Дата доступа: 13.01.2017.
9. Петухов, А. В. Разработка методики критериальной оценки САПР ТП / А. В. Петухов // Современные проблемы машиноведения: тез. докл. XI Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), Гомель, 20–21 окт. 2016 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Филиал ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого»; под общ. ред. С. И. Тимошина. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – С. 57–58.

Поступила
20.12.2017

После доработки
27.12.2017

Принята к печати
15.03.2018

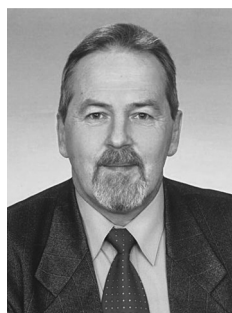
А. В. Петухов

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

В статье приводятся результаты многолетних исследований в области формализации задачи выбора автоматизированных систем для различных сфер проектировочной и офисной деятельности. Цель исследования заключалась в разработке методик качественной и количественной оценки при выборе автоматизированной системы, исходя из условий эксплуатации и требований заказчика. В основу методики качественной оценки положена теория выбора и принятия решений, которая исследует математические модели этого вида деятельности. Ввиду того, что в рассматриваемой задаче множество альтернатив, которыми являются автоматизированные системы известно, она может быть отнесена к задаче выбора. Особенность такого подхода состоит в том, что он не требует полного восстановления принципа оптимальности, а позволяет ограничиться информацией, достаточной для выделения оптимального варианта. Количественная оценка базируется на определении прогнозируемого годового экономического эффекта от внедрения автоматизированной системы. Описанная методика может использоваться предприятиями и организациями при оценке автоматизированных систем на стадии, предшествующей проведению тендера на их закупку.

Ключевые слова: выбор автоматизированной системы, качественная оценка, количественная оценка, теория выбора и принятия решений



Петухов Александр Владимирович – старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»

Alexander Petukhov – Senior lecturer of the chair «Technology of mechanical engineering» of the Sukhoi State Technical University of Gomel.

E-mail: Petukhov@tut.by/

**УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНИЧЕСКИМИ
ОБЪЕКТАМИ**

**MANAGEMENT OF
TECHNICAL OBJECTS**

УДК 62-52

О. Ф. ОПЕЙКО

СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЯ В ДВУХКОНТУРНОЙ ДИСКРЕТНОЙ СИСТЕМЕ

Белорусский национальный технический университет

Целью работы является линейный дискретный синтез двухконтурной системы с одним входом и одним выходом с пропорционально интегрирующими (ПИ) регуляторами, ориентированный на управление объектами, параметры которых могут изменяться в некоторых пределах. Метод синтеза основан на локализации корней и разделении движений на быструю и медленную составляющие. Параметры ПИ-регуляторов определяются на основе задания желаемых значений корней характеристического полинома на комплексной плоскости и использовании редуцированной, первого порядка, модели объекта. Используются условия, при которых динамические свойства каждого из контуров системы близки к свойствам динамического звена второго порядка. Дискретность управления, обусловленная микропроцессорным управлением, ограничивает область устойчивости каждого из контуров управления. Область устойчивости каждого контура имеет форму круга на комплексной плоскости корней, и радиус круга есть величина, обратно пропорциональная интервалу времени дискретизации управления данного контура. Внутренний контур должен иметь значительно меньшее время регулирования, чем внешний. Поэтому во внешнем контуре время расчета сигнала на выходе ПИ-регулятора, равное интервалу дискретности, может допускаться большим, чем во внутреннем.

Метод определения параметров ПИ-регуляторов является приближенным, и эффективен для управления в системах, динамика которых складывается из быстрой и медленной составляющих движения. Примером таких систем, в частности, являются автоматизированные электроприводы промышленных установок, которые характеризуются малым временем электромагнитных переходных процессов и длительными процессами механического движения. Приводится пример расчета и моделирования, который иллюстрирует суть метода и его применение.

Ключевые слова: линейный синтез, дискретная система, область устойчивости, многоконтурная система, пропорционально-интегрирующий регулятор, модальное управление, характеристический полином.

Введение

Компенсация инерционности объекта регулятором [1] предполагает знание параметров объекта управления. Поскольку модель объекта, применяемая для синтеза, не вполне достоверна, а параметры объекта подвержены изменениям в широких пределах, область применения принципа компенсации инерционностей и подчиненного управления [1] ограничена. В последние десятилетия разрабатываются методы управления с регуляторами простой структуры, пропорционально интегро-дифференцирующим (ПИД) и, в частности, ПИ-регуляторами с учетом параметрических возмущений [2–8], в том числе [5] и для многоконтурных систем.

Сигналы управления формируются цифровыми устройствами управления (микроконтроллерами). Для внешних контуров регулиро-

вания интервал времени, необходимый для формирования сигнала управления, может потребоваться большим, чем во внутренних контурах, однако ограничен по условиям устойчивости. Для внутренних контуров по соображениям качества динамики системы предпочтительно высокое быстродействие и, следовательно, высокая частота дискретности формирования управления. Высокая по сравнению с временем отклика системы частота дискретности допускает применение непрерывных методов синтеза для цифровых систем, что, однако, не всегда выполнимо, например, для управления в контуре тока электропривода. Поэтому остается актуальным синтез управления дискретных многоконтурных систем [4, 8], в том числе систем управления электроприводами, где электромагнитные процессы по времени соизмеримы с интервалом дискретности

цифрового управления. Расчет параметров ПИ-регуляторов с учетом изменения параметров объекта возможен на основе модального управления (по заданным корням характеристического полинома, локализованным в заданной области).

Целью работы является синтез дискретных ПИ-регуляторов двухконтурной дискретной системы управления непрерывным объектом на основании локализации корней и разделения движений на быструю и медленную составляющие [9].

Синтез выполняется в следующих предположениях. Система имеет двухконтурную структуру цифрового управления непрерывным объектом. Внутренний контур должен иметь значительно меньшее время регулирования, чем внешний. Поэтому во внешнем контуре время расчета сигнала на выходе ПИ-регулятора может допускаться большим, чем во внутреннем, но быть кратно ему. Требуемое время регулирования системы значительно меньше, чем минимальное время реакции объекта на единичное ступенчатое воздействие во всем диапазоне изменения параметров объекта.

Область устойчивости и область качества

Область устойчивости дискретной системы [10] на плоскости комплексной переменной z имеет вид единичного круга с центром в начале координат. Система имеет два контура управления, внутренний содержит цифровой ПИ регулятор с периодом T_C дискретности, внешний – $T_{C1} = kT_C$, (k – целая положительная величина).

Область качества внутри области устойчивости на комплексной плоскости формируется в зависимости от требуемого времени $t_0 \in [t_0, t_0]$ регулирования и ограничения на колебательность системы. В дискретной системе этот интервал измеряется в безразмерных единицах, а именно, количеством интервалов дискретности. Если же система имеет несколько периодов дискретности, то для введения единой меры качества в многоконтурной системе целесообразно как область устойчивости, так и области качества контуров отобразить в левую полуплоскость комплексной плоскости в масштабе, соответствующем непрерывным процессам. Для этого выполняется замена переменной [10], отображающая единичный круг

с центром в начале координат на плоскости z в круг в левой полуплоскости переменной q радиусом $R_C = T_C^{-1}$, проходящий через начало координат, что показано на рис. 1 и описывается выражением

$$z = (T_C q + 1). \quad (1)$$

Переменная q близка к переменной s преобразования Лапласа в малой окрестности начала координат комплексной плоскости. Из (1) с учетом разложения экспоненты в ряд Тейлора $z = \exp(T_C s) = 1 + T_C s + (T_C s)^2 / 2! + \dots < 1 / (1 - T_C s)$ следует, что $T_C |q - s| \leq (T_C s)^2 / (2(1 - T_C s))$, и относительная разность $\delta = |q - s| / |s|$ оценивается выражением

$$\delta < \frac{T_C |s|}{2|1 - T_C s|} \quad (2)$$

Это означает, что в области $|s| < \varepsilon R_C$ относительная погрешность перехода от q к s не превосходит величины $\varepsilon / 2$. Для двух контуров управления с различными интервалами дискретности области устойчивости и качества показаны на рис. 1. Внутренний контур регулирования имеет область устойчивости радиусом $R_C = T_C^{-1}$. Для внешнего контура регули-

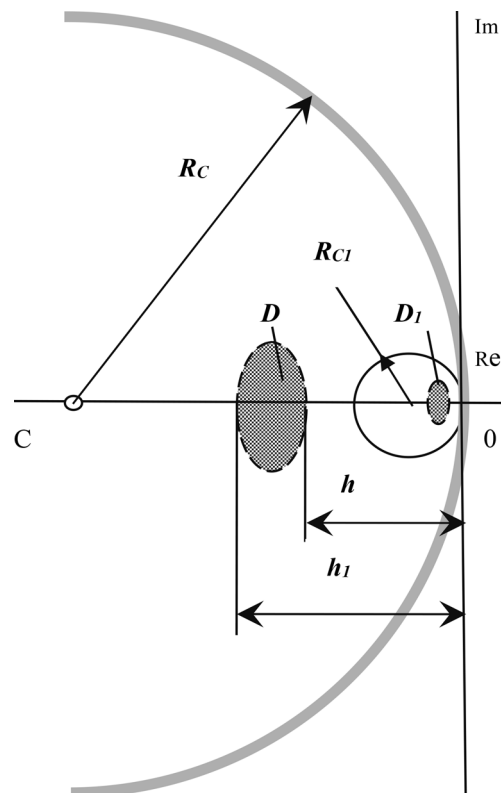


Рис. 1. Области качества D , D_1 и области устойчивости R_C , R_{C1} на комплексной плоскости переменной q для двух контуров

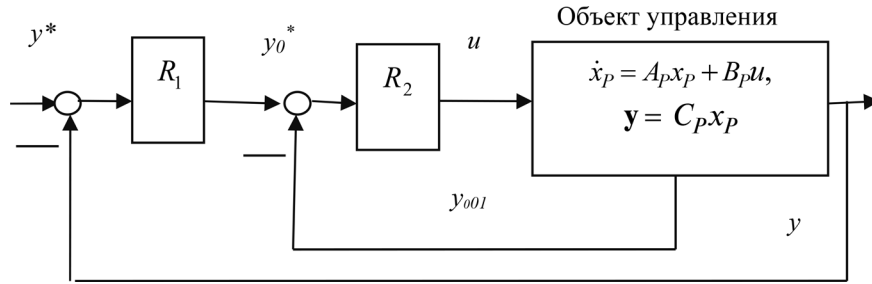


Рис. 2. Двухконтурная структура

рования область устойчивости имеет радиус $R_{C1} = T_{C1}^{-1} = \varepsilon R_C$. Степень взаимного влияния динамики двух контуров [11] тем меньше, чем меньше $\varepsilon \in [0; 0,5]$. Для двух комплексных сопряженных корней $q_{1,2} = -\alpha_0 \pm j\omega_0$ справедливы, учитывая приближенную зависимость $3/t_0 \approx \alpha_0$, ограничения $\text{Re}(q_i) = \alpha_0 \in [\underline{\alpha}_0, \bar{\alpha}_0]$, $\omega_0/\alpha_0 \leq k_0$ ($i=1,2$), которые определяют допустимую область качества в виде трапеции на комплексной плоскости переменной s , и криволинейной трапеции на плоскости q .

Расчетные выражения

Структура системы с цифровыми ПИ регуляторами R_1 и R_2 для управления непрерывным объектом показана на рис. 2. Система содержит ПИ-регуляторы вида $W_R = M_R/N_R = (c_1(z-1) + c_0 T_C)/(z-1)$ и непрерывный линейный объект, описываемый уравнениями

$$\dot{x}_p = A_p x_p + B_p u, \quad y = C_p x_p.$$

Редуцированная модель объекта внутреннего контура имеет передаточную функцию $W_p(s) = M_p(s)/N_p(s) = b_p/(s+a_p)$, или, в дискретном виде $W_p = M_p(z)/N_p(z)$. Здесь, если $a_p \neq 0$ то $N_p(z) = z-d$. Постоянная $d = \exp(-T_C a_p)$ представима в виде

$$d = \exp(-T_C a_p) = 1 - T_C a_p + (T_C a_p)^2 / 2! - \dots = 1 - T_C a_p (1 - T_C a_p / 2! + \dots) = 1 - T_C a_p (1 - \sigma_p T_C a_p).$$

Здесь величина $\sigma_p = 1 - T_C a_p / 2! + \dots \leq 1$ приближается к единице при $T_C a_p \rightarrow 0$. Поэтому $1-d = T_C a_p (1 - \sigma_p T_C a_p)$, $b'_p = b_p (1 - \sigma_p T_C a_p)$, $M_p(z) = M_p = b'_p$. Характеристический полином замкнутого внутреннего контура принимает вид $N(z) = (z-1)(z-d) + (T_C c_0 + c_1(z-1))b'_p$. Если $a_p = 0$, то $d=1$, $W_p(z) = T_C b_p/(z-1)$, $b'_p = b_p$. Замена $z = (T_C q + 1)$ дает в обоих случаях полином от переменной q , который имеет вид

$$N(q) = q^2 + q(a_p + c_1 b'_p) + c_0 b'_p. \quad (3)$$

Если $a_p = 0$, то

$$N(q) = q^2 + q c_1 b_p + c_0 b_p. \quad (4)$$

Запас устойчивости дискретной системы наибольший при равных действительных корнях $q_1 = q_2 = -\alpha_0 = -(a_p + c_1 b'_p)/2$, тогда параметры

$$c_1 = (2\alpha_0 - a_p)/b'_p; \quad c_0 = q_1 q_2 / (b_p) = \alpha_0^2 / b'_p. \quad (5)$$

Для внешнего контура управления значение $q_1 = q_2 = -\alpha_{01}$ рассчитывается по времени регулирования в соответствии с выражением $\alpha_{01} = 3/t_0$. Учитывая, что область качества должна располагаться в малой окрестности начала координат относительно радиуса области устойчивости, $\alpha_{01} \leq h_1 \leq \varepsilon R_{C1}$ можно рассчитать $R_{C1} \geq \varepsilon^{-1} h_1$, где $0 < \varepsilon \leq 0,5$. Отсюда рассчитываются интервалы дискретности внешнего контура $T_{C1} = R_{C1}^{-1}$ и внутреннего

$$T_{C1} = R_{C1}^{-1} \leq \varepsilon h_1^{-1}, \quad T_C = R_C^{-1} \leq \varepsilon R_{C1}^{-1} \quad (5)$$

Значения интервалов дискретности внешнего внутреннего контуров управления должны быть кратными, $T_{C1} = k T_C$ с коэффициентом $k \geq \varepsilon^{-1}$. Корни характеристического полинома внутреннего контура целесообразно принять равными действительными $q_{1,2} = -\alpha_0$, где величина α_0 должна удовлетворять условиям $R_{C1} < \alpha_0 \leq \varepsilon R_C$.

Пример расчета

Пример расчета ПИ регуляторов системы (см. рис. 2) выполнен для параметров модели объекта внешнего контура: $b_{p1} = 50$, $a_{p1} = 0$, внутреннего контура: $b_p = 100$, $a_p = 100$. Внешний контур должен иметь время регулирования $t_0 \leq 0,15 \text{ c}^{-1}$, и для этого корни полинома внешнего контура принимаются равными $q_{1,2} = -\alpha_{01} = -20 \text{ c}^{-1}$. Далее, учитывая интервалы дискретности $T_{C1} = 0,01 \text{ c}$ и $T_C = 0,001 \text{ c}$ получены значения параметров регуляторов внешнего кон-

тура $c_{11} = 2\alpha_0/b_{p0} = 0,8 \text{ c}^{-1}$; $c_{01} = \alpha_0^2/b_{p0} = 8,0 \text{ c}^{-1}$

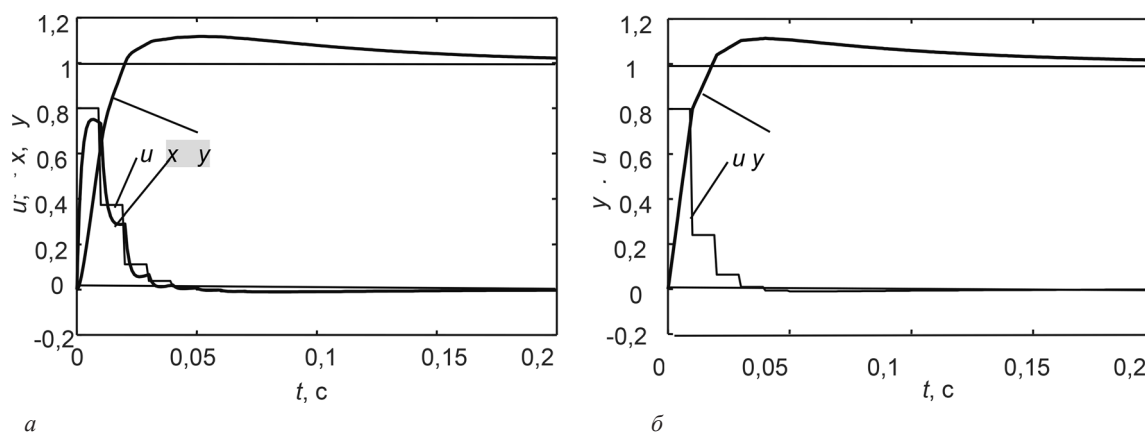


Рис. 3. Реакция на ступенчатое воздействие, а – двухконтурная система с ПИ регуляторами. б – контур, содержит дискретный ПИ регулятор и расчетный инерционный объект

и внутреннего контура $c_1 = (2\alpha_0 - a_p)/b'_p \approx 3c^{-1}$, $c_0 = \alpha_0^2/b'_p = 380 c^{-1}$.

Реакция системы на ступенчатое воздействие представлена на рис. 3. Здесь u – сигнал управления, y – выходная величина, x переменная системы, пропорциональная производной от выходной величины. На рис. 3, а показан процесс в двухконтурной системе с двумя синтезированными дискретными ПИ-регуляторами. Для идеализированного расчетного внешнего контура системы в предположении безынерционного контура тока расчетный процесс в системе показан на рис. 3, б.

Результаты моделирования процессов показывают, что выбранные соотношения интервалов дискретности и локализации корней внутреннего и внешнего контуров позволяют при синтезе внешнего контура внутренний контур

считать безынерционным звеном. Учитывая более высокое быстродействие внутреннего контура, при его синтезе можно пренебречь динамикой внешнего контура.

Заключение

Синтез управления, основанный на требованиях по быстродействию к системе в целом, позволяет формировать динамические свойства контуров управления и необходимые для расчета сигнала управления интервалы дискретности.

Модальное управление для синтеза дает преимущество в свободе локализации корней в зависимости от показателей качества. Использование в процессе синтеза редуцированных моделей допустимо, если малый параметр удовлетворяет условию $\varepsilon \leq 0,25$.

Литература

1. Kessler, C. Über die Vorausberechnung optimal abgestimmter Regelkreise. // C. Kessler / Regelungstechnik, 1954, № 12. – S. 274–281.
2. Astrom K. J. Advanced PID Control. / K. J. Astrom, T Hagglund. – North Carolina: ISA, 2006. – 461 p.
3. Söylemez, M. T., Fast calculation of stabilizing PID controllers, // M. T. Söylemez, N. Munro and H. Baki / *Automatica*, vol. 39, pp. 121–126, 2003.
4. Veselý, V., Robust PSD Controller Design, // V. Veselý, Rosinová, D., Editors: Fikar, M., Kvasnica, M., / In Proceedings of the 18th International Conference on Process Control, Tatranská Lomnica, Slovakia, 2011, p. 565–570.
5. Vu, T. N. L., Multi-loop PI Controller Design for Enhanced Disturbance Rejection in Multi-delay Processes // T. N. L. Vu, M. Lee, / *International Journal of Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 2, no. 1, pp. 89–94, 2008.
6. Sootla, A., Multivariable Optimization Based Model Reduction, / A. Sootla, A. Rantzer, G. Kotsalis // *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 54, no 10, 2009, p. 2477–2480.
7. Matušů, R. Calculation of all stabilizing PI and PID controllers // R. Matušů / *International Journal of mathematics and computers in simulation*, Issue 3, Volume 5, p. 224–231, 2011.
8. Кузнецов, А. П., Анализ настроек канала регулирования потокосцепления ротора в системе векторного управления / А. П. Кузнецов, А. В. Марков, А. С. Шмарловский // Доклады БГУИР, № 4 (34) 2008. – С. 84–91.
9. Chow, J. N., A Decomposition of Near-Optimum Regulators for Systems with Slow and Fast Modes. // J. N. Chow, Kokotovic, P. V. *IEEE Trans. on Autom. Contr.* 1976. Vol. AC-21, No 5. P. 701–705.
10. Jury, E. I. *Inners and Stability of Dynamic Systems*. // E. I. Jury, / A Wiley-Interscience Publications, John Wiley & Sons. New York-London-Sydney-Toronto, 1974.

11. Опейко, О. Ф. Подчиненное управление объектом с параметрической неопределенностью // О. Ф. Опейко / Системный анализ и прикладная информатика, № 3, 2015. – С. 21–24.

References

1. Kessler, C. Über die Vorausberechnung optimal abgestimmter Regelkreise. // – C. Kessler / Regelungstechnik, 1954, № 12. – s. 274–281.
2. Astrom K. J. Advanced PID Control. / K. J. Astrom, T Hagglund. – North Carolina: ISA, 2006. – 461p.
3. Söylemez, M. T., Fast calculation of stabilizing PID controllers, // M. T. Söylemez, N. Munro and H. Baki / *Automatica*, vol. 39, pp. 121–126, 2003.
4. Veselý, V., Robust PSD Controller Design, // V. Veselý, Rosinová, D., Editors: Fikar, M., Kvasnica, M. / Proceedings of the 18th International Conference on Process Control, Tatranská Lomnica, Slovakia, 2011, p. 565–570.
5. Vu, T. N. L., Multi-loop PI Controller Design for Enhanced Disturbance Rejection in Multi-delay Processes // T. N. L. Vu, M. Lee / *International Journal of Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 2, no. 1, pp. 89–94, 2008.
6. Sootla, A., Multivariable Optimization Based Model Reduction / A. Sootla, A. Rantzer, G. Kotsalis // *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol.54, no 10, 2009, p. 2477–2480.
7. Matušů, R. Calculation of all stabilizing PI and PID controllers // R. Matušů / *International Journal of mathematics and computers in simulation*, Issue 3, Volume 5, p. 224–231, 2011.
8. Kusnetsov A. P., Markov A. S., Shmarlouski A. C. Analysis of the Rotor Flux Linkage Aktuating Path Setting in a Vector Control System // *Proc. BSUIR*, № 4 (34) 2008. – с. 84–91. (russian).
9. Chow, J. N., A Decomposition of Near-Optimum Regulators for Systems with Slow and Fast Modes. // J. N. Chow, Kokotovic, P. V. *IEEE Trans. on Autom. Contr.* 1976. Vol. AC-21, No 5. P. 701–705.
10. Jury, E. I. *Inners and Stability of Dynamic Systems*. // E. I. Jury / A Wiley-Interscience Publications, John Wiley & Sons. New York–London–Sydney–Toronto, 1974.
11. Опейко О. Ф. Подчиненное управление объектом с параметрической неопределенностью. // Системный анализ и прикладная информатика, № 3, 2015. – С. 21–24. Опейко О. Ф. Cascade Control for Plant with Parameters Uncertainty // *System Analysis and Applied Information Science* № 3, 2015. – С. 21–24. (russian).

Поступила
11.11.2017

После доработки
06.02.2018

Принята к печати
15.03.2018

Opeiko O. F.

CONTROL SYNTHESIS FOR TWO LOOPS DISCREET SYSTEM

Belorussian National Technical University

The aim of this paper is the linear synthesis of two loops SISO systems with discrete time proportional integral (PI) controllers. This linear synthesis is dedicated for the systems with plant parameters uncertainty. The synthesis is based on the time scale method, providing the separate slow and fast components of the control law. The PI- controller parameters calculation is based on the modal control and plant model reduction. The conditions carried out for the each control loop dynamics still similar to the second order one. The discrete time microcontroller based numerical control restricts the stability domain of the system and each control loop in it. The stability domain of each loop is the round on the complex plane with radius, depending on the time period. Each inner loop must be more fast, then each outer one. Hence, in the outer loop the time period, required for the PI controller reaction computation, can be more then in the inner loop. This PI- controller parameter calculation method is approximate, and it is efficient for the systems, whose dynamics contains the slow and fast components. In particular, the electrical drives control systems contain the fast electromagnetic component and the slow mechanical part. The effectiveness of this method is illustrated by the example and simulation.

Keywords: linear synthesis, discrete time system, stability domain, multy loops system, proportional- integral controller, modal control, characteristic polynomial.



Опейко Ольга Федоровна Сморговский тракт 10 кв. 180, Минск, 220068, Беларусь.

Д. т. (17) 2 33 62 52; welcome 39 977 41 89. E-mail: oopeiko@bntu.by.

БНТУ, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов», доцент, к. т. н.

Opeiko O. F. Received the E. E. degree from the Belorussian National Technical University (BNTU),

Minsk, R Belarussia, in 1970 and the Ph. D. degree from the BNTU, Minsk, in 1975. Her research interests include control, modeling, analysis and simulation of electrical drive, and robotics.

УДК 004.056.53

И. В. ПИСЛАР, В. В. БРАЙЛОВСКИЙ, М. Г. РОЖДЕСТВЕНСКАЯ, М. М. ИВАНЧУК

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОВЫХ ЛУЧЕЙ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА В СИСТЕМАХ СКРЫТОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича

В работе рассмотрены основные аспекты использования световых импульсов видимого диапазона для скрытой передачи информации. Исследовано восприятие человеческим зрением световых импульсов видимого диапазона различной мощности и частоты следования. Установлено, что источник импульсного света становится невидимым при определенном соотношении мощности излучаемого светового потока и уровня освещенности окружающих его предметов (фоновое освещение (ФО)). Например, при фоновом освещении $E = 400$ лк световые импульсы, следующие с частотой 50 Гц, невидимы при их мощности меньше 0,12 Вт. Приведена экспериментальная частотная зависимость мощности световых импульсов, не видимых для человеческого зрения при заданном уровне ФО.

С целью устранения влияния отвлекающих или маскирующих факторов (например, пульсаций ФО) в качестве оптимального источника засветки выбраны светодиодные матрицы при их питании от стабилизированного регулируемого источника постоянного тока. На основе экспериментальных данных о токовой и температурной зависимостях мощности светового потока и спектров излучения светодиодных матриц предложена методика задания уровня фонового излучения путем изменения величины тока светодиода. Получено аппроксимирующее уравнение зависимости величины светового потока от тока светодиода при условии термостатирования светодиода. Эффект саморегулирования температуры нагревателя с положительным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) позволил вполне удовлетворительно решить вопрос стабилизации температуры светодиодного источника ФО. В случае нагревателя термостата, изготовленного из материала с положительным $TCS = 48\%K^{-1}$, изменение температуры светодиодной матрицы было практически в 7 раз меньше, чем без термостата.

Для проведения исследований в широком частотном интервале следования световых импульсов разработан и изготовлен генератор импульсов на микроконтроллере PIC18F2550 который обеспечивает возможность формирования импульсов частотой от 10^{-3} до 10^3 Гц длительностью от 10^{-7} до 1с.

Ключевые слова: световой импульс, скрытая передача информации, фоновое освещение, светодиодная матрица.

Введение

Повсеместное применение технологий Wi-Fi связи, наряду со значительными удобствами и возможностями, предоставляемыми пользователями, имеет и свои негативные аспекты. Так, растущая мощность электромагнитного излучения беспроводных Wi-Fi-систем может нарушать функционирование высокочувствительной радиоэлектронной аппаратуры, влиять на работу бортовой электронной аппаратуры самолетов, электронного оборудования операционных, манипуляционных кабинетов. С каждым годом увеличивается число людей, выражающих беспокойство по поводу вреда, наносимого Wi-Fi излучением человеческому орга-

низму. Например, опубликованные в 2016 г. в журнале Journal of Chemical Neuroanatomy результаты исследований приводят к выводу о том, что длительное электромагнитное воздействие, в том числе и излучение Wi-Fi-роутеров, вызывает повышенный уровень реактивных кислородных субстанций и снижение антиоксидантной защиты организма [1]. Это, в свою очередь, приводит к окислительным повреждениям мозга и печени.

В качестве альтернативы, исключающей подобное воздействие, предлагается применение светодиодных (Li-Fi) систем [2–4], в которых передача информации осуществляется с помощью видимого света. Такие системы обладают рядом преимуществ:

– сравнительная простота настройки (при юстировке можно визульно проводить контроль);

– пригодность для использования не только в воздухе, но и под водой. При передаче информации в водной среде с помощью, например, акустических волн существует большая вероятность несанкционированного съема информации с помощью гидроакустических приборов, в то время как использование световых лучей, распространяющихся в малом пространственном углу, существенно уменьшает возможность доступа к информации;

– большая защищенность, чем передача информации с помощью радиоволн (основная часть световой энергии распространяется прямолинейно и к тому же в определенной части пространства, лишь незначительная часть световой энергии может рассеиваться оптически-неоднородностями среды распространения).

Скорость передачи данных с помощью Li-Fi систем при использовании белого света может достигать 1 Гбит/с [5, 6], а применение RGB-светодиодов позволяет повысить этот параметр до 3,4 Гбит/с [7]. Высокие скорости передачи данных открывают реальную возможность передачи информации не только в открытом, но и в зашифрованном тем или иным способом виде. В случае применения современных методов шифрования с использованием хаотических систем возникает необходимость решения дополнительных проблем: обеспечение синхронизации работы приемно-передающего тракта и возможность передачи ключей шифрования либо начальных условий (для генераторов хаоса) [8–10]. Данные такого рода имеют малый объем и их передача не требует высокоскоростных каналов. Однако одним из важнейших условий их надежного функционирования является скрытность процесса передачи ключей или начальных условий. Путем задания определенных параметров информационно-световых импульсов (частота следования, длительность, мощность), а также с помощью формирования фонового освещения (ФО) предлагается маскировать сам факт использования модулированного светового потока [11, 12].

Целью данной работы было установить параметры световых импульсов и сформулировать условия, при которых передачи информа-

ции сетовыми импульсами видимого диапазона не воспринимаются человеческим зрением.

Выбор источника фонового освещения

Результаты проводимых измерений в значительной степени носят субъективный характер. Поэтому применялись все возможные меры к уменьшению факторов, которые могли бы прямо или косвенно (на подсознательном уровне) влиять на результат измерений. Одним из таких факторов следует считать пульсации фонового освещения.

Плоская поверхность (несущая плоскость), на которой непосредственно находился объект распознавания, а именно светодиодная матрица, должна характеризоваться определенным уровнем освещения (фоном) и не создавать отвлекающих или маскирующих факторов таких, как например, блестящие точки, пульсации освещения и т. п. Возможность возникновения отвлекающих, маскирующих факторов минимизировалась использованием белой матовой поверхности несущей плоскости с коэффициентом отражения (отношением отраженного от поверхности к падающему на нее световому потоку) $p = 0,6$. Пульсации излучения источника света, и, соответственно, пульсации ФО, вследствие их отрицательного воздействия на биоэнергетическую активность мозга человека, могут влиять на субъективное восприятие световых импульсов, излучаемых светодиодной матрицей. Поэтому необходимо было подобрать источник ФО с как можно меньшим (лучше нулевым) уровнем пульсаций излучения. Для этого были исследованы пульсации излучения следующих источников света: а) светодиодная лампа FLE-001 T8; б) люминесцентные лампы, питание которых осуществлялось в одном случае от однофазной, а в другом – от трехфазной электрической сети; в) светодиодная матрица, питание которой осуществлялось от регулируемого стабилизированного источника постоянного тока. Стабильность ФО оценивали величиной коэффициента пульсаций с помощью специализированного измерительного прибора Экотензор-03. Прибор обеспечивает возможность измерения не только освещения, но и коэффициента пульсаций светового излучения в диапазоне от 1 до 100%.

Результаты измерений представлены в таблице. Видно, что практически нулевой уровень пульсаций излучения, а следовательно, и ФО удалось обеспечить только использованием светодиодных матриц при их питании от стабилизированного регулируемого источника постоянного тока.

Коэффициенты пульсаций источников света

Тип источника света	Модель светоизлучателя и его мощность	Питание	Коэффициент пульсаций
Светодиодный светильник	FLE-001 T8, 16 W	Однофазная сеть, 220 В	12%
Люминесцентная лампа	Philips TL-D, 36 W	Однофазная сеть, 220 В	11%
Составной светильник из 3-х люминесцентных ламп	Philips TL-D, 36 W	Трехфазная сеть	2%
Светодиодная матрица	Epistar 5730, 10 W	Стабилизированный регулируемый источник постоянного тока	~ 0

Методика формирования фонового освещения и управления его уровнем

Проведение исследований по различимости световых импульсов требовало изменения уровня ФО. Традиционно величина ФО, при заданной величине светового потока источника света, задается расстоянием между источником света и освещаемым объектом. Появление мощных светодиодных матриц открывает реальную возможность управления уровнем ФО несущей плоскости путем изменения величины тока светодиодных матриц. Естественно, что при этом возникает вопрос зависимости спектра излучения светодиодных матриц от величины протекающего через них тока. Для ответа на этот вопрос были проведены следующие экспериментальные исследования:

- зависимость спектра излучения светодиодной матрицы от ее температуры при фиксированной электрической мощности, рассеиваемой на матрице;
- зависимость излучения светодиодной матрицы от протекающего тока (токовая зависимость).

Как в первом, так и во втором случаях исследовалось излучение (спектральное распределение и величина светового потока) светодиодной матрицы серии Epistar 5730 с допу-

стимой паспортной электрической мощностью 10 Вт. Измерение рассеиваемой на матрице электрической мощности осуществлялось с помощью классического метода амперметра-вольтметра с погрешностью не более 1,5%. Питание светодиодной матрицы обеспечивалось блоком питания Б5–7 с возможностью регулировки выходного напряжения. Спектр излучения светодиодной матрицы исследовался с помощью спектрофотометра СФ-4. Выходной сигнал спектрофотометра подавался на фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), который превращал слабый выходной световой поток спектрофотометра в электрический сигнал. Выходной сигнал ФЭУ измерялся с помощью вольтметра М95. С целью уменьшения влияния средств измерения температура светодиодной матрицы измерялась с помощью дифференциальной медь-константановой термопары. Один спай термопары находился в сосуде Дьюара, содержащем дистиллированную воду со льдом. Термо-ЭДС термопары измерялась вольтметром В7–21А и с помощью градуировочной таблицы [13] находилась температура светодиодной матрицы. К сожалению, использование более современных приборов измерения температуры с помощью термопары, например REX C-100, не обеспечивало необходимой точности измерений при относительно низких (20–60 °С) температурах.

Для количественной оценки влияния температуры светодиодной матрицы на спектр излучаемого ею светового потока проведены соответствующие экспериментальные исследования при фиксированном уровне величины рассеиваемой на матрице электрической энергии. Величина рассеиваемой на светодиодной матрице электрической энергии выбиралась такой, чтобы изменение температуры матрицы в пределах погрешности измерения не превышало температуру окружающей среды. Экспериментально определенная по указанному критерию рассеиваемая электрическая мощность составляла 0,5 Вт, что практически в двадцать раз меньше допустимой для данной светодиодной матрицы паспортной мощности. Световой поток, излучаемый матрицей, измерялся с помощью люксметра ТЕС-0693. Измерение светового потока осуществлялось в затемненной комнате при расстоянии между люксметром и светодиодной матрицей 1 м.

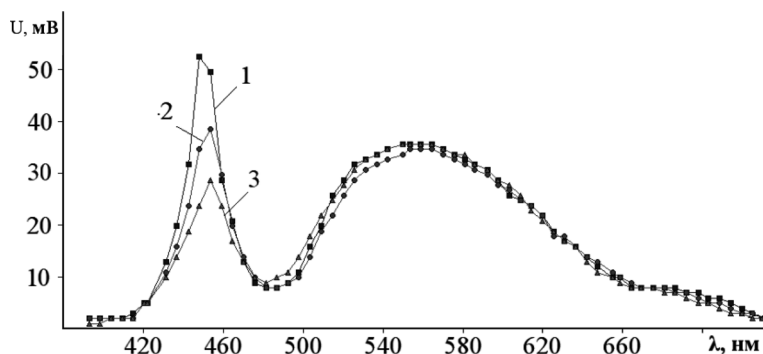


Рис. 1. Спектр излучения светодиодной матрицы при различных температурах и фиксированной ($P = 0,52$ Вт) рассеиваемой на ней электрической мощности: 1 – 20°C ; 2 – 55°C ; 3 – 91°C

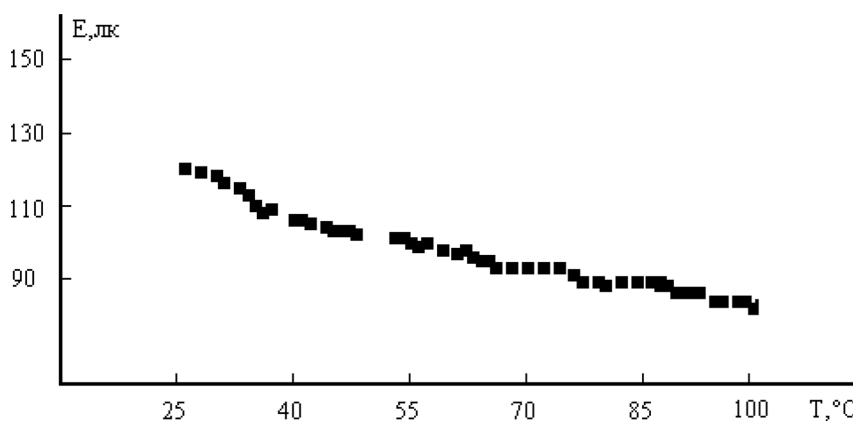


Рис. 2. Температурная зависимость величины светового потока светодиодной матрицы при неизменной рассеиваемой на ней электрической мощности $0,56$ Вт

В результате экспериментальных исследований спектра излучения светодиодной матрицы установлено, что существенных изменений спектра ее излучения при увеличении температуры не наблюдается (рис. 1).

При температуре светодиодной матрицы 20°C и рассеиваемой на ней электрической мощности $P = 0,5$ Вт спектральная характеристика излучения отражается кривой 1 рис. 1. Кривая 2 получена при температуре светодиодной матрицы 55°C и той же величине рассеиваемой электрической мощности. Увеличение температуры светодиодной матрицы до предельно допустимой температуры 91°C мало меняет спектральное распределение ее излучения (кривая 3 рис. 1). Наблюдается некоторое смещение максимума излучения ($0,09\text{ нм}/^\circ\text{C}$) в область больших длин волн (область меньших энергий) и изменение ширины спектра ($0,01\text{ нм}/^\circ\text{C}$), определенное на уровне $0,5$ от максимального значения. Обобщая, можно сказать, что с ростом температуры спектр излучения светодиодной матрицы становится более равномерным. Таким образом, изменяя темпе-

ратуру матрицы, можно приближать спектр ее излучения к более равномерному и близкому к спектру излучения Солнца. Полученные зависимости коррелируют с данными авторов [14].

Увеличение температуры светодиодной матрицы, при неизменной величине рассеиваемой на ней электрической энергии ($0,5$ Вт), приводит к уменьшению величины излучаемого матрицей светового потока (рис. 2). Полученная зависимость объясняется явлением температурного гашения. В основе данного явления лежит эффект уменьшения внутреннего квантового выхода, обусловленного ростом амплитуды колебаний атомов кристаллической решетки [15].

При температуре светодиодной матрицы 26°C (рис. 2) величина светового потока матрицы составляла 120 лк. С повышением температуры до 103°C величина светового потока уменьшилась до 82 лк. Таким образом, в результате роста температуры матрицы излучаемый ею световой поток уменьшился на 31% . Количественно величину температурного га-

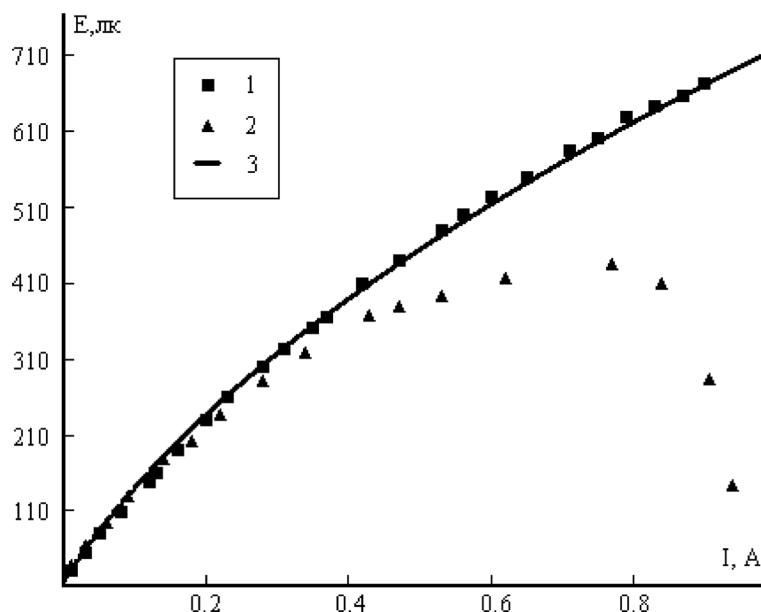


Рис. 3. Зависимость светового потока светодиодной матрицы от величины протекающего тока: кривая 1 – при наличии радиатора с водяным охлаждением; кривая 2 – без радиатора; кривая 3 – аппроксимирующая

шения оценим величиной коэффициента температурного гашения:

$$\text{КТГ} = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{82 - 120}{103 - 26} = -\frac{38}{77} = -0,49 \frac{\text{лк}}{^\circ\text{C}}, \quad (1)$$

При исследовании зависимости светового потока светодиодной матрицы от величины протекающего тока (токовая зависимость; кривая 1 рис. 3) матрицу крепили к водяному радиатору. Для снижения теплового сопротивления контакта светодиодной матрицы с радиатором на плоскость их соприкосновения наносилась теплопроводная бериллиевая паста. Это обеспечивало высокую стабильность величины температуры светодиодной матрицы. При максимальном токе, протекающем через матрицу (1 А), её температура увеличилась с 21 до 23 °С. Монотонность зависимости светового потока от величины протекающего тока $E = \varphi(I)$ дает возможность представить её аппроксимирующим уравнением

$$E = 97,5\sqrt{(100I) + 10} - 300, \quad (2)$$

где E – световой поток в люксах, I – ток в амперах.

Используя данное уравнение можно определить величину тока, при котором светодиодная матрица будет излучать заданную величину светового потока.

Токовая зависимость светового потока светодиодной матрицы, находящейся в свободном пространстве, существенно отличалась (кри-

вая 2 рис. 3) от такой же зависимости для охлаждаемой матрицы (предыдущий случай). При токе 1 А температура матрицы достигала 170 °С. При этом величина излучаемой матрицей светового потока уменьшилась на 500 лк по сравнению со световым потоком этой же матрицы с водяным радиатором и протекающим током 1 А.

Таким образом, для снижения влияния температурного фактора на зависимость $E = \varphi(I)$ необходимо обеспечить стабильность температуры матрицы. С практической точки зрения более удобным и простым оказался термостат, у которого нагреватель имеет положительный температурный коэффициент сопротивления (позистор) [16]. Если температура нагревателя выше температуры окружающей среды, то при положительном температурном коэффициенте сопротивления нагревателя обеспечивается саморегуляция (термостатирование) его температуры.

Примем, что позисторный нагреватель питается от стабилизированного источника напряжением $U = \text{const}$. Если электрическую мощность, рассеиваемую на позисторном нагревателе, рассчитывать по формуле $P = U^2/R$, то при стабильной величине напряжения последняя будет обратно пропорциональна сопротивлению нагревателя.

Поскольку температурный коэффициент сопротивления позисторного нагревателя по-

ложительный, то при росте температуры его сопротивление возрастает поэтому знак прироста рассеиваемой на нагревателе мощности ΔP отрицательный. Следовательно, изменение температуры нагревателя будет меньше изменения температуры окружающей среды на величину $\Delta P/h$, где h – коэффициент теплоотдачи. Причем величина этого изменения, по сравнению с изменением температуры окружающей среды, будет тем меньше, чем больше величина положительного температурного коэффициента сопротивления позисторного нагревателя.

Экспериментально определенная величина температурного коэффициента сопротивления (ТКС) позисторного нагревателя составляла 48%. При данной величине ТКС увеличение температуры окружающей среды на $\Delta T_{\text{OC}} = 60$ °С сопровождалось изменением температуры позисторного нагревателя всего на $\Delta T_{\text{H}} = 8$ °С. В данном случае величина коэффициента температурной стабилизации температуры позисторного нагревателя равна

$$K_{\text{H}} = \frac{\Delta T_{\text{OC}}}{\Delta T_{\text{H}}} = 7,5 \quad (3)$$

Таким образом, при превышении позисторным нагревателем температуры окружающей среды изменение его температуры за счет явления саморегуляции оказывается более чем в семь раз меньше изменения температуры окружающей среды.

При изменении температуры позисторного нагревателя $\Delta T_{\text{H}} = 8$ °С величина температурного смещения максимума спектра излучения и температурное изменение ширины спектра светодиодной матрицы составляют, соответственно, 0,72 нм и 0,08 нм.

Экспериментальное определение параметров импульсов света по критерию их различимости

Эксперимент заключался в том, что при фиксированном уровне фонового освещения несущей плоскости и параметрах световых импульсов наблюдателю необходимо идентифицировать импульсный характер светового потока, излучаемого светодиодной матрицей. С целью снижения субъективной составляющей, а следовательно для повышения достоверности полученных данных последних нахо-

дились как усреднённое величин не меньше чем троих экспериментов с различными испытуемыми.

Исследование проводилось при постоянной длительности импульсов 5 мкс. При указанной длительности импульсов еще сохраняется крутой фронт и срез импульсов светового потока. Особое внимание обращалось на низкие частоты следования, которые потенциально увеличивают степень скрытности импульсного характера излучаемого света [12]. Расстояние от наблюдателя до источника световых импульсов оставалось постоянным и составляло 1 м. Проведение исследований в указанной частотной области требовало изготовления специального генератора, который был реализован на контроллере PIC18F2550 [12]. Генератор обеспечивал возможность получения прямоугольных импульсов длительностью τ от 10^{-6} до 1 с при возможности регулирования частоты следования f от 10^{-3} до 10^3 Гц. Исследование проводилось при фоновом освещении 400 лк. Указанный уровень фонового освещения выбран в соответствии с санитарными нормами освещения рабочего места для чтения текстов и выполнения работ средней точности [17].

В результате проведенных исследований определено диапазон частот и величины мощности световых импульсов, при которых излучение света не фиксируется (рис. 4).

Предварительно проведенные исследования [12] показали, что чем короче световой импульс, тем шире становится частотный интервал следования световых импульсов, в котором человеческое зрение не фиксирует светового излучения как такового.

Результаты эксперимента (рис. 4) опишем, введя понятие предельной мощности. Предельная мощность – это такая электрическая мощность, подводимая к светодиоду, превышение которой приводит к изменению восприятия зрением человека характера светового потока. Ниже линии 1, 2, 3 (рис. 4) световое излучение не воспринимается зрением человека. Выше указанной линии необходимо различать две области. Левее максимума (левее точки 2) зрение человека воспринимает световые импульсы именно как импульсы (область мельканий). Правее максимума последовательность световых импульсов воспринимается как не-

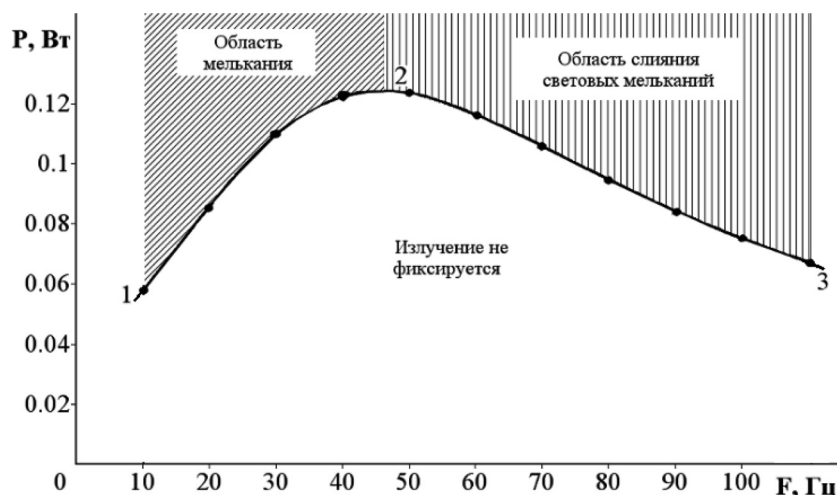


Рис. 4. Зависимость предельной мощности световых импульсов от частоты их следования при $\tau_{\text{имп.}} = 5$ мкс и фоновом освещении $E = 400$ лк

прерывный световой поток. Необходимо отметить, что использование современных средств фото- или видеофиксации не изменяет наблюдаемых закономерностей в восприятии световых импульсов.

Изменение восприятия световых импульсов объясняется физиологическими особенностями человеческого зрения. Частота следования световых импульсов, выше которой последовательность импульсов воспринимается человеческим зрением как непрерывный световой поток, принято называть критической частотой слияния мельканий. Величину критической частоты слияния мельканий $F_{\text{кчм}}$, можно рассчитать согласно закона Ферри-Портера [18]:

$$F_{\text{кчм}} = a \lg L_{\text{эф}} + b, \quad (4)$$

где $L_{\text{эф}}$ — эффективная яркость, $a = 12,5$ при колбочковом (дневном) зрении или $a = 1,5$ при палочном (ночном) зрении, $b = 37$.

При воздействии на зрение человека световых импульсов с частотой, превышающей критическую частоту $F > F_{\text{кчм}}$, импульсы сливаются в ровный немигающий свет постоянной яркости которая согласно закона Тальбота [18] равна средней яркости импульсов за период:

$$L_{\text{эф}} = L t_1 / (t_1 + t_2), \quad (5)$$

где t_1 — длительность световых импульсов, t_2 — временной интервал между двумя смежными импульсами, L — яркость светового импульса.

Понижение предельной величины мощности световых импульсов постоянной длительности с ростом частоты их следования в значи-

тельной степени можно объяснить ростом величин средней энергии воздействующей на зрение человека. Адаптационные свойства зрения человека к различным величинам средней энергии световых импульсов обуславливают снижение темпа уменьшения предельной мощности с ростом частоты. Например, при частоте 50 Гц величина предельной мощности (рис. 4) составляет $F_{50} = 0,124$ Вт. При удвоении частоты следования световых импульсов (частота 100 Гц) ожидаемая величина предельной мощности $F_{100} = 0,062$. В то же время экспериментально определенная величина предельной мощности несколько выше и составляет 0,073.

К сожалению, на данном этапе исследований сложно предложить адекватный механизм роста величины предельной мощности при частотах ниже 50 Гц. Наиболее вероятно, что наблюдаемая зависимость обусловлена физиологическими особенностями реакции зрения человека на совокупное воздействия низкоэнергетических световых импульсов и постоянного светового потока, формируемого фоновым освещением.

Выводы

Полученные экспериментальные результаты свидетельствуют, что область частот 30–60 Гц является наиболее благоприятной для обеспечения скрытности передачи информации световыми импульсами видимого диапазона. Так, например, при фоновом освещении $E = 400$ лк, длительности импульса $\tau_{\text{имп.}} = 5$ мкс, частоте

их следования $F = 45$ Гц и электрической мощности в импульсе $P = 0,12$ Вт возможно обеспечить скрытую передачу информации с помощью световых импульсов. Стоит заметить, что на рис. 4 отражается предельная кривая чувствительности зрения человека (1–3), то есть случай, когда наблюдателю уже удастся идентифицировать излучение световых импульсов, будь то мерцание или слабый свет. Установлено, что с увеличением мощности световых импульсов скрытность излучения импульсов света от человеческого зрения обеспечивается более высоким уровнем фонового освещения.

Естественно, что относительно низкая частота следования импульсов, при которой человеческое зрение их не воспринимает как таковые, ограничивает возможность передачи значительных информационных потоков. Поэтому данный метод передачи информации может использоваться для скрытой передачи ограниченных по объему информационных потоков, например ключа или начальных усло-

вий, необходимых для расшифровывания информации, переданной с помощью высокоскоростной Li-Fi системы.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что излучаемый светодиодной матрицей спектр практически не зависит от рассеиваемой ею электрической мощности при условии поддержания стабильной температуры, которая не превышает граничного значения, связанного с активацией процессов температурного гашения.

Установлено, что с ростом температуры светодиодной матрицы спектр её излучения становится более равномерным.

Приведенные в работе результаты могут быть использованы для моделирования и разработки скрытых Li-Fi систем, а также систем охраны периметра.

Авторы статьи выражают глубокую благодарность коллективу фирмы «Тензор» за предоставленную возможность провести светотехнические измерения разработанными на фирме приборами Экотензор-03 и ТЕС-0693.

Литература

1. **Martin L. P.** Microwave frequency electromagnetic fields (EMFs) produce widespread neuropsychiatric effects including depression / L. Pall Martin. // *Journal of Chemical Neuroanatomy*. – 2016. – № 75. – P. 43–51.
2. **Вакарев М.** Новая технология беспроводного Интернета Li-Fi / М. Вакарев, О. С. Безнос // *Современные наукоемкие технологии*. – 2014. – № 3. – с. 169.
3. **Подлесный А. О.** Li-fi – новая технология беспроводной передачи данных при помощи света / А. О. Подлесный, О. С. Полякова // *Управление инновациями: теория, методология, практика*. – 2013. – № 6. – с. 125–130.
4. **Mushreq A.** An Extensive Comparison of the Next Generation of Wireless Communication Technology: Light-Fidelity (Li-Fi) Versus Wireless-Fidelity (Wi-Fi) / Mushreq Abdullhussain Shuriji. // *GSTF Journal on Media & Communications (JMC)* – December 2014. – Vol. 2 (1). – pp. 14–17.
5. **Shubham C.** Scope and Challenges in Light Fidelity(LiFi) Technology in Wireless Data Communication / Shubham Chatterjee, Shalabh Agarwal, Asoke Nath. // *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)*. – June 2015. – Issue 6, Volume 2. – pp. 1–9.
6. **Suganya U.** Li-fi (light fidelity) technology / U. Suganya, C. Subhalakshmi priya, // *international journal of research in computer applications and robotics*. – january 2015. – Vol. 3, № 1. – pp. 26–32.
7. **Cossu G.** 3.4 Gbit/s visible optical wireless transmission based on RGB LED. / G. Cossu, A. M. Khalid, P. Choudhury, R. Corsini, and E. Ciaramella. // *OPTICS EXPRESS*. – 10 December 2012. – Vol. 20 (26). – pp. 501–506.
8. **Stavroulakis P.** Chaos applications in telecommunications / P. Stavroulakis // *CRC Press Professional*. – 2005. – 440 p.
9. **Галюк С. Д.** Тривалість перехідних процесів при встановленні синхронізації хаотичних систем в телекомунікаціях / С. Д. Галюк, Л. Ф. Політанський // *Проблеми телекомунікацій*. – 2014. – № 3(15). – с. 76–85.
10. **Гресь О. В.** Апаратна реалізація генератора хаотичних сигналів на основі дискретних відображень / О. В. Гресь, Г. М. Розорінов, М. М. Іванчук, Р. Л. Політанський, А. Д. Верига // *Науково-технічний журнал «Зв'язок»*. – 2015. – № 3. – с. 31–35.
11. **Брайловський В. В.** Завадостійка інформаційна система на світлових променях / В. В. Брайловський, І. В. Пислар, М. Г. Рождественська // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – 2013. – Вип. 3 (44). – с. 157–160.
12. **Брайловский В. В.** Физиологические аспекты проектирования систем скрытой передачи информации на оптическом излучении видимого диапазона / В. В. Брайловский, М. Г. Рождественская, І. В. Пислар, О. В. Пошак // *Технологии и конструирование в электронной аппаратуре*. – Одесса, январь-февраль 2015. – Выпуск № 1. – с. 13–16.
13. **Кикоин И. К.** Таблицы физических величин / И. К. Кикоин – М.: Атомиздат, 1976. – с. 99.
14. **Гончарова Ю. С.** Спектральный метод бесконтактного измерения температуры кристаллов полупроводниковых источников света. / Ю. С. Гончарова, М. А. Романова, С. В. Смирнов // *Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники*. – 2015. – № 2 (36). – с. 38–40.

15. **Смирнов С. В.** Температурная зависимость спектров излучения светодиодов белого свечения на основе нитрида галлия и его твердых растворов / С. В. Смирнов, Е. В. Саврук, Ю. С. Гончарова. // Научный журнал «Доклады ТУСУРа» – 2011. – № 2 (24), – с. 55–58.
16. **Шипунов М. В.** Аналіз способу запуску автомобільних дизельних двигунів внутрішнього згорання в умовах низьких температур / М. В. Шипунов // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – 2013. – № 1 (36), т. 2, – с. 156–164.
17. **Дорошенко Г. Д.** Системи телебачення та технічного зору / Г. Д. Дорошенко, В. П. Кожем'яко, С. В. Павлов – 2014. – Вінниця, ВНТУ. – 209 с.
18. **Федюкина Г. В.** Справочная книга по светотехнике / Г. В. Федюкина, Г. Н. Рохлин – 2006. – М.: Знак. – 972 с.

References

1. **Martin L. P.** Microwave frequency electromagnetic fields (EMFs) produce widespread neuropsychiatric effects including depression / L. Pall Martin. // Journal of Chemical Neuroanatomy. – 2016. – № 75, – p. 43–51.
2. **Vakarev M.** New technology of wireless Internet Li-Fi / M. Vakarev, O. S. Beznosov // Modern science-intensive technologies. – 2014 – No. 3, – p. 169.
3. **Podlesny A. O.** Li-fi a new technology for wireless data transmission with light rays / A. O. Podlesny, O. S. Polyakova // Management of Innovations: Theory, Methodology, Practice. – 2013. – № 6, – p. 125–130.
4. **Mushreq A.** An Extensive Comparison of the Next Generation of Wireless Communication Technology: Light-Fidelity (Li-Fi) Versus Wireless-Fidelity (Wi-Fi) / Mushreq Abdhussain Shuriji. // GSTF Journal on Media & Communications (JMC) – December 2014. – Vol. 2, № 1, – pp. 14–17.
5. **Shubham C.** Scope and Challenges in Light Fidelity(LiFi) Technology in Wireless Data Communication / Shubham Chatterjee, Shalabh Agarwal, Asoke Nath. // International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE) ISSN: 2349–2163. – June 2015. – Issue 6, Vol. 2. – pp. 1–9.
6. **Suganya U.** Li-fi (light fidelity) technology / U. Suganya, C. Subhalakshmi priya, // international journal of research in computer applications and robotics. – January 2015. – Vol. 3, № 1. – pp. 26–32.
7. **Cossu G.** 3.4 Gbit/s visible optical wireless transmission based on RGB LED. / G. Cossu, A. M. Khalid, P. Choudhury, R. Corsini, and E. Ciaramella. // OPTICS EXPRESS. – 10 December 2012. – Vol. 20, № 26, – pp. 501–506.
8. **Stavroulakis P.** Chaos applications in telecommunications / P. Stavroulakis // CRC Press Professional. – 2005. – 440 p.
9. **Haliuk S. D.** Synchronization transient time in occurrence of chaotic systems in telecommunication / S. D. Haliuk, L. F. Politanskii // Problems of telecommunications. – 2014. – № 3(15), – pp. 76–85.
10. **Hres O. V.** Hardware implementation chaotic signal generator based on discrete mappings / O. V. Hres, G. M. Rozorynov, M. M. Ivanchuk, R. L. Politansky, A. D. Veriga // Scientific and technical journal «Zvyazok» – 2015 – № 3, – с. 31–35.
11. **Brailovsky V. V.** Noise protected information system on visible light / V. V. Brailovsky, I. V. Pyslar, M. G. Rozhdestvenska // Measuring and Computing Devices in Technological Processes. – 2013. – Vol. 3 (44), – pp. 157–160.
12. **Brailovsky V. V.** Physiologic aspects of designing of hidden information systems based on visible optical radiation / V. V. Brailovsky, M. G. Rozhdestvenska, I. V. Pyslar, O. V. Poshak // Technologies and Construction in Electronic Equipment. – Odessa, January-February 2015. – Vol. 1, – pp. 13–16.
13. **Kikoin I. K.** Tables of physical quantities / I. K. Kikoin – Moscow: Atmosfizdat, 1976. – p. 99.
14. **Goncharova Yu. S.** Spectral method of non-contact measurement of temperature at crystals of semiconductor light sources. / Yu. S. Goncharova, M. A. Romanova S. V. Smirnov // Reports of Tomsk State University Control Systems and Radio Electronics. – 2015. – № 2(36), – pp. 38–40.
15. **Smirnov S. V.** Specter temperature dependence of white light-emitting diodes based on gallium nitride and solid solutions. / S. V. Smirnov, E. V. Savruk, Yu. S. Goncharova // Scientific journal «TUSUR's Reports» – 2011. – № 2(24), – pp. 55–58.
16. **Shipunov M. V.** Analysis method of launching automobile diesel engines of internal combustion in the conditions of low temperatures / M. V. Shipunov // Collection of scientific works (branch mechanical engineering, construction). – 2013. – № 1(36), Vol. 2, – pp. 156–164.
17. **Doroshenko G. D.** Television systems and technical view / G. D. Doroshenko, V. P. Kozhem'jako, S. V. Pavlov – 2014. – Vinnica, VNTU. – 209 p.
18. **Fedjukina G. V.** Lighting equipment reference book / G. V. Fedjukina, G. N. Rohlin – 2006. – М.: Знак. – 972 p.

Поступила
06.09.2017

После доработки
19.01.2018

Принята к печати
15.03.2018

I. V. Pyslar, V. V. Brailovsky, M. G. Rozhdestvenska, M. M. Ivanchuk

CAPABILITIES OF APPLYING VISIBLE LIGHT RAYS IN THE SYSTEMS OF HIDDEN INFORMATION TRANSMITTING

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Ukraine

In the paper some aspects of visible light pulses using for hidden information transmitting are considered. We have investigated perception of the human vision to visual light pulses which have different power and frequency. It is established that

pulsed light source becomes invisible at certain ratio of radiating light stream and ambient light level (background lighting (BL)). For example, in the case of background lighting $E = 400$ lx light pulses following with frequency 50 Hz are invisible when their power is less than 0.12 W. In the paper we represented experimental frequency dependence of the power of light pulses which are invisible for human eye at BL preset level.

To eliminate the influence of distracting and masking factors (for example, BL pulsations) we offer to choose LED matrixes powered by stabilized adjustable DC power supply unit as an optimal BL source. Based on experimental data about current and temperature dependences of light stream power and LED matrix radiation spectra we developed a method of assignment of BL level by changing LED current. Approximating equation for dependence of light stream quantity versus LED current in the case of thermostating is obtained. Temperature self-regulation effect of the heater, which has positive temperature coefficient of resistance, can satisfactorily solve the problem of temperature stabilization of LED background lighting source. In the case of thermostat heater made from material with positive temperature coefficient of resistance 0.48 K^{-1} the change of LED matrix temperature was 7 times less than without thermostat.

To provide research in wide frequency and duration ranges of pulse sequences (10^{-3} – 10^3 Hz and 10^{-7} –1 s) a pulse generator was developed and made using microcontroller PIC18F2550.

Keywords: light pulse, hidden transmitting of information, background lighting, LED matrix.

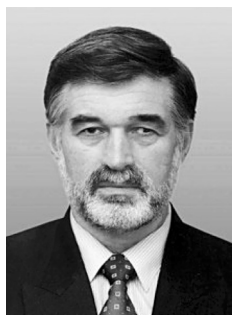


Пислар Иван Васильевич. Аспирант кафедры радиотехники и информационной безопасности Черновицкого национального университета. Окончил магистратуру Черновицкого национального университета имени Юрия Федьковича (2013). В 2015 вступил в аспирантуру.

Научные интересы: защита информации, радиотехника, светотехника.

E-mail: i.pyslar@chnu.edu.ua

Pyslar Ivan. PhD student at the department of Radio Engineering and Information Security at Yu. Fedkovych Chernivtsi National University. From 2015 PhD student at that department.



Браиловский Владимир Васильевич. Доцент кафедры радиотехники и информационной безопасности Черновицкого национального университета, к. ф.-м. наук. В 1984 защитил кандидатскую диссертацию (специальность твердотельная электроника). Научные интересы: защита информации, радиотехника, твердотельная электроника.

E-mail: brailovsky@ukr.net

Brailovsky Vladimir. PhD (physics-mathematics), lecturer at the department of Radio Engineering and Information Security at Yu. Fedkovych Chernivtsi National University.



Рождественская Маргарита Григорьевна. Доцент кафедры радиотехники и информационной безопасности Черновицкого национального университета, к. ф.-м. наук. В 1999 защитила кандидатскую диссертацию (специальность физика полупроводников и диэлектриков).

Научные интересы: защита информации, радиотехника.

Email: m.rozhdestvenska@chnu.edu.ua

Rozhdestvenska Magharyta. PhD (physics-mathematics), lecturer at the department of Radio Engineering and Information Security at Yu. Fedkovych Chernivtsi National University.



Иванчук Михаил Михайлович. Ассистент кафедры радиотехники и информационной безопасности Черновицкого национального университета, к. т. наук. В 2011 защитил кандидатскую диссертацию (специальность радиотехнические устройства и средства телекоммуникаций).

Научные интересы: защита информации, радиотехника, цифровая техника.

Email: ivanchuk.m.m@rambler.ru

Ivanchuk Mihailo. PhD (physics-mathematics), assistant of the department Radio Engineering and Information Security at Yu. Fedkovych Chernivtsi National University.

UDC 681.51

STEPANOV V. Y.

MATHEMATICAL MODELLING OF THE UNMANNED AERIAL VEHICLE DYNAMICS

Belarusian National Technical University

The article gives a classification of the main components of unmanned aerial vehicle (UAV) systems, gives the areas in which the application of UAVs is actual in practice today. Further, the UAV is considered in more detail from the point of view of its flight dynamics analysis, the equation necessary for creating a mathematical model, as well as the model of an ordinary dynamic system as a non-stationary nonlinear controlled object, is given. Next, a description of the developed software for modeling and a description of program algorithm are given. Finally, a conclusion describes the necessary directions for further scientific researches.

Keywords: *unmanned aerial vehicle, mathematical modeling, stochastic model of system state.*

Introduction

Unmanned aerial vehicle – a fairly new direction for research and are of interest not only for practical civil application like in Urban Search and Rescue Operations [1], but also for military operations with a high degree of success [2].

According to the classification of Global Hawk RYAN aeronautical center USA, the schematic structure of unmanned aerial vehicle is (Fig. 1):

There are unmanned aerial vehicles for various purposes, a variety of aerodynamic schemes and with a variety of tactical and technical characteristics.

Theory analysis

In general, the UAV can be used in a wide variety of human activities, such as:

- archeology (search under a layer of sand);
- architecture (autonomously survey the terrain and create 2D- and 3D-maps and terrain models);
- aerial photography (UAVs allow you to create digital maps with virtually any resolution, ranging from a few centimeters to a point);
- safety monitoring (for example, during construction works);
- urban infrastructure (search for unauthorized dumps, detection of illegal buildings, quality control of the road surface, taking air samples, measuring radio emission levels);
- Forestry (fighting poachers, identifying fires, smoke, monitoring obstacles, monitoring animals);
- meteorology (search and / or study of hurricanes and other natural phenomena), etc.

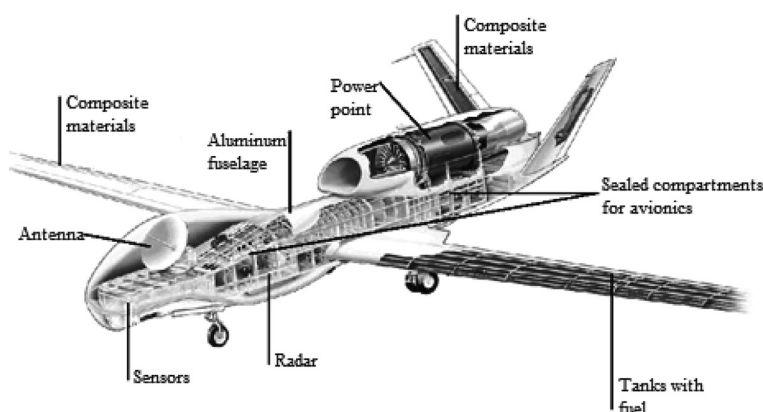


Fig. 1. Schematic structure of unmanned aerial vehicle

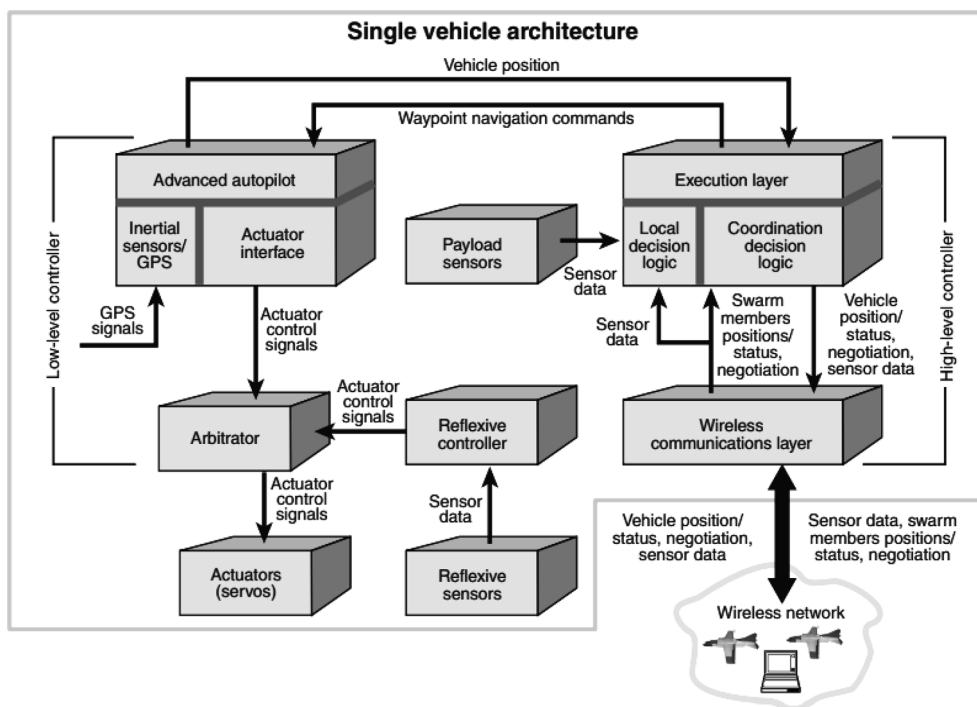


Fig. 2. Advanced structure of the UAV

Law enforcement officers and rescuers are also thinking about using UAVs in everyday practice.

An unmanned aerial vehicle can, for example, provide search for accidents (accidents) of technical equipment and missing groups of people. The search is conducted according to a pre-set flight task or by an operative route of the flight. Usually, the UAV is equipped with guidance systems, airborne radar systems, sensors and video cameras. Advanced structure of the UAV systems [3] is shown in Figure 2.

The success of the UAV is primarily due to the rapid development of microprocessor-based computers, control systems, navigation, information transfer and even artificial intelligence elements. Achievements in these areas make it possible to fly in automatic (semi-automatic) mode from take-off to landing, to solve a very wide range of tasks [4].

Consider the UAV in more detail from the point of view of the analysis of its flight dynamics.

Unmanned aerial vehicle, like other aircraft, uses its power point and aerodynamic forces for its flight in the atmosphere.

In general, the UAV movement is represented by two aspects: the forward movement of its center of mass and the rotational motion around its center of mass.

To simulate an unmanned aerial vehicle, the necessary requirements, according to V. S. Moiseev, is: «... except for their adequacy and sufficient for practical application of accuracy, we will consider the simplicity and intelligibility of models to the specialists in managing UAVs...

... The fulfillment of this requirement is conditioned by the necessity of their active participation in the development on the basis of these models of effective control laws for UAVs.

In addition, the simplicity of the applied UAV motion models implies, as practice has shown, the relatively low laboriousness of mathematical methods and algorithms used in the formation of such laws...» [5, pp. 35–37].

The model chosen should correspond to the tasks in the simulation and adequately reflect the relationship between them.

The functioning of a complex system occurs when input random signals (influences, functions, processes) are affected, as well as various random disturbances (interference).

The mathematical model of a stochastic system is described on the basis of information interaction between its constituent parts. Such a model can be represented physically by various mathematical models, depending on the completeness and degree of detail of the processes and the final research task.

In engineering practice and scientific research to describe systems from the point of view of the completeness of the description, the object is described in terms of the state space. The state of an object is understood to mean the totality of the values of x_i , which completely determine its position at a given instant of time.

The most common model of dynamic objects are differential equations. It is most convenient to consider objects that are described by ordinary differential equations. The order of the system of differential equations describing the model of the object is not directly determined by the number of inputs and outputs, but depends on the operators that convert the input signals to the output [6].

Considering the above, we will describe the equation of an unmanned aerial vehicle, which is necessary for creating a mathematical model:

The state of systems for which initial states and input effects are known can be described by the following equation:

$$x(t) = f[t, t_0, x(t_0), \xi(t_0, t)], \quad (1)$$

where $x(t)$ – a set of values of the state vector that describes the region of possible states of the system; $f[\cdot]$ – transfer function of the system state; $\xi(\dots)$ – function describing the pattern of the input effects, according to the type of solving problem.

In the modeling of dynamic systems it is important to consider the system structure and interaction of the system with the environment. $\xi(\dots)$ parameters must be taken into account [7].

The totality of the effects of the environment to the object can be divided into two groups, according to the type of the influence of the environment to the state variables (phase coordinates) of the object.

The first group includes influences that additively change the state variables at the application point.

This means that signals proportional to these influences are summed with corresponding state variables.

The second group of environmental influences changes the state variables of the object indirectly, usually not additively.

Those effects change the operator of the object (system). This means the transformation law of input effects into output variables of the object [6].

An example of a model of an ordinary dynamic system as a nonstationary nonlinear control-

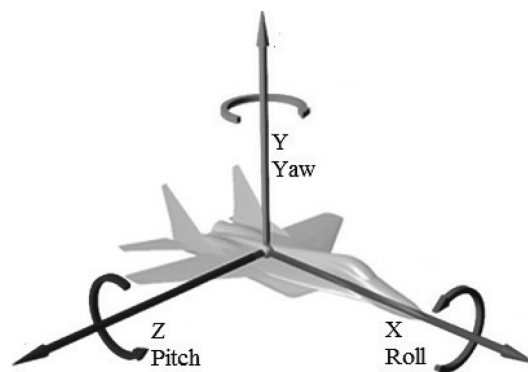


Fig. 3. Projection of the axes of the trajectory coordinate system on the UAV [8]

led object with perturbations $\xi(\dots)$ can be as follows:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}x(t) &= f(t, x(t), u(t), \xi(\tau)), \\ y(t) &= A(t, x(t), u(t)), \end{aligned} \quad (2)$$

where $u(t)$ – the control vector or input variables; $y(t)$ – vector of output variables of systems.

To obtain a correct stochastic model of the state of a system with continuous time, it is necessary to use stochastic differential equations. Consequently, after appropriate transformations, the stochastic differential equation for the consideration model will have the following form [7]:

$$dx = A(x, t)dt + B(x, t)d\xi, \quad (3)$$

Further, in order to simulate an unmanned aerial vehicle, it is necessary to determine the coordinate system. As a basis, take the trajectory coordinate system, the projection of which axes on the UAV looks as follows (Figure 3).

As mentioned in the beginning, the UAV motion can be simplified as a motion of its center of mass, which will serve as a reference point in the trajectory reference system (Ot) [9].

Denote the axes of the trajectory system Xt , Yt and Zt , respectively; the roll angle from the axis Xt – Kx , the angle of yaw or slip (the angle of the path) – Ry , the pitch or attack angle (inclination of the trajectory) – Tz , then the dynamic equation of motion in general form will look as follows [10]:

$$\begin{cases} m\dot{V} = \sum F_x, \\ mV\dot{T}z = \sum F_y, \\ -mV\dot{R}y \cos(Tz) = \sum F_z, \end{cases} \quad (4)$$

Figure 4 shows a comparison of the trajectory and terrestrial coordinate systems, as well as the

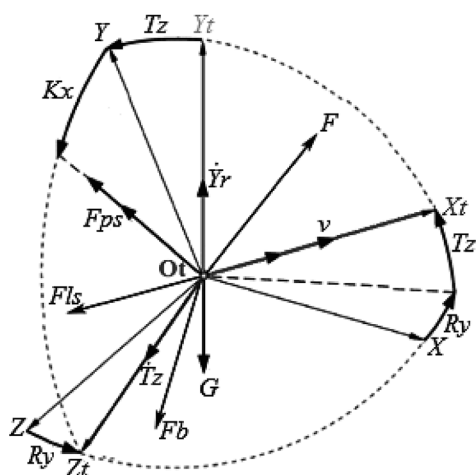


Fig. 4. Comparison of the trajectory and terrestrial coordinate systems with the projections of the forces acting on the UAV

basic forces acting on the UAV in flight (with a projection onto the trajectory coordinate system) and the angles of deviation from the axes of the normal coordinate axis:

In Figure 4, the following notations are introduced:

- Fls – force of frontal resistance of air;
- Fps – lifting force;
- Fb – lateral force;
- F – power point force of the UAV;
- G – gravity force is multiplication of the mass of the UAV and acceleration of gravity g (9.81 m/s^2);
- v – course speed.

Denote the pitch angle of the UAV – Tza , the yaw angle of the UAV – Ryb and, taking into account the forces acting on the UAV (Figure 4), we rewrite equation 4 in the following form:

$$\begin{cases} m\dot{V} = F \cos(Tza) \cos(Ryb) - FlsG \sin(Tz), \\ mV\dot{Tz} = (Fps + F \sin(Tza) \cos(Kx) - \\ - (Fb - F \cos(Tza) \sin(Ryb)) \sin(Kx) - G \cos(Tz)), \\ -mV\dot{Ry} \cos(Tz) = (F \sin(Tza) + Fps) \sin(Kx) + \\ + (Fb - F \cos(Tza) \sin(Ryb)) \cos(Kx). \end{cases} \quad (5)$$

Software development

The resulting equations of flight dynamics were used as the basis for the creation of a mathematical model of the UAV flight of. The mathematical model was implemented on an object-oriented high-level language – C # 5.0 [11, 12].

To build a graphical user interface, the program used WPF technology [13].

The program is designed to measure the distance of flight of an unmanned aerial vehicle with a limited fuel, on ideal conditions flight with rectilinear motion in steady state (after all the adjustments associated with flying to a given course) and to compare the distance of flight of the UAV with wind influence.

The algorithm of the program includes the following basic steps:

- 1) input of initial data, including:
 - current speed (km / h);
 - direction of flight (in degrees);
 - minimum and maximum values of wind power (m/s);
 - flight time ($Tmax$) (s), etc.
- 2) calculation of a number of parameters (the main ones are listed):
 - power point speed (according to the condition of the simulation, they correspond to the set speed);
 - wind power at each iteration (a randomly generated sequence of values between the limits ($WPmin$ and $WPmax$), specified by user entering data).

The wind model obtained at this stage is shown in Figure 5;

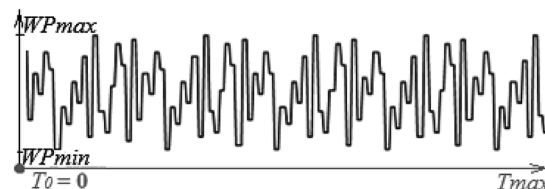


Fig. 5. Wind model obtained by applying the algorithm of random numbers generation in C#

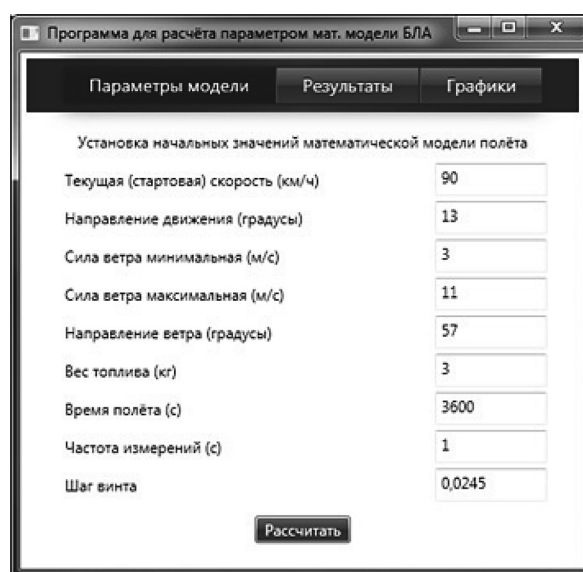


Fig. 6. Main program window

N	FlightTime	FuelLevel	EngineSpeed	SpeedWithoutWind	SpeedWithWind	WindPower	DirectionWithoutWind	DirectionWithWind	DistanceWithoutWind	DistanceWithWind
485	485	0.09283788	3673.469	90	69.00329	20.99671	13	6.89465	12125	9296.276
486	486	0.08683135	3673.469	90	69.00329	20.99671	13	6.89465	12150	9315.444
487	487	0.08082481	3673.469	90	59.00486	30.99514	13	3.987342	12175	7982.046
488	488	0.07481828	3673.469	90	59.00486	30.99514	13	3.987342	12200	7998.437
489	489	0.06881174	3673.469	90	59.00486	30.99514	13	3.987342	12225	8014.827
490	490	0.06280521	3673.469	90	63.00423	26.99577	13	5.150265	12250	8575.576
491	491	0.05679868	3673.469	90	63.00423	26.99577	13	5.150265	12275	8593.077
492	492	0.05079215	3673.469	90	63.00423	26.99577	13	5.150265	12300	8610.578
493	493	0.04478562	3673.469	90	53.0058	36.9942	13	2.242955	12325	7258.85
494	494	0.03877908	3673.469	90	53.0058	36.9942	13	2.242955	12350	7273.574
495	495	0.03277255	3673.469	90	53.0058	36.9942	13	2.242955	12375	7288.297
496	496	0.02676601	3673.469	90	71.00298	18.99702	13	7.476111	12400	9782.633
497	497	0.02075948	3673.469	90	71.00298	18.99702	13	7.476111	12425	9802.355
498	498	0.01475295	3673.469	90	71.00298	18.99702	13	7.476111	12450	9822.078
499	499	0.008746414	3673.469	90	76.0022	13.9978	13	8.929768	12475	10534.75
500	500	0.002739881	3673.469	90	76.0022	13.9978	13	8.929768	12500	10555.86

Fig. 7. Output results after calculation of UAV flight at 90 km/h speed in ideal conditions and with the wind power between 3 and 11 m/s influence

- shift angle of the UAV (calculated in the program as multiplication of a 60 constant value to the quotient of the wind speed divided by the speed of the flight, multiplied by the sine of the wind angle);
- speed of flight with an additive wind application;
- directions of UAV flight with continuous wind influence;
- the distance in meters (until the end of the UAV fuel or the completion of the preset simulation time);

3) the output of the results in a tabular (in the form of a series of columns of parameters grouped by pairs (for comparison) describing the UAV flight in ideal and with influence of wind conditions) and, in part, graphically.

The main program window is shown in Figure 6.

An example of the output results from the program is shown in Figure 7.

Conclusion

In this paper, the UAV was considered as description of its dynamics during the flight in ideal conditions and with wind influence to it.

Further research will continue in the field of modeling the automatic control system in relation to the mathematical model of an unmanned aerial vehicle described in this paper, and the described model is improved to construct a more realistic wind model with consideration of longitudinal overload (occurs when the power point thrusting and flight shifting) and lateral overload (occurs when flying with slip) and other influences, and power point, navigation equipment, etc.

References

1. Greer D, McKerrow P and Abrantes J, «Robots in Urban Search and Rescue Operations», Australasian Conference on Robotics and Automation, Auckland, pp. 27–29, 2002.
2. Globalsecurity.org [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.globalsecurity.org/intell/systems/uav-intro.htm>. – Date of access: 20.12.2017
3. Robert J. Bamberger Jr., David P. Watson, David H. Scheidt, and Kevin L. Moore. Flight Demonstrations of Unmanned Aerial Vehicle Swarming Concepts / Johns Hopkins APL Technical Digest, Volume 27, Number 1 (2006). – 55 p.
4. Roos, JC and Peddle, IK, «Autonomous Take-off and Landing of an Unmanned Aerial Vehicle», R & D Journal of the South African Institution of Mechanical Engineering, volume 25, pp. 16–28, 2009.
5. Moiseev V. S. Applied theory of control of unmanned aerial vehicles: monograph. – Kazan: GBU «Republican Center for Monitoring the Quality of Education» (Series «Modern Applied Mathematics and Informatics»). – 768 p.
6. Semenov A. D., Artamonov D. V., Bryukhachev A. V. Identification of the objects of control: Teaching experience. allowance. – Penza: Publishing house Penza. state. University, 2003. – 211 p.: ill.
7. Dmitrievsky A. A., Lysenko L. N. External ballistics: A textbook for university students. – 4-th ed., revised and enlarged – M.: Mechanical Engineering, 2005. – 608 p.: ill.
8. Regodink.ru [Electronic resource]. – Access mode: <https://regodink.ru/articles/Mototekhnika-i-drugie-sredstva/optimizacii-traktorii-poletov>. – Date of access: 22.12.2017.
9. Tsukanov A. V. Development of a software package for constructing the optimal trajectory of UAV motion. – 40 p.

10. **Chepurny I. V.** Dynamics of the flight of aircraft: training. allowance / **I. V. Chepurny** – Komsomolsk-on-Amur: FGBOU VPO «КнАГТУ», 2014. – 112 p.
11. **Shildt G.** C# 4.0: The complete reference.: Trans. from English. – M.: LLC «I. D. Williams», 2011. – 1056 p.: ill. – Parall. Eng. title.
12. **Troelsen E.** The programming language C# 5.0 and the platform. NET 4.5, 6-th ed.: Trans. from English. – M.: LLC «I. D. Williams», 2013. – 1312 p.: ill. – Parall. Eng. title.
13. **Nathan A.** WPF 4. Detailed guidance. – Trans. from English. – SPB.: Symbol-Plus, 2011. – 880 p.: Ill.

Литература

1. **Greer D, McKerrow P and Abrantes J**, «Robots in Urban Search and Rescue Operations», Australasian Conference on Robotics and Automation, Auckland, pp27–29, 2002.
2. **GlobalSecurity.org** [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.globalsecurity.org/intell/systems/uav-intro.htm>. – Date of access: 20.12.2017
3. **Robert J. Bamberger Jr., David P. Watson, David H. Scheidt, and Kevin L. Moore.** Flight Demonstrations of Unmanned Aerial Vehicle Swarming Concepts / Johns Hopkins APL Technical Digest, Volume 27, Number 1 (2006). – 55 p.
4. **Roos, JC and Peddle, IK**, «Autonomous Take-off and Landing of an Unmanned Aerial Vehicle», R & D Journal of the South African Institution of Mechanical Engineering, volume 25, pp16–28, 2009.
5. **Моисеев В. С.** Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами: монография. – Казань: ГБУ «Республиканский центр мониторинга качества образования» (Серия «Современная прикладная математика и информатика»). – 768 с.
6. **Семенов А. Д., Артамонов Д. В., Брюхачев А. В.** Идентификация объектов управления: Учебн. пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. – 211 с.: ил.
7. **Дмитриевский А. А., Лысенко Л. Н.** Внешняя баллистика: Учебник для студентов вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 608 с.: ил.
8. **Regodink.ru** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://regodink.ru/articles/Mototehnika-i-drugie-sredstva-optimizacii-traektorii-poletov>. – Дата доступа: 22.12.2017.
9. **Цуканов А. В.** Разработка программного комплекса построения оптимальной траектории движения БПЛА. – 40 с.
10. **Чепурных И. В.** Динамика полёта самолётов: учеб. пособие / И. В. Чепурных. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. – 112 с.
11. **Шилдт Г.** C# 4.0: полное руководство: Пер. с англ. – М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2011. – 1056 с.: ил. – Парал. тит. англ.
12. **Троелсен Э.** Язык программирования C# 5.0 и платформа. NET 4.5, 6-е изд.: Пер. с англ. – М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2013. – 1312 с.: ил. – Парал. тит. англ.
13. **Натан А.** WPF 4. Подробное руководство. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2011. – 880 с., ил.

Поступила
22.12.2017

После доработки
14.02.2018

Принята к печати
15.03.2018

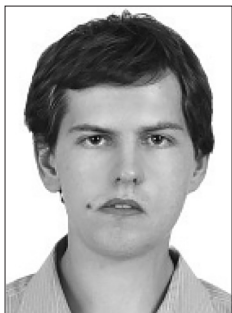
Степанов В. Ю.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Белорусский национальный технический университет

В статье даётся классификация основных компонентов систем беспилотного летательного аппарата (БЛА), приводятся области человеческой деятельности, в которых актуально применение БЛА на практике уже сегодня. Далее БЛА рассматривается более подробно с точки зрения анализа его динамики полёта, даётся уравнение, необходимое для создания математической модели, а также модели обыкновенной динамической системы как нестационарного нелинейного управляемого объекта. Далее даётся описание разработанного программного обеспечения для моделирования и приводится описание алгоритма работы программы. В конце делается вывод о необходимых направлениях дальнейших научных исследований.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, математическое моделирование, стохастическую модель состояния системы.



Степанов В. Ю. Аспирант кафедры «Информационные системы и технологии» Белорусского национального технического университета. Получил высшее образование и окончил магистратуру по направлению «Информационные системы и технологии» в 2013 и 2014 годах соответственно. На данный момент аспирант ведёт исследования в направлениях цифровой обработки сигналов и систем управлений, включая параметрическую оптимизацию систем и программирование. Интересы в целом касаются ИТ, программирования и робастного управления.

E-mail: vovchik-13a@yandex.ru

Stepanov V. Y. Received the Software Engineer and M. S. C. degree in field of «Information systems and technologies» from the Belorussian National Technical University in 2013 and 2014 respectively. He is currently working toward in PhD degree in the field of «Digital signal processing and control» including, parametric optimization and programming. His research interests include IT, programming and robust control.

**ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ
И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ**

**DATA PROCESSING
AND
DECISION-MAKING**

УДК 004.9

В. А. ВИШНЯКОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ И БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГИЙ В ИНФОРМАЦИОННОМ УПРАВЛЕНИИ

Минский инновационный университет

Целью данной работы является анализ методов, подходов, технологий, средств информационного управления (ИУ), использование как известных технологий так и добавление новых: интеллектуальных и блокчейн. Приведены тенденции использования интеллектуальных технологий в информационном управлении. Выделены разработки в области интеллектуальных агентов на основе семантик-веб, веб-сервисов и семантических веб-сервисов, использование облачных вычислений (ОВ). Обсуждены основные идеи семантических технологий, в которых страницы семантической сети содержат информацию на двух языках: естественном и специальном, понятном только интеллектуальным программам-агентам, (ИА).

Рассмотрено использование технологии блокчейн для управления различными материальными и нематериальными активами. Технически блокчейн-технология представляет собой еще один прикладной уровень, работающий поверх стека интернет-протоколов и может интегрироваться с семантическим уровнем. Рассмотрено использование интеллектуальных технологий в информационном управлении в облачной среде и работой ИА. Обсуждена интеллектуальная сеть (веб 3.0), которая становится очередным этапом развития Интернета. В ней онтология формирует семантику, создавая новые возможности для ИА выполнять различные запросы пользователей. Проанализированы основные разработки в области интеллектуализации ИУ и рассмотрены основные тенденции их развития. В результате этого был определен перечень критериев и их значений, которым должна удовлетворять интеллектуальная система для ИУ.

В качестве тенденции развития ИУ рассмотрено совершенствование методов и моделей совместной деятельности ИА в облачной среде с использованием технологии блокчейн. Выделены три направления развития интеллектуальных систем управления. В качестве развития информационного управления предложено создание инструментальной платформы на базе многоагентного подхода, интеграции семантических и блокчейн технологий в облачной среде.

Ключевые слова: семантические, блокчейн технологии, информационное управление, интеллектуальные агенты, интеграция, облачная среда

Введение

Для современного этапа развития теории и практики информационного управления (ИУ) характерна ситуация: с одной стороны, усиленное внимание к использованию информационных технологий (ИТ), развитие международных стандартов, растущие расходы на обеспечение механизмов и средств управления, с другой – недостаточная эффективность ИУ, субъективных человеческого фактор в работе с активами, о чем свидетельствуют публикуемые данные в мировой экономике [1]. Выходом является внедрение на этапах ИУ интеллектуальных технологий, а также применение парадигмы блокчейн в системах контроля и отчетности. С одной стороны, сбор и обработка информации из Интернета о состоянии, направлении развития и уровне товаров (услуг) или

иных процессов в мировой экономике и синтез знаний, что дает новое качество, позволяющее спрогнозировать, смоделировать развитие тех или иных процессов на мировых рынках. С другой стороны, применение интеллектуальных технологий дает возможность повысить уровень эффективности ИУ для различных корпоративных систем управления (КИС), [2], а блокчейн технологии – прозрачность управления и коресурсами [3].

Интеллектуализация в информационном управлении

Одной из главных проблем построения инновационных экономик является интеллектуализация, суть которой заключается в разработке эффективных механизмов формирования, публикации, актуализации и массового исполь-

зования инновационных знаний в управленческих технологиях. Среди таких знаний в работе [4] выделены разработки в области: семантик-веб и использование интеллектуальных агентов; веб-сервисов и семантических веб-сервисов; облачных вычислений. Эти знания предложено взять за основу при интеллектуализации управленческих решений:

- использование технологий семантик-веб в управленческой деятельности, интеллектуализация маркетинговых решений и электронного бизнеса;

- интеграционное решение для сложных задач на основе семантических веб-сервисов является одним из направлений разработок в области интеллектуализации распределенной обработки управленческой информации.

- использование мобильных технологий и облачных вычислений позволяет более эффективно решать задачи в управленческой деятельности, в области поиска управленческой информации, электронной торговли, принятия решений.

Основы семантических технологий

Концепцию семантической сети (Semantic Web) председатель W3C Тим Бернерс-Ли представил в 2001 году, выступив на восьмой конференции консорциума W3C и опубликовав соответствующий трактат в журнале *Scientific American* [5]. Отличие Semantic Web от традиционного веб-пространства состоит в том, что каждая страница семантической сети содержит информацию на двух языках: на естественном (показываемом браузером), и специальном (скрыта от человеческих глаз, но понятна интеллектуальным программам-агентам, (ИА)). ИА по заданиям пользователей находят источники информации, запрашивают данные, проверяют их на соответствие критериям поиска, а затем выдают ответ в удобной для пользователей форме.

В основе семантической сети лежат три принципа: агрегация, безопасность и логика. Агрегация означает совместное использование данных. В Semantic Web при решении поставленной задачи могут быть использованы любые данные, на основе их создается семантическая информация (онтологии). Онтологии составляют фундамент семантической сети и представляют собой описание на некотором

формальном языке понятий некоторой предметной области и отношений между ними. В основу безопасности, обеспечивающей доверие к семантической сети, положены цифровые подписи, которые могут использоваться агентами и компьютерами для проверки того, что информация получена из достоверного источника.

Логика это набор правил описания информационной структуры данных, протоколы и язык описания страниц. Язык RDF разработан консорциумом W3C для описания метаданных в семантической сети. Он предназначен для описания отношений между ресурсами. Утверждения, кодируемые с помощью RDF, можно интерпретировать с помощью онтологий, созданных по стандартам RDF-Schema и языка OWL, чтобы получать из них логические заключения [5].

Использование блокчейн технологий

Блокчейн – это многофункциональная и многоуровневая информационная технология, предназначенная для надежного учета различных активов. Потенциально эта технология охватывает все без исключения сферы экономической деятельности и имеет множество областей применения. В их числе: финансы и экономика; операции с материальными и нематериальными активами, учет в государственных и частных организациях и организациях смешанного типа. Блокчейн – это новая организационная парадигма для координации любого вида управленческой деятельности [3].

Блокчейн технология способна стать органичной экономической оболочкой сети интернет, обслуживающей онлайн-платежи, децентрализованный обмен, заработок и расходование токенов ценности, получение и передачу цифровых активов, а также выпуск и исполнение умных контрактов. Как средство децентрализации эти технологии могут стать следующим этапом в информационных технологиях – после мейнфреймов, персональных компьютеров, интернета, мобильных и социальных сетей [3].

Технически блокчейн технология представляет собой еще один прикладной уровень, работающий поверх стека интернет-протоколов. Она привносит в интернет новое звено поддержки экономических транзакций – как

моментальных денежных платежей в универсальной криптовалюте, так и более сложных и долгоживущих финансовых контрактов. Блокчейн-технологии предстоит стать верхним экономическим слоем органично связанного мира разнообразных вычислительных устройств, в числе которых – мобильные, цифровые устройства самофиксации, «умные дома, умные автомобили и умный город» [3].

Функциональность, реализованная в рамках блокчейн парадигмы, может выглядеть как подключенный интегрированный физический уровень вычислений со многими устройствами, поверх которого находится слой для обслуживания платежей. Но речь идет не просто о платежах, а о микроплатежах, децентрализованной бирже, зарабатывании и трате токенов, получении и передаче цифровых активов, а также о составлении и выполнении умных контрактов – то есть о полноценном экономическом слое, которого в вебе до сих пор не было [3].

Информационное управление с интеллектуальными агентами в облачной среде

Интеллектуальная сеть (веб 3.0) становится этапом развития Интернета. Онтология формирует семантику, создав новые возможности для ИА выполнять запросы пользователей. Это обеспечит освобождение пользователей от задачи по исследованию документов, выданных поисковой машиной. Чтобы справиться со сложностью бизнес-процессов, связывающих несколько предприятий или цепочку создания ценности в Web 3.0 компании потребуют создания «умных» процессов [2, 6].

Распределенный искусственный интеллект – DAI (Distributed Artificial Intelligence) основывается на агентных технологиях. ИА имеет три свойства: автономность, способность реагировать и способность выйти на связь. ИА могут общаться с другими «сущностями»: людьми, другими ИА, объектами [5, 6]. Добавив к этому способность планировать и ставить цели, поддерживать модели представлений, рассуждать о действиях и повышать уровень знаний и качество работы через обучение, и получим компоненты продвинутого ИА.

ИА могут быть интегрированы в структуры облачных вычислений (ОВ), содержащие

конкретные функции по решению задач, обработки данных и управления. Они поддерживают естественное соединение информации и технологий, основанных на знаниях и могут поддерживать процесс логических рассуждений (например, включение деловых регламентов в них). Они позволяют включить функцию обучения и самосовершенствования как на уровне инфраструктуры (адаптивная маршрутизация), так и на уровне приложения (адаптивные пользовательские интерфейсы).

ИА используются для сбора бизнес-аналитики (Business Intelligence) и процессов обработки сложных событий CEP (Complex Event Processing). Показатель посещений страниц устарел. Важно количество связей в социальных сетях, количество отправленных сообщений и время, проведенное на конкретном сайте [6].

Получение информации и непрерывный анализ в реальном времени в ОВ – это следующая сложная задача для корпоративного интеллекта, особенно когда для того, чтобы найти ценную информацию и «управлять репутацией», надо переходить от «поиска в данных» к «поиску в блогах». Надо выйти за пределы поисковика Google, обработать Интернет-шум, чтобы понять, что же происходит в отрасли, ситуацию о товарах и услугах компании, т. е. нужна аналитика Web 3.0 [6].

Используя обработку сложных событий для корпоративного интеллекта, можно создать обратную связь между корпоративным интеллектом и системой управления бизнес-процессами, которая, в свою очередь, воздействует на корпоративный интеллект. Service Science, Management and Engineering (SSME) – термин, используемый IBM Research в своих разработках в области сервисных систем. HP создала «Научный центр систем и сервисов». Oracle Corp. присоединилась к IBM для создания индустриального консорциума под названием Service Research and Innovation Initiative. Группа NESSI (Networked European Software and Services Initiative) в Европейском союзе создана NESSI (Рабочая группа по вопросам науки о сервисах). В Калифорнийском университете Беркли есть программа SSME. Все это происходит благодаря тому, что в сфере услуг ныне заняты более 50% рабочей силы в Бразилии, России, Японии и Германии, а также 75% рабочей силы в США и Великобритании [7].

Время монолитных, вертикально интегрированных компаний ушло. Главные и вспомогательные бизнес-процессы (БП) компании происходят в четырех взаимосвязанных областях: поставщики прямых закупок, производственных ресурсов (непрямые закупки), торговые партнеры, клиенты. Эти многочисленные цепочки должны быть включены в новые бизнес-экосистемы ОВ, объединяющие «всех-со-всеми». Они будут доступны для соединения, разрыва и нового соединения предоставляя компании возможность работать на множественных рынках или создавать новые предложения для «рынка из одного человека» [6].

Все многочисленные цепочки формирования ценности должны быть вплетены в новые бизнес-экосистемы ОВ, объединяющие «всех-со-всеми». Они должны быть доступны для соединения, разрыва и нового соединения в соответствии с изменениями в рыночных реалиях, предоставляя компании возможность работать на множественных рынках или создавать уникальные предложения для «рынка из одного человека».

Успешные компании стали представителями интересов своих клиентов. Они работают с поставщиками со всего мира для того, чтобы предложить клиентам наилучшую ценность. Ответы на вопросы кто же владеет бизнес-процессами всей цепочки создания ценности лежат за пределами CRM-систем – в новых системах ОВ: управления отношениями в цепочке создания ценности (Value-Chain Relationship Management) и управления отношениями с сообществом клиентов (Customer Community Relationship Management). Это порталы, бизнес-экосистемы и системы формирования информации, процессы, например, «индивидуальный запрос на продукт», поступающий по многочисленным каналам и от множества сообществ клиентов [2, 6].

Управление CRM 2 будет располагаться в облачной среде (ОС). То же самое можно сказать и об управлении циклом жизни товара в новом мире инноваций, формируемых потребителями: системы автоматизированного проектирования, управления системами поставок и контрактными отношениями должны будут выйти за пределы границ предприятия и включить клиентов и партнеров по дизайну и производству. Поскольку ни одна компания не «владеет» всей последовательностью создания

ценности, бизнес-процессы компаний и системы их управления будут унифицированы и перенесены в ОВ. Данная архитектура включает базу знаний в виде правил продукций, механизма логического вывода, рецепторов и эффекторов агента, модуль коммуникации с другими агентами. Применительно к задаче анализа рынка, рецепторы передают факты о внешних воздействиях в базу знаний. В результате логического вывода вырабатывается решение, которое передается эффектору об изменениях внешней среды [6].

Для распределенного решения задач могут быть использованы разные типы агентов: агент-субординатор, множество агентов исполнителей, агент-интегратор. Агенты могут быть связаны между собой в виде многоуровневой архитектуры, которая может быть горизонтальной или вертикальной. В результате анализа информационного процесса распределенной УД в сетях можно рассматривать агентов, разграничивающих права доступа пользователей сети, агентов обнаружения потребностей, то есть изменения состояния рыночной среды в сети, агентов обнаружения инноваций, агентов, строящих сценарий поведения для распространения инноваций, агентов, являющийся посредником-координатором всей многоагентной системы [2, 6].

В работе [8] проанализированы основные разработки в области построения интеллектуальных систем (ИС) ИУ и рассмотрены основные тенденции их развития. В результате этого был определен перечень критериев и их значений, которым должна удовлетворять интеллектуальная система для ИУ:

- многоуровневость наблюдения за средой, сбор сведения о состоянии рынка из различных источников на различных уровнях наблюдения – уровень сети, серверов ОВ и социальных систем;
- адаптивность, способность обнаруживать модифицированные реализации известных и новых инноваций рынка;
- проактивность, наличие встроенных механизмов реакции на появление инноваций;
- открытость, возможность добавления новых анализируемых ресурсов информационной системы.
- тип управления, ИС ИМ должна совмещать как централизованное, так и распределенное управление.

– защищенность, ИС ИМ должна обладать средствами защиты своих компонентов.

В результате представлены следующие решения по многоагентной системе обнаружения инноваций рынка ИС ИМ:

– структура и состав многоагентной системы обнаружения инноваций, включающая в себя агентов рабочих станций, серверов, маршрутизаторов и сетей и позволяющая делать вывод о состоянии и перспективах развития рынка;

– метод принятия агентами совместного решения, позволяющий сформировать круглый стол агентов и на основании их результатов анализа сведений, полученных из различных источников, оценить состояние рынка в целом;

– методика обнаружения атак с использованием многоагентных технологий, позволяющая обучить многоагентную систему обнаружению инноваций и использовать ее для дальнейшего обнаружения новых товаров (услуг);

– оценка эффективности всех предложенных методов, используя разработанные программные решения МД.

Концепция развития информационного управления

В качестве тенденций и концепции развития по использованию интеллектуальных и блокчейн технологий в УД предлагается:

– совершенствование архитектур систем ИУ в облачных средах, обеспечивающих эффективное управление в условиях неопределенности состояния информационной среды;

– разработка новых моделей ИУ в ОС с ИА на основе выбора оптимального варианта реагирования на события рынка;

– совершенствование инструментальных программных комплексов для ИУ с интеллектуальной поддержкой принятия решений и исследованием эффективности методов, моделей и алгоритмов;

– развитие технологий многоагентных систем ИУ для обнаружения атак, противодействия угрозам нарушения ИБ, оценки уровня защищенности информации в КИС;

– разработка теоретических основ, моделей и средств облачной инструментальной платформы проектирования интеллектуальных систем ИУ на основе семантических технологий;

– разработка прикладных АРМов или сайтов для управленцев и маркетологов с использованием блокчейн технологий.

Заключение

Первым направлением развития интеллектуальных систем управления является дальнейшая разработка моделей, методов, архитектур и программных средств для решения проблемы адаптации на рынках. Вторым направлением – разработка моделей, методов, архитектур и программных средств сбора, структуризации информации из Интернета, формирования специализированных баз знаний и поддержки принятия решений. Третьим направлением – создание облачной инструментальной платформы проектирования интеллектуальных систем управления на основе семантических и блокчейн технологий.

Литература

1. **Интеллектуальные** технологии в управлении. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.Eurasiancommission.org/ru/act/prom_i_agroprom/dep_prom/SiteAssets/2017.pdf. Дата доступа: 9.12.2017.
2. **Вишняков, В. А.** Информационное управление и безопасность: методы, модели, программно-аппаратные решения. Монография. / В. А. Вишняков. – Минск: МИУ, 2014. – 287 с.
3. **Свон, М.** Блокчейн. Схема новой экономики / М. Свон – «Олимп-Бизнес», 2015. – 142 с.
4. **Вишняков, В. А.** Информационный менеджмент. Учеб. пособие с грифом МО РБ В. А. Вишняков. Минск: Бестпринт. 2015. – 305 с.
5. **Berners-Lee, T.** The Semantic Web / T. Berners-Lee, J. Hendler, O. Lassila // Scientific American, May 2001. – P. 28–37.
6. **Фингар П.** Облачные вычисления – бизнес-платформа XXI века. Пер. с англ. Захаров А. В. / П. Фингар / – М.: Аквариумная Книга, 2011. – 256 с.
7. **Ридз, Дж.** Облачные вычисления. / Дж. Ридз / – С, Петербург: БХВ, 2011. – 288 с.
8. **Вишняков, В. А.** Развитие интеллектуального управления с использованием облачных технологий / В. А. Вишняков // Информатика, 2016, № 2. – С. 113–120.

References

1. **Intelligent** technologies in management [Electronic resources]. Mode of accsses : http://www.Eurasiancommission.org/ru/act/prom_i_agroprom/dep_prom/SiteAssets/2017.pdf. Data of of accsses : 9.12.2017.

2. **Vishnyakou, U. A.** Information management and security: methods, models, software and hardware solutions. Monograph. / U. A. Vishnyakou. – Minsk. MIU, 2014. – 287 pp.
3. **Swan M.** Block chain. Scheme new economy / M. Swan. – «Olymp-Business», 2015. – 142 p.
4. **Vishnyakou, U. A.** Information management. manual with the stamp of EM /U. A. Vishnyakou. – Minsk: Bestprint. 2015. – 305 pp.
5. **Berners-Lee T.** The Semantic Web, T. Berners-Lee, J. Hendler, O. Lassila // Scientific American, May 2001. – P. 28–37.
6. **Fingar, P.** Cloud computing – the business platform of the XXI century / P. Fingar. – M.: Aquamarine Book, 2011. – 256 p.
7. **Ritz, John.** Cloud computing. / John. Ritz. – S. Petersburg: BHV, 2011. – 288 p.
8. **Vishnyakou, U. A.** Development of intelligent control by using cloud technologies / U. A. Vishnyakou // Informatics, 2016, No. 2. – P. 113–120.

Поступила
12.12.2017

После доработки
22.12.2017

Принята к печати
15.03.2018

Vishniakou U. A.

USE OF INTELLIGENT AND BLOCK CHAIN TECHNOLOGIES IN INFORMATION MANAGEMENT

Minsk Innovation University

The aim of this work is the analysis of methods, approaches, technologies, means of information management (IM), using both conventional technologies and adding new intellectual and block chain. Trends in the use of intelligent technologies in information management are given. The developments in the field of intelligent agents based on semantic web, web-services and semantic web-services, the use of cloud computing (CC) are shown. The main ideas of semantic technologies, in which a page of the semantic network contains information in two languages: the natural and special, understood only by intelligent software agents (IA) are discussed.

The use of block chain technology for the control of various material and non-material assets are done. Technically, the block chain technology is another application layer on top of the stack of the Internet protocols and can be integrated with the semantic level. The use of intelligent technologies in the information management in the cloud area with the work of IA. The intelligent web (web 3.0), which became the next stage in the development of the Internet is discussed. It forms the semantics on the ontology base, creating new opportunities for IA to perform various user requests. Analyzes the major developments in the field of intellectualization of IM, and the main tendencies of their development. The result was a list of criteria and their values, which must meet an intelligent system for IM.

As trends in the development of IM is considered the improvement of models and methods of joint activity of IA in the cloud area using block chain technology. Three directions of development of intellectual control system are proposed. As the development of information management proposed the creation of an instrumental platform based on multi agent approach, integrating semantic and block chain technology in the cloud area.

Keywords: semantic, block chain technologies, information management, intelligent agents, integration, cloud area cloud computing



Вишняков Владимир Анатольевич – д. т. н., профессор МИУ (по совместительству профессор БГУИР, каф. ЗИ). Область научных интересов: информационное управление и безопасность, электронный бизнес, интеллектуальные системы управления. Член 2-х докторских Советов по защите диссертаций. Автор более 390 научных работ, в том числе 6 монографий (1 на английском языке), 4-х учебных пособий с грифом Министерства образования, 8-и томного учебного комплекса «Информационный менеджмент». E-mail: vish2002@list.ru.

Vishniakou Uladzimir. – doctor of science, Professor of IT department of Minsk Innovation University (Invited Professor of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, department of information defence). Research interest: information management and security, electronic business, intellectual management systems. Mingled of two doctoral counsels of thesis's defence. Author more 390 scientific publications including 6 monographs (1 – English), 4 study books with stamp of education Ministry, 8 volumes manual «Information management». E-mail: vish2002@list.ru.

УДК 004; 004.93

Ю. И. ГОЛУБ

СЖАТИЕ ШИРОКОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ЯРКОСТИ РАДАРНЫХ СНИМКОВ

Государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем
информатики Национальной академии наук Беларуси»

В статье представлены результаты экспериментов по сжатию широкого динамического диапазона яркости 16-битовых радарных снимков. Цели работы: сравнить и применить известные подходы сжатия широкого динамического диапазона яркости радарных снимков; выбор оптимальных параметров для алгоритмов сжатия динамического диапазона яркости радарных снимков; выбор безэталонной меры для оценки качества снимков после сжатия динамического диапазона. Были опробованы такие подходы тонального преобразования, как гамма-коррекция, оператор Ашихмина, μ -преобразование, а также безэталонные оценки качества. Результаты экспериментов представлены в статье. Был сделан вывод, что необходимы дальнейшие исследования и анализ различных функций и подходов к сжатию динамического диапазона яркости радарных снимков, т. к. описанные в статье подходы не дают стабильных и положительных результатов на всех имеющихся радарных изображениях. Также был сделан вывод о том, что после преобразования 16-битовых снимков очень сложно оценить, какое изображение лучше подходит для визуального восприятия человеком, и необходимо использовать безэталонную количественную оценку качества изображения.

Ключевые слова: радарные изображения, оператор тонального преобразования, сжатие динамического диапазона, безэталонная оценка качества изображений, SDR, HDR

Введение

В настоящее время данные с радарных спутников все чаще используются при решении различных задач, например, для измерения смещений и деформации поверхности земли и сооружений, для мониторинга разливов нефти или ледовой обстановки. Стали появляться снимки с уникальными характеристиками, доступные ранее лишь для военных. Достоинством радарных снимков (SAR – Synthetic aperture radar) является то, что съёмка со спутников может осуществляться независимо от условий облачности, времени суток и времени года. А также то, что радарные снимки могут отображать не только поверхность, но и то, что под ней (коммуникации, трубопровод и т. п.).

Получаемые радарные снимки со спутников имеют широкий динамический диапазон (HDR – High Dynamic Range), т. е. количество яркостей в таких снимках составляет $65\,536$ (2^{16}). Большинство устройств отображения данных (мониторы, телевизоры, проекторы, принтеры и т. п.) работают со стандартным динамическим диапазоном (SDR – Standard Dynamic

Range) это – 256 (2^8) градаций яркости. Возникает важная задача – как корректно отображать 16-битовые радарные снимки на устройствах со стандартным динамическим диапазоном яркости. Для решения этой задачи необходимо широкий диапазон яркости преобразовать (сжать) к стандартному динамическому диапазону. Для этого применяются различные функции преобразования яркости или операторы/алгоритмы тонального преобразования (ТМО – Tone Mapping Operation).

При этом необходимо сохранить максимальное количество деталей на изображении (как в светлых областях, так и в темных областях), а также – локальный контраст полученного изображения, коррелирующий с визуальным восприятием человека. Также выбранный алгоритм сжатия должен обеспечивать отсутствие артефактов обработки изображения.

После сжатия динамического диапазона радарных снимков визуально очень сложно оценить, какое изображение лучше подходит для визуального восприятия человеком (рис. 1, 4). И возникает еще одна важная задача при рабо-

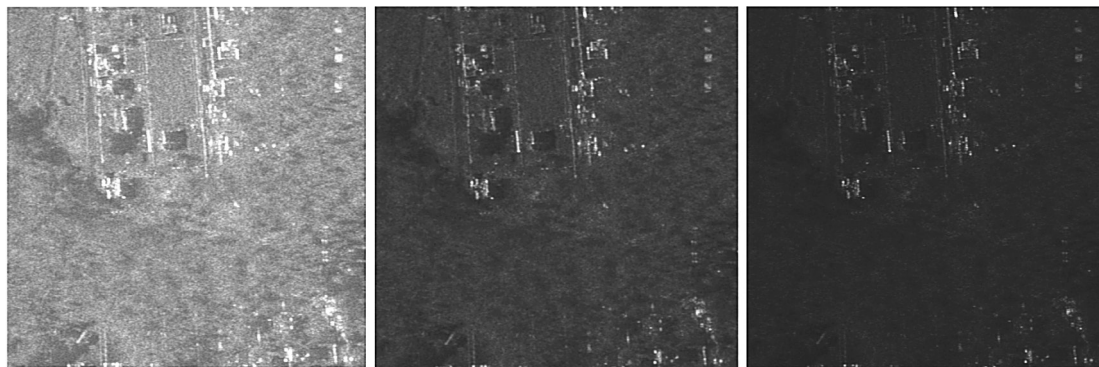


Рис. 1. Радарные изображения после гамма-коррекции с разными значениями коэффициента гамма: 0,2, 0,4, 0,6, соответственно

те с радарными снимками – выбор безэталонной меры для оценки качества снимка после сжатия широкого диапазона яркости.

Размер радарных снимков может составлять 25 000×35 000 пк (спутники Sentinel-1A и ALOS-2). Поэтому для работы с такими изображениями очень важными критериями для выбора алгоритма преобразования динамического диапазона яркости являются: затрачиваемые время и объем памяти.

Для решения задачи отображения 16-битовых радарных снимков на SDR-устройствах вывода информации были поставлены следующие задачи:

1. Выбрать несложный алгоритм сжатия динамического диапазона яркости.
2. Определить оптимальные параметры выбранного алгоритма сжатия.
3. Выбрать меру для оценки и сравнения полученных результатов после сжатия.

В литературе используют различную классификацию тональных операторов [1, 2]. Так, их разделяют на глобальные (пространственно-независимые) и локальные (пространственно-зависимые), линейные и нелинейные, а также градиентные, частотные и т. п.

При использовании глобальных операторов преобразования динамического диапазона яркости каждый пиксель изображения преобразуется на основании его интенсивности и глобальных характеристиках изображения, независимо от положения пикселя. Примером глобального типа тонального преобразования является тональная кривая (tonal curve). Достоинство таких операторов – это быстрота их выполнения. Недосток данных подходов – это то, что все пиксели изображения преобразуются одинаково, без учёта того, находятся ли

они в тёмной или светлой области. Это часто приводит к тому, что обработанные изображения теряют локальные детали. Потеря (уменьшение) контрастности и яркости – это общая проблема для глобальных операторов.

В свою очередь, локальные операторы принимают во внимание положение пикселя на изображении. Т. е. в соответствии с локальными особенностями, полученными из значений соседних пикселей, определяются соответствующие параметры преобразования изображения. Таким образом, сохраняется локальный контраст, т. е. пиксели равной интенсивности после преобразования будут иметь разные значения, в зависимости от того, в светлой или тёмной части они находились.

Недостатки локальных операторов тонального преобразования: большой объем вычислений (что увеличивает время обработки и объем необходимой памяти), а также – появление искусственных искажений в результирующем изображении [2].

Для различных задач и видов изображений предлагаются разные подходы к преобразованию динамического диапазона яркости изображений [1–9]: аппроксимация логарифмическими, степенными [4], S-образными или сигмоидными функциями [5]; логарифмическое сжатие контраста [6,7]; преобразования, основанные на работе с гистограммами [8] и градиентом [9].

В ходе экспериментов было показано, что не все существующие преобразования динамического диапазона яркости и меры качества могут работать корректно для всех видов изображений – радарных снимков, фотографий, медицинских снимков, аэроснимков и т. п. Был проведен эксперимент, в котором динамиче-

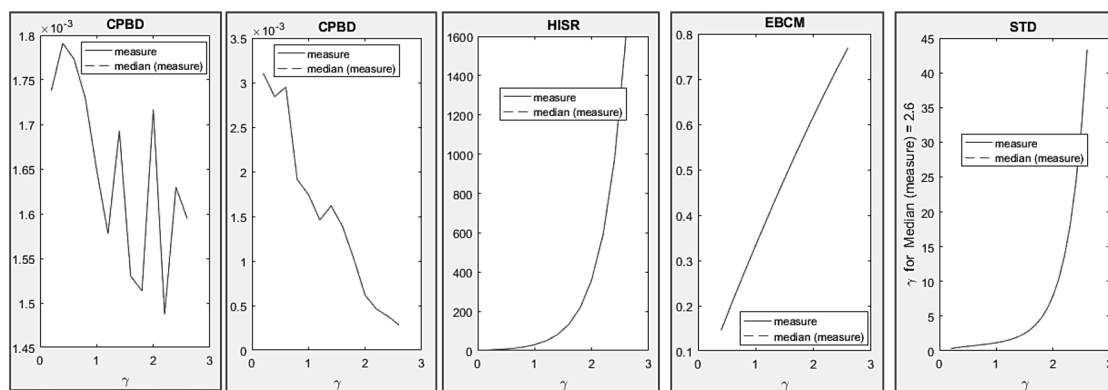


Рис. 2. Примеры графиков зависимости значения коэффициента гамма от значения меры качества

Значения среднеквадратичного отклонения радарных снимков

Порог	Размер фильтра Гаусса											
	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20	30	40
0,1	0,1620	0,1652	0,1863	0,1761	0,1793	0,1803	0,1831	0,1872	0,1969	0,2060	0,2227	0,2406
0,4	0,1644	0,1741	0,1986	0,1972	0,2128	0,2143	0,2258	0,2379	0,2629	0,2868	0,3282	0,3644
0,5	0,1645	0,1748	0,1989	0,1962	0,2158	0,2186	0,2341	0,2518	0,2870	0,3208	0,3797	0,4618
0,6	0,1643	0,1747	0,199	0,1955	0,2161	0,2187	0,2361	0,2557	0,2992	0,3425	0,4171	0,476
0,7	0,1642	0,1741	0,1991	0,1954	0,2157	0,218	0,2347	0,2537	0,2979	0,3412	0,4132	0,4721
0,9	0,1641	0,1739	0,1988	0,1954	0,2143	0,2166	0,2325	0,2515	0,2957	0,3388	0,4108	0,4693
1	0,1641	0,1738	0,1988	0,1954	0,2141	0,2164	0,2322	0,2513	0,2954	0,3385	0,4103	0,4684

ский диапазон яркости радарных снимков был преобразован к стандартному диапазону при помощи гамма-коррекции (коэффициент гамма изменялся в диапазоне $[0,2; 2,6]$, шаг изменений – 0,2). Примеры полученных изображений представлены на рис. 1.

Для объективной оценки результатов сжатия было опробовано 72 меры качества изображений (из них 34 меры описаны в [10]). По полученным данным для каждого изображения были построены графики, представленные на рис. 2. Наиболее качественными с точки зрения визуальной оценки должны быть изображения соответствующие экстремуму на графике.

Эксперимент показал что, ожидаемый тип графика наблюдался редко. Т. е. можно сделать вывод, что совместное применение гамма-коррекции и упомянутых выше мер качества – это не лучший вариант для выполнения сжатия динамического диапазона яркости радарных снимков и объективной оценки качества результата сжатия.

Также были выполнены эксперименты, в которых к радарным снимкам применялся оператор тонального сжатия Ашихмина. В зарубежной литературе его часто используют для сжатия широкого динамического диапазона яркости фотографий [1, 11].

Данное преобразование выполняется в три этапа [2]: 1 – локально оценивается яркость в каждой точке изображения, 2 – сжимается динамический диапазон яркости изображения до заданного, 3 – восстанавливаются мелкие детали изображения, которые были потеряны на предыдущих этапах.

Для фотографий с широким динамическим диапазоном в статье [2] указаны следующие оптимальные параметры тонального оператора Ашихмина: размер фильтра Гаусса – 10, порог яркости – 0,5. Экспериментальные исследования с радарными снимками показали, что данное преобразование с указанными параметрами дает изображения плохого качества. Были определены другие параметры преобразования: размер фильтра Гаусса 20, порог яркости – 0,1. Для объективной оценки результатов сжатия было выбрано среднеквадратичное отклонение яркости (STD – Standard Deviation). Данная мера часто упоминается в литературе, как мера оценки контраста изображений [13]. Результаты вычислений среднеквадратичного отклонения для преобразованных радарных снимков приведены в таблице. Анализ таблицы показал, что нет пиков в полученных значениях среднеквадратичного отклонения. Был сделан вывод, что среднеквадратич-

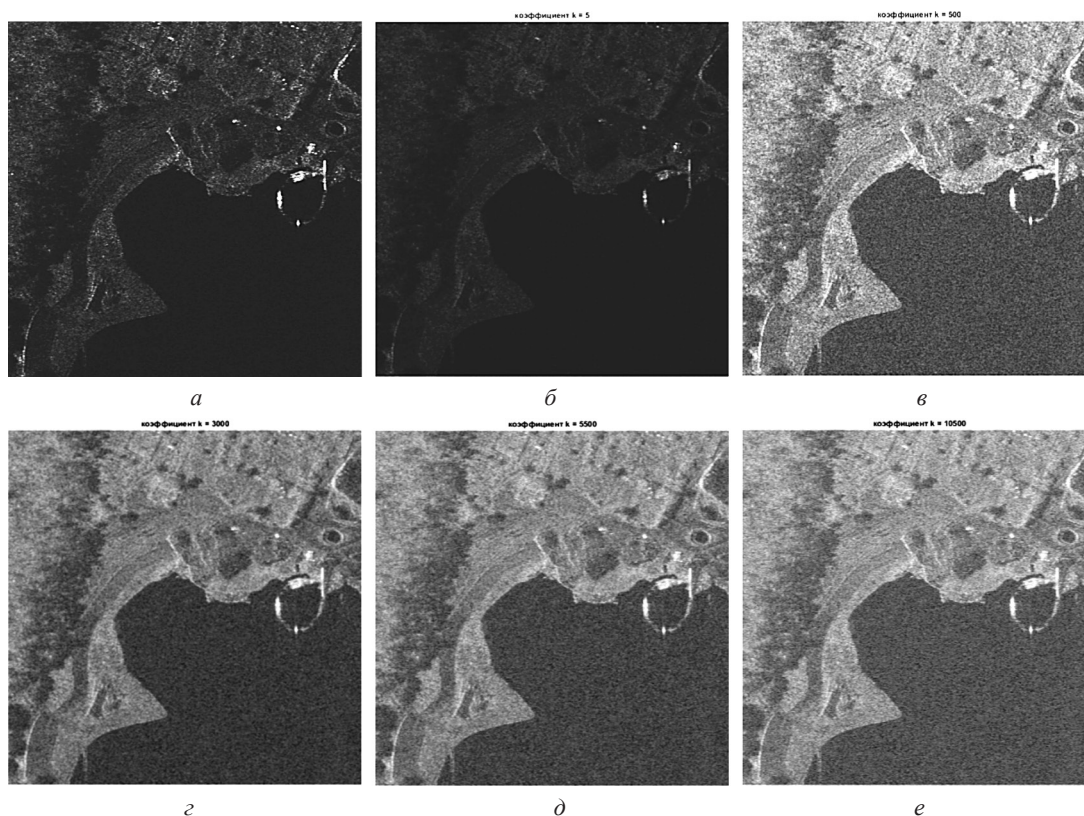


Рис. 3. *а* – исходное 16-битовое радарное изображение, медианное значение яркости изображения – 17; *б–е* – радарные изображения после μ -преобразования при значениях коэффициента k равным 5, 500, 3000, 5500, 10500 соответственно, медианные значения яркости изображений – 10, 85, 120, 129, 134, 137

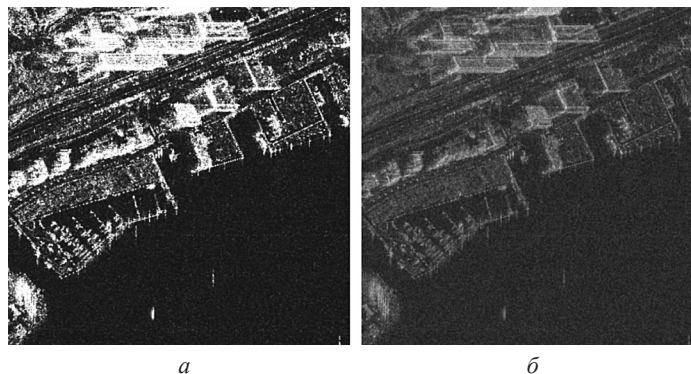


Рис. 4. *а* – исходное 16-битовое радарное изображение, медианное значение яркости – 49; *б* – результат μ -преобразования при $k = 8000$ (визуально наиболее контрастный), медианное значение яркости – 73

ное отклонение не целесообразно использовать в качестве количественной оценки результатов применения оператора Ашихмина к 16-битовым радарным снимкам.

Далее были проведены эксперименты, в которых в качестве оператора тонального сжатия использовалось μ -преобразование (1), основанное на μ -законе.

$$M(x) = 255 \ln(1 + kx) / \ln(1 + k), \quad (1)$$

где k – коэффициент, варьировавшийся от 50 до 20000. Коэффициент 255 необходим для растя-

жения преобразованного сигнала в восьмибитовое представление с последующим округлением до целых значений.

В телекоммуникационных приложениях μ -закон широко используется для сжатия аналогового сигнала [14]. На рис. 3 представлены исходное изображение и его варианты после μ -преобразования при разных коэффициентах k . Для отображения исходных 16-битовых радарных снимков в данной статье используется следующий подход – значения яркости больше 255, приравниваются к 255.

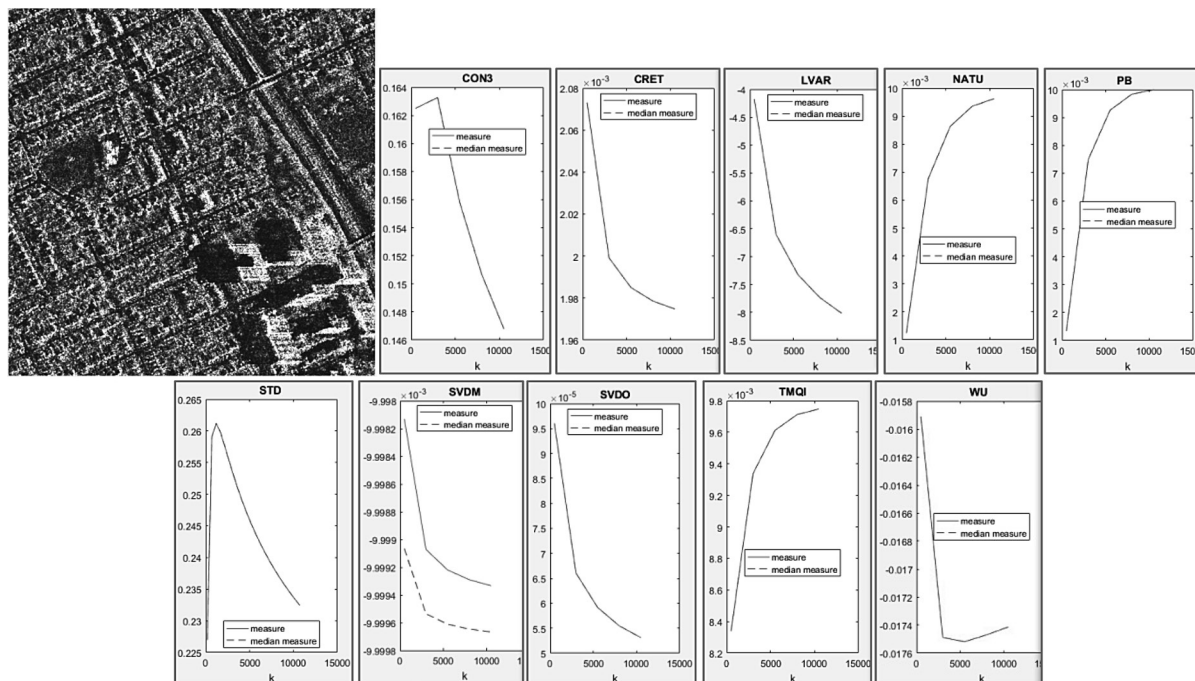


Рис. 5. Исходное 16-битовое радарное изображение (медианное значение яркости – 81) и графики зависимости значения коэффициента k (1) от значения мер качества

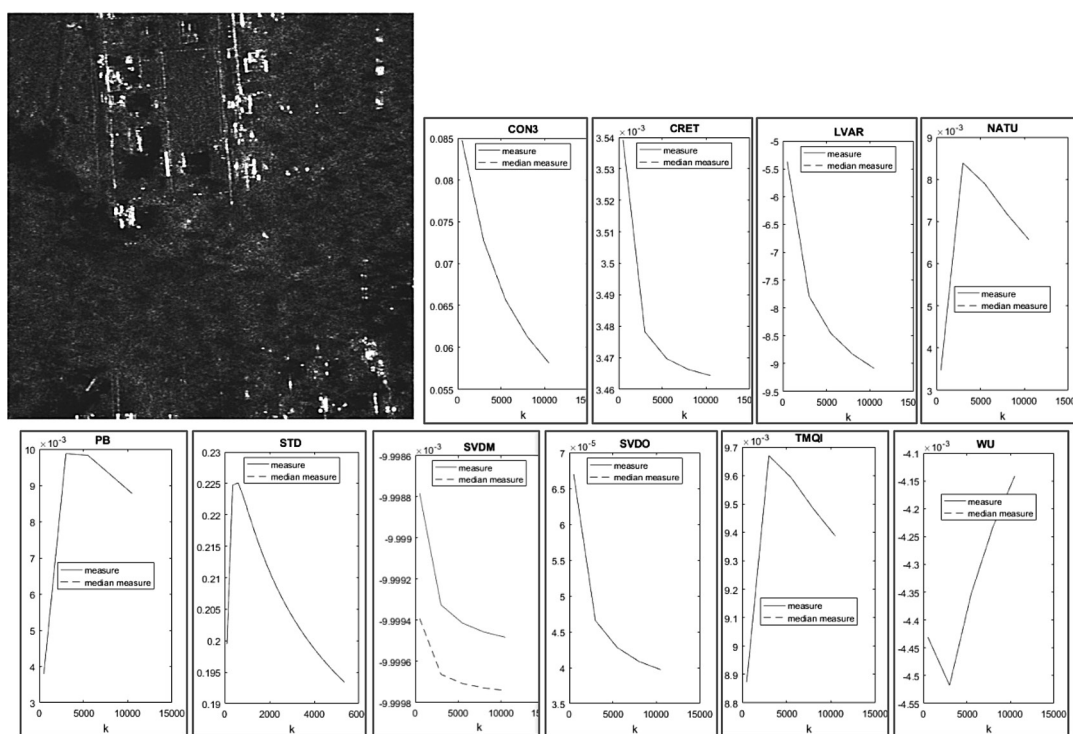


Рис. 6. Исходное 16-битовое радарное изображение (медианное значение яркости – 36) и графики зависимости значения коэффициента k (1) от значения мер качества

Изменяя значение коэффициента k , можно влиять на качество результирующего изображения. В данной группе изображений более качественным с визуальной точки зрения является изображение с коэффициентом k равным 3000. Однако для других изображений наилуч-

ший вариант, с точки зрения визуальной оценки, получается при других значениях k (рис. 4).

Для объективной оценки качества результатов μ -преобразования радарных снимков использовались: мера «натуральности» (NATU) [15], широко используемая в литературе для

оценки качества фотографий, и еще девять мер отобранных из предыдущих экспериментов (CON3, CRET, LVAR, PB, STD, SVDM, SVDO, TMQI, WU).

Исследования показали, что эти меры дают некорректные результаты при оценке радарных снимков (рис. 5–6, на графиках мер качества нет пиков одновременно для всех изображений).

Заключение

Проведенные эксперименты показали, что:

- глобальные (линейные) преобразования динамического диапазона яркости радарных снимков дают плохие результаты, т. к. 80–90% пикселей имеют значения в диапазоне [0–255];
- очень сложно визуально определить какой радарный снимок (после сжатия динамического диапазона при различных параметрах тонального оператора) лучше. Для оценки качества полученных результатов необходимы количественные (объективные) меры;

– не все существующие операторы преобразования динамического диапазона яркости и меры качества работают корректно на радарных снимках;

– применение гамма-коррекции не лучший вариант для выполнения сжатия динамического диапазона яркости радарных снимков;

– для радарных снимков наилучшими параметрами оператора Ашихмина являются следующие – размер фильтра Гаусса 20, порог яркости – 0,1;

– среднеквадратичное отклонение (STD) не подходит для объективной оценки результатов применения оператора Ашихмина к радарным снимкам;

– данные меры – CON3, CRET, LVAR, NATU, PB, STD, SVDM, SVDO, TMQI, WU, не достаточно эффективны для объективной оценки результатов сжатия диапазона яркости радарных снимков с использованием μ -преобразования (1).

Работа частично выполнена в рамках проекта БРФФИ Ф16СРБГ-004.

Литература

1. **Hoefflinger, B.** High-Dynamic-Range (HDR) Vision: Microelectronics, Image Processing, Computer Graphics / B. Hoefflinger // Springer Science & Business Media. – 16 февр. 2007 г. – 241 p.
2. **Ashikhmin, M.** A Tone Mapping Algorithm for High Contrast Images / M. Ashikhmin // Eurographics Workshop on Rendering. – 2002. – P. 1–11.
3. **Starovoirov, V.** Comparative Analysis of Some Dynamic Range Reduction Methods for SAR Image Visualization / V. Starovoirov // Pattern Recognition and Information Processing. – February 2017. – P. 63–76.
4. **Tumblin, J. et al.** Tone reproduction for realistic images / J. Tumblin, H. Rushmeier // IEEE Computer Graphics and Applications. – Nov. 1993. – Vol. 13, № 6. – P. 42–48.
5. **Ferwerda, J. A. et al.** An adaptation model for realistic image synthesis / J. A. Ferwerda, S. N. Pattanaik, P. Shirley, D. P. Greenberg // In SIGGRAPH '96 Proceedings. – P. 249–258.
6. **Stockham, T. G.** Image processing in the context of a visual model / T. G. Stockham // Proceedings of the IEEE. – July, 1972. – Vol. 60, № 7. – P. 828–842.
7. **Drago, F.** Adaptive Logarithmic Mapping For Displaying High Contrast Scenes / F. Drago, K. Myszkowski, T. Annen, N. Chiba // EUROGRAPHICS. – September, 2003. – Vol. 22, № 3. – P. 419–426.
8. **Gregory, W. et al.** A visibility matching tone reproduction operator for high dynamic range scenes / G. W. Larson, H. Rushmeier, C. Piatko // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. – Vol. 3, № 4. – Oct-Dec 1997. – P. 291–306.
9. **Fattal, R. et al.** Gradient Domain High Dynamic Range Compression / R. Fattal, D. Lischinski, M. Werman // Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, San Antonio, Texas. – July 23–26, 2002. – P. 249–256.
10. **Старовойтов, В. В.** Сравнительный анализ безэталонных мер оценки качества цифровых изображений / В. В. Старовойтов, Ф. В. Старовойтов // Системный анализ и прикладная информатика. – 2017. – № 1. – С. 24–32.
11. **Lambers, M.** Adaptive Dynamic Range Reduction for SAR Images / M. Lambers, A. Kolb // 7th European Conference on Synthetic Aperture Radar. – 2008. – P. 1–4.
12. **Mane, T.** Tone Mapping Methods: A Survey / T. Mane, S. S. Tamboli // International Conference on Recent Innovations in Engineering and Management. – 23 March 2016.
13. **Волков, А. В.** Методы оценки качества фильтрации цифровых изображений / А. В. Волков // Молодежный научно-технический вестник. – № 3. – Март 2014. – С. 1–7.
14. **ITU-R BT.709-5:** Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange, June 2015. <https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.709/en>.
15. **Yeganeh, H.** Objective quality assessment of tone-mapped images / H. Yeganeh, Z. Wang // IEEE Transactions on Image Processing. – 2013. – T. 22. – № 2. – С. 657–667.

References

1. **Hoeflinger, B.** High-Dynamic-Range (HDR) Vision: Microelectronics, Image Processing, Computer Graphics / B. Hoeflinger // Springer Science & Business Media. – 16 февр. 2007 г. – 241 p.
2. **Ashikhmin, M.** A Tone Mapping Algorithm for High Contrast Images / M. Ashikhmin // Eurographics Workshop on Rendering. – 2002. – P. 1–11.
3. **Starovoitov, V.** Comparative Analysis of Some Dynamic Range Reduction Methods for SAR Image Visualization / V. Starovoitov // Pattern Recognition and Information Processing. – February 2017. – P. 63–76.
4. **Tumblin, J. et al.** Tone reproduction for realistic images / J. Tumblin, H. Rushmeier // IEEE Computer Graphics and Applications. – Nov. 1993. – Vol. 13, № 6. – P. 42–48.
5. **Ferwerda, J. A. et al.** An adaptation model for realistic image synthesis / J. A. Ferwerda, S. N. Pattanaik, P. Shirley, D. P. Greenberg // In SIGGRAPH '96 Proceedings. – P. 249–258.
6. **Stockham, T. G.** Image processing in the context of a visual model / T. G. Stockham // Proceedings of the IEEE. – July, 1972. – Vol. 60, № 7. – P. 828–842.
7. **Drago, F.** Adaptive Logarithmic Mapping For Displaying High Contrast Scenes / F. Drago, K. Myszkowski, T. Annen, N. Chiba // EUROGRAPHICS. – September, 2003. – Vol. 22, № 3. – P. 419–426.
8. **Gregory, W. et al.** A visibility matching tone reproduction operator for high dynamic range scenes / G. W. Larson, H. Rushmeier, C. Piatko // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. – Vol. 3, № 4. – Oct-Dec 1997. – P. 291–306.
9. **Fattal, R. et al.** Gradient Domain High Dynamic Range Compression / R. Fattal, D. Lischinski, M. Werman // Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, San Antonio, Texas. – July 23–26, 2002. – P. 249–256.
10. **Starovoitov, V.** Comparative Analysis of Some Dynamic Range Reduction Methods for SAR Image Visualization / V. Starovoitov // Pattern Recognition and Information Processing. – February 2017. – P. 63–76.
11. **Lambers, M.** Adaptive Dynamic Range Reduction for SAR Images / M. Lambers, A. Kolb // 7th European Conference on Synthetic Aperture Radar. – 2008. – P. 1–4.
12. **Mane, T.** Tone Mapping Methods: A Survey / T. Mane, S. S. Tamboli // International Conference on Recent Innovations in Engineering and Management. – 23 March 2016.
13. **Volkov, A. V.** Methods for assessing the quality of image filtering / A. V. Volkov // Molodezhnyj nauchno-tehnicheskij vestnik. – № 3. – Mart 2014. – P. 1–7.
14. **ITU-R BT.709-5:** Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange, June 2015. <https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.709/en>.
15. **Yeganeh, H.** Objective quality assessment of tone-mapped images / H. Yeganeh, Z. Wang // IEEE Transactions on Image Processing. – 2013. – T. 22. – №. 2. – C. 657–667.

Поступила
22.01.2018

После доработки
02.03.2018

Принята к печати
15.03.2018

Y. I. Golub

COMPRESSION OF HIGH DYNAMIC RANGE OF SAR IMAGES

United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus

The paper presents results of our experiments on compression of the high dynamic range SAR images. The range is equal to 16-bit. Objectives of study were comparison of known approaches to compression of the high dynamic range images; selection of optimal parameters for compression algorithms, and selection of a no-reference measure for image quality assessment after compression. Tone-mapping transformations like gamma correction, Ashikhmin-operator, mu-transformation, as well as no-reference image quality assessment measures were tested. The results of the experiments are presented in the article.

It was concluded that further research and analysis of various functions and approaches to compression of dynamic range of SAR images is necessary, since including in the article approaches do not give stable and positive results on all SAR images. It was also concluded that after transformation 16-bit images, it is very difficult to estimate which image is better, and it is necessary to use no-reference image quality assessment measure.



Голуб Юлия Игоревна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник государственного научного учреждения «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси»,
E-mail: 6423506@gmail.com.

Yuliya I. Golub – PhD, Senior Research Fellow at the State Scientific Institution «United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus».
E-mail: 6423506@gmail.com.

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

INFORMATION SECURITY

К. О. ЗАХАРОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШИФРОВАНИЯ АЛГОРИТМА С ПЕРЕМЕННОЙ ФРАГМЕНТАЦИЕЙ БЛОКА

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева

В данной статье представлены рекомендации по подбору параметров алгоритма шифрования с переменной фрагментацией блока, разработанные на основе исследования полученных результатов работы алгоритма с различными параметрами шифрования (p и q). Исследование результатов работы алгоритма с переменной фрагментацией блока при выборе различных параметров проводится с использованием методик тестирования псевдослучайных последовательностей, включающих в себя статистические и графические тесты над зашифрованными последовательностями с использованием различных параметров в бинарном представлении. Статистический тест выбран из подборки тестов Д. Кнута, а именно проверка корреляции. В качестве графического тестирования проводилось построение k -граммного распределения. На основе результатов исследования работы алгоритма с различными параметрами шифрования (p и q), сформулированы следующие рекомендации по подбору параметров: p и q – взаимно-простые числа, разбиение последовательности на p -подблоки больше, чем разбиение на q -подблоки ($p > q$).

Ключевые слова: шифрование, алгоритм шифрования, тестирование псевдослучайных последовательностей, параметры шифрования, статистические тесты, графические тесты.

Введение

Как известно, в настоящее время активно развиваются методы криптоанализа и одновременно увеличивается быстродействие вычислительной техники. Это обуславливает необходимость дальнейшего совершенствования методов шифрования при передаче информации по открытым каналам [1].

Ранее был предложен алгоритм шифрования с динамическим изменением размеров крипто-

графических примитивов в различных раундах [2], в работе [3] была представлена модернизация данного алгоритма, полное описание алгоритма содержится в работе [2], на рис. 1 представлена схема шифрования данным алгоритмом.

Автор ставил задачу: сравнить результаты зашифрования по такому алгоритму с различными наборами значений параметров и выдать рекомендации для наиболее эффективного использования этого алгоритма.

Выбор наборов параметров для исследования алгоритма

Данный алгоритм исследуется впервые, поэтому рекомендации по подбору параметров шифрования отсутствуют. При исследовании параметров проводилось шифрование 3-х текстов, длина текста должна быть кратна 240 бит. Текст должен быть не слишком коротким и не слишком длинным, поэтому выбрана длина $240 \times 19 = 4560$ бит. Для шифрования использовались ключи длиной 240 бит разной степени стойкости. Стойкость ключа оценивалась по результатам проверки корреляции бит ключа

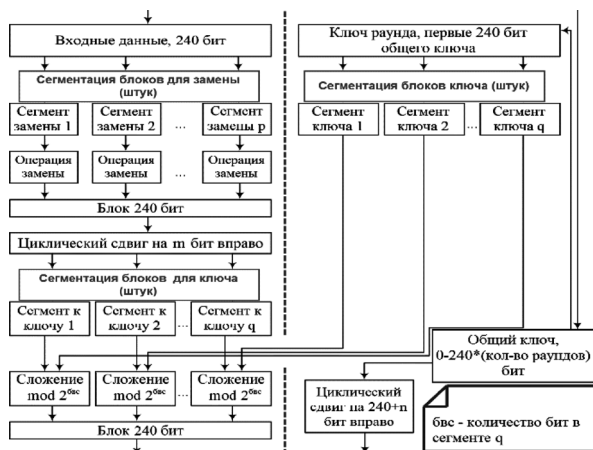


Рис. 1. Схема шифрования

Таблица

	Гр. параметров 1	Гр. параметров 2	Гр. параметров 3	Гр. параметров 4
1-й раунд	$(p = 4, q = 8)$	$(p = 8, q = 4)$	$(p = 4, q = 9)$	$(p = 9, q = 4)$
2-й раунд	$(p = 3, q = 12)$	$(p = 25, q = 5)$	$(p = 3, q = 8)$	$(p = 8, q = 3)$
3-й раунд	$(p = 2, q = 6)$	$(p = 12, q = 3)$	$(p = 5, q = 9)$	$(p = 9, q = 5)$
4-й раунд	$(p = 5, q = 10)$	$(p = 6, q = 2)$	$(p = 6, q = 11)$	$(p = 11, q = 6)$
5-й раунд	$(p = 6, q = 12)$	$(p = 12, q = 6)$	$(p = 7, q = 12)$	$(p = 13, q = 7)$
6-й раунд	$(p = 7, q = 14)$	$(p = 14, q = 7)$	$(p = 8, q = 13)$	$(p = 15, q = 8)$
7-й раунд	$(p = 8, q = 16)$	$(p = 8, q = 16)$	$(p = 2, q = 5)$	$(p = 17, q = 8)$
8-й раунд	$(p = 9, q = 18)$	$(p = 18, q = 9)$	$(p = 9, q = 17)$	$(p = 19, q = 9)$

[4], всего было использовано 7 ключей. С целью выявления параметров, обеспечивающих наиболее стойкое зашифрование, использовались группы параметров, представленные в таблице. Исследовались шифрованные последовательности, полученные на каждом раунде зашифрования.

Замены в каждом раунде предлагается проводить по таблицам с нулевыми коэффициентами корреляции между каждым входным и каждым выходным битами. Выбор конкретной таблицы соответствующего размера в каждом раунде предпочтительно сделать секретным.

Все группы параметров можно классифицировать по таким характеристикам как:

- взаимно-простые p и q или кратные p и q ;
- $p > q$ или $p < q$.

Исследование параметров алгоритма шифрования с переменной фрагментацией блока

Исследование параметров шифрования алгоритма с переменной фрагментацией блока проводилось на основании результатов графических и статистических тестов. Проводилось тестирование шифрованных последовательностей каждого текста, полученных в результате шифрования с использованием каждой группы параметров (табл. 1), каждого ключа.

Для анализа качества и изменения свойств шифруемой последовательности использовался

показательный тест, а именно построили k -граммное распределение. Данный тест позволяет определять равномерность распределения символов в исследуемой последовательности на основе анализа частоты появления серий, состоящих из k бит. В исследовании было выбрано $k = 3$, определена равномерность распределения серии символов: 000, 001, 010, 100, 110, 011, 111. Для последовательности, чьи свойства близки к свойствам случайной последовательности, разбросы между числом появлений серий каждого вида должны стремиться к нулю [5], в открытом тексте не наблюдается равномерного распределения серии символов. Для проведения данного тестирования было проведено пять раундов шифрования открытого текста каждой группой параметров шифрования и построены графики равномерного распределения, подробные результаты представлены в [4]. На рис. 2 представлен график распределения серий в шифрованной последовательности после 5 раундов шифрования, с использованием второй группы параметров.

Проведем сравнение графика распределения серий в шифрованной последовательности после 5-ти раундов шифрования с использованием второй группы параметров (рис. 2) с графиком распределения серий в шифрованной последовательности после 5-ти раундов шифрования с использованием четвертой группы параметров шифрования, представленным на рис. 3.

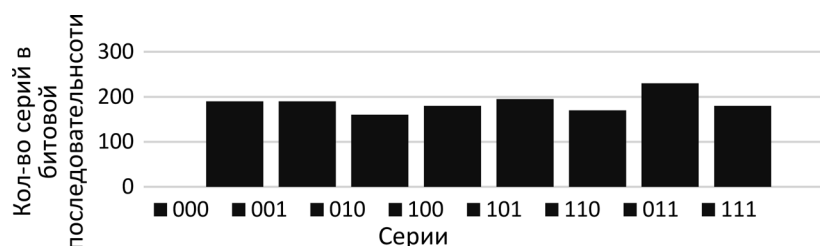


Рис. 2. Распределение серий в шифрованной последовательности второй группой параметров после 5-го раунда

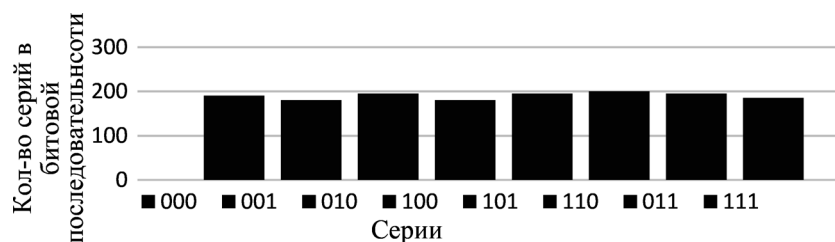


Рис. 3. Распределение серий в шифрованной последовательности четвертой группой параметров после 5-го раунда

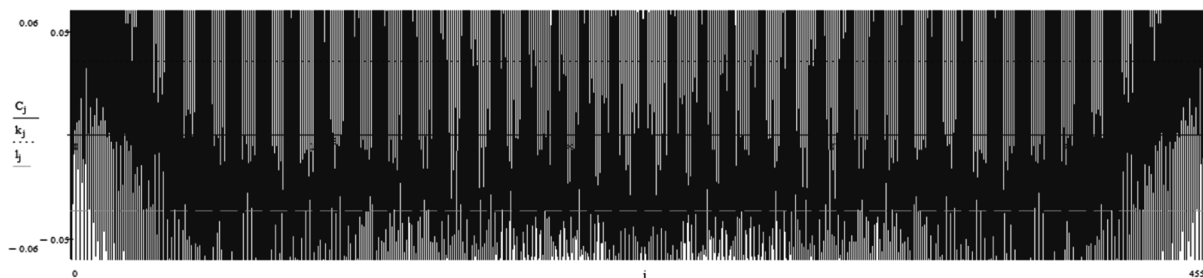


Рис. 4. График зависимости бит исходного текста

Проведя сравнительный анализ графиков, представленных на рис. 2 и рис. 3, можно сделать вывод, что свойства последовательности, полученной четвертой группой шифрования, близки к свойствам случайной последовательности, это означает что злоумышленнику будет затруднительно восстановить открытый текст из зашифрованной последовательности.

Для анализа качества шифрованных последовательностей был использован статистический тест из подборки Д. Кнута. Данный тест проверяет взаимонезависимость элементов последовательности.

Пусть $\varepsilon = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \dots \varepsilon_n$ – последовательность m -разрядных чисел длины n . Вычисляется статистика по формуле 1.

$$C_j = \left(n(\varepsilon_0 \varepsilon_j + \varepsilon_1 \varepsilon_{(1+j) \bmod n} + \dots + \varepsilon_{n-2} \varepsilon_{(n-2+j) \bmod n} + \varepsilon_{n-1} \varepsilon_{(n-1+j) \bmod n}) - (\varepsilon_0 + \varepsilon_1 + \dots + \varepsilon_{n-1})^2 \right) / \left(n(\varepsilon_0^2 + \varepsilon_1^2 + \dots + \varepsilon_{n-1}^2) - (\varepsilon_0 + \varepsilon_1 + \dots + \varepsilon_{n-1})^2 \right). \quad (1)$$

Для любого j значение C_j должно лежать в интервале

$$[\mu_n - 2,43\sigma_n; \mu_n + 2,43\sigma_n],$$

$$\text{где } \sigma^2 = \frac{n^2}{(n-1)^2(n-2)} \quad [5].$$

В данном исследовании используется анализ бинарных последовательностей длиной 4560 бит. Диапазон вычисляемых значений при тестировании принимает значения: $[-0,036224;$

$0,035786]$. Результат тестирования отображается в виде графика (рис. 4), на котором отображены границы вычисляемых значений тестирования. На графике границы диапазона выделены пунктиром, за пределы которого график не должен выходить, k_j – верхняя граница диапазона, l_j – нижняя граница диапазона. Выход графика за границы диапазона показывает, что прослеживается связь между битами последовательности, которая может позволить злоумышленнику вычислить открытый текст.

На рис. 4 представлен график результатов тестирования одного из исходных текстов.

Как видно по графику, представленному на рис. 4, наблюдается полная зависимость бит в открытой исходной последовательности – тест не пройден, злоумышленник легко может восстановить исходный текст из битовой последовательности.

В данной статье представлен результат проведения теста на взаимонезависимость бит шифрованной последовательности, полученной при шифровании сильным ключом K_2 , это доказано проведением тестирования ключа [4]. На рис. 5 представлен график взаимонезависимости бит шифрованной последовательности после одного раунда шифрования с использованием четвертой группы параметров и ключа K_2 , заметно что результат тестирования шифрованной последовательности сильным ключом уже после проведения одного раунда шифрования, с использованием рекомендуемых параметров, можно считать успешным и на данном

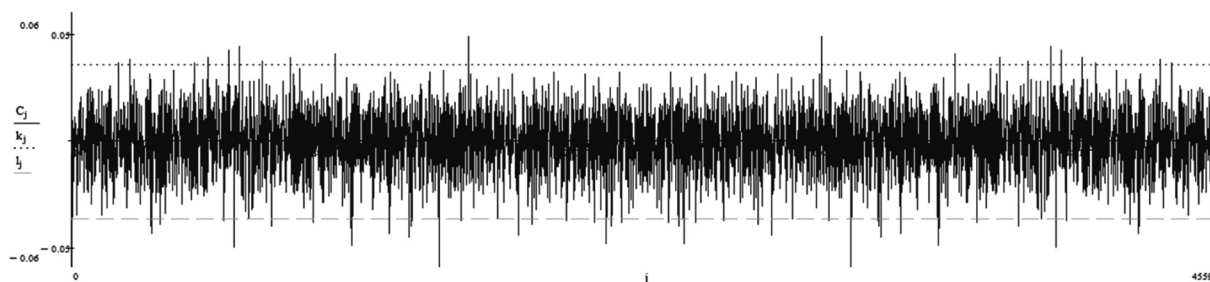


Рис. 5. Результат тестирования шифрованной последовательности ключом K_2

этапе можно предположить, что связи, просматриваемые на графике (рис. 5), аномальные. При проведении 8-ми раундов шифрования с использованием четвертой группы параметров, связей между битами в шифрованных последовательностях не прослеживается [4].

Сравнивая результаты тестирования всех шифрованных последовательностей на разных раундах [4] можно сделать вывод, что применение четвертой группы параметров для шифрования обеспечивает наиболее стойкий результат работы алгоритма. При использовании четвертой группы параметров шифрования равномерное распределения серий в шифрованной последовательности достигается за меньшее количество проведения раундов шифрования. В четвертой группе параметров выбраны такие p и q , что $p > q$ и они взаимно-простые.

Заключение

По результатам исследования параметров алгоритма симметричного шифрования с пе-

ременной фрагментацией блоков, можно сделать вывод, что данный алгоритм имеет более высокие результаты тестирования при выборе параметров таким образом, чтобы параметр разбиения блоков исходной битовой последовательности при шифровании на p -подблоки был больше параметра разбиения битовой последовательности на q -подблоки – ($p > q$), при этом параметры q и p взаимно-простые. Таким образом, можно сделать вывод, что при выборе параметров шифрования для алгоритма с переменной фрагментацией блока нужно учитывать, что увеличение количества разбиения блоков исходной битовой последовательности при шифровании на p -подблоков улучшает результат шифрования. Высокие показатели результатов тестирования алгоритма шифрования с переменной фрагментацией блоков указывают на то, что данный алгоритм может быть использован в различных областях, где требуется шифрование данных.

Литература

1. **Возможности** использования метода результативного искажения при создании сложных технических систем в высокотехнологичных отраслях промышленности / С. Б. Коршиков, М. Н. Терентьев, М. Н. Мусолов // Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 47.
2. **Жданов О. Н., Соколов А. В.** Алгоритм шифрования с переменной фрагментацией блока. Проблемы и достижения в науке и технике / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 2. Инновационный центр развития образования и науки – Омск, 2015. – С. 153–159.
3. **Zhdanov O. N., Sokolov A. V.** Block symmetric cryptographic algorithm based on principles of variable block length and many-valued logic. / Far East Journal of Electronics and Communications – 2016 Pushpa Publishing House, Allahabad, India – Pages 573–589.
4. **Захарова К. О.**, Методика тестирования алгоритма с переменной фрагментацией блока. [Электронный ресурс] GoogleDrive. URL: <https://drive.google.com/open?id=1-RwL2aVF5MHknqnJjYdyAx9CG-MbXB4Q>.
5. **Иванов, М. А.** Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей / М. А. Иванов, И. В. Чугунков. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003. – 240 с.
6. **Grosek O.**, Why use bijective S-boxes in GOST-algorithm. / O. Grosek, K. Nemoga, M. Zanechal // <http://www.mat.savba.sk> – Slovak Academy of Sciences, Bratislava, 1998, 13 с.
7. **Елемесов К. К., Утепова Э. О.** О перспективах и возможной области применения криптоалгоритма Жданова-Соколова. Информационные и телекоммуникационные технологии: образование, наука, практика / Сборник научных трудов по итогам II международной научно-практической конференции. Том II. – Казахстан: Алматы. КазНУ имени К. И. Сатпаева, 2015. – С. 110–112.

References

1. **Possibilities** of use of a method of productive distortion during creation of difficult technical systems in high-tech industries of the industry. S. B. Korshikov, M. N. Terentyev, M. N. Musolov. The Trudy MAI Online magazine. Release No. 47
2. **Zhdanov O. N., Sokolov A. V.** The encryption algorithm from a variable of fragmentations of the unit. Problems and achievements in science and the technique. Collection of scientific works following the results of the international scientific and practical conference. No. 2. Innovative center of development of education and science – Omsk, 2015. – With 153–159.
3. **Zhdanov O. N., Sokolov A. V.** Block symmetric cryptographic algorithm based on principles of variable block length and many-valued logic. / Far East Journal of Electronics and Communications – 2016 Pushpa Publishing House, Allahabad, India – Pages 573–589.
4. **Zaharova K. O.**, Methodology for testing the algorithm with variable block fragmentation. [Elektronnyj resurs] GoogleDrive. URL: <https://drive.google.com/open?id=1-RwL2aVF5MHknqnJjYdyAx9CG-MbXB4Q>.
5. **Ivanov, M. A.** Theory, application and assessment of quality of generators of the pseudorandom sequences. M. A. Ivanov, I. V. Chugunkov. – M.: KUDITs-OBRAZ, 2003. – 240 pages.
6. **Grosek O.**, Why use bijective S-boxes in GOST-algorithm. / O. Grosek, K. Nemoga, M. Zanechal // <http://www.mat.savba.sk> – Slovak Academy of Sciences, Bratislava, 1998, 13 c.
7. **Elemesov K. K., Utepova E. O.** On the prospects and possible scope of the Zhdanov-Sokolov crypto algorithm. Information and telecommunication technologies: education, science, practice / Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. Volume II. – Kazakhstan, Almaty. KazNITU named after K. I. Satpayev, 2015. – P. 110–112.

Поступила
21.08.2017

После доработки
22.12.2017

Принята к печати
15.03.2018

Zakharova K. O.

RESEARCH OF PARAMETERS OF ENCODING OF THE ALGORITHM WITH VARIABLE FRAGMENTATION OF THE UNIT

This article presents recommendations on the selection of parameters of the encryption algorithm with variable fragmentation of the block, developed on the basis of a study of the obtained results of the algorithm with different encryption parameters (p and q). The investigation of the algorithm's work with variable block fragmentation in the selection of various parameters is performed using pseudorandom sequence testing techniques, including statistical and graphical tests on encrypted sequences using various parameters in a binary representation. The statistical test is selected from a selection of D. Knuth tests, namely the correlation check. As a graphic test, we constructed a k -gram distribution. Based on the results of the study of the operation of the algorithm with various encryption parameters (p and q), the following recommendations for the selection of parameters are formulated: p and q are mutually prime numbers, the partition of the sequence into p -subblocks is greater than the partition into q -subblocks ($p > q$).

Keywords: encryption, encryption algorithm, pseudo-random sequences testing, encryption parameters, static tests, graphic tests.



Захарова Ксения Олеговна – магистрант, Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева.

Zakharova Ksenia Olegovna – is the master, the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology.

E-mail: Zakharovako@gmail.com.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION

УДК 808.2: 159.937

М. В. МАКАРИЧ

ПРИМЕНЕНИЕ ITEM RESPONSE THEORY ДЛЯ ОЦЕНКИ ЯЗЫКОВОГО ТЕСТА

Белорусский национальный технический университет

На современном этапе языковое тестирование является одним из разделов прикладной лингвистики и занимается определением уровня владения родным либо иностранным языком не только в учебных заведениях, но и при приёме на работу и получении гражданства. Целью предлагаемой работы является апробация Item Response Theory (IRT) для оценки языкового теста. В статье дается краткий исторический обзор методов оценки способностей и свойств личности. Приводятся фундаментальные принципы, положенные в основу стандартизации процедуры проведения тестирования, разработанные основоположником современной тестологии Дж. Кеттелом. Авторы дают подробное описание основных принципов классической теории тестов и ее современной интерпретации IRT, главной задачей которой является определение истинного тестового балла испытуемого, который зависит от многих условий – уровня трудности заданий, уровня подготовленности испытуемых, количества заданий и условий проведения тестирования. В статье авторы предлагают вариант использования IRT для оценки качества языкового теста, используемого в процессе контроля лексико-грамматических навыков по английскому языку. «Лингводидактический тест» рассматривается как классический тест, соответствующий четырем основным принципам, описанным В. А. Коккотой. В работе подробно описывается методика оценки качества языкового теста с использованием IRT.

Ключевые слова: языковой тест, классическая теория тестов, Item Response Theory (IRT), параллельные и эквивалентные тесты.

Введение

Появление первых тестов относится к концу XIX – началу XX века. Родоначальником тестового движения считается известный английский ученый Френсис Гальтон. Хотя не все испытания Гальтона можно назвать тестами с позиции сегодняшнего дня, он сделал первый шаг на пути создания объективных методов оценки способностей и свойств личности [1]. Основоположником современной тестологии принято считать Дж. Кеттела. Он впервые ввел термин «умственные тесты» и сформулировал фундаментальные принципы, положенные в основу стандартизации процедуры проведения тестирования [2]. Рассматривая использование тестов в процессе обучения иностранным языкам, следует отметить, что сам термин «лингводидактический тест» был введен В. А. Коккотой, который соотносит лингводидактический тест со следующим комплексом заданий [3]:

1) задания, подготовленные в соответствии с определенными лингвистическими требованиями;

2) задания, прошедшие предварительную апробацию с целью выявления показателей качества;

3) задания, позволяющие определить у тестируемых степень их языковой (лингвистической) и/или речевой (коммуникативной) компетенции;

4) задания, результаты которых поддаются определенной оценке по заранее установленным критериям.

Данные дидактические принципы и сегодня являются основополагающими в процессе создания, апробации и оценки языковых тестов.

Постановка проблемы

На современном этапе языковое тестирование является одним из разделов прикладной лингвистики и занимается определением уровня владения родным либо иностранным языком не только в учебных заведениях, но и при приёме на работу и получении гражданства. Фундаментальные основы данного научного направления, сконцентрированного на систематизации эмпирических данных, были заложены

создателем классической теории тестов (Classical Theory of mental tests) известным британским психологом Чарльзом Эдвардом Спирменом (1863–1945). Данная теория основывается на следующих пяти основных положениях [4]:

1. Эмпирически полученный результат измерения (X) представляет собой сумму истинного результата измерения (T) и ошибки измерения (E):

$$X = T + E.$$

2. Истинный результат измерения можно выразить как математическое ожидание $E(X)$:

$$T = E(X).$$

3. Корреляция истинных и ошибочных компонентов по множеству испытуемых равна нулю, то есть $\rho TE = 0$.

4. Ошибочные компоненты двух любых тестов не коррелируют:

$$\rho E_1, E_2 = 0.$$

5. Ошибочные компоненты одного теста не коррелируют с истинными компонентами любого другого теста:

$$\rho E_1, T_2 = 0.$$

Кроме этого, основу классической теории тестов составляют два определения – *параллельных* и *эквивалентных* тестов. *Параллельные тесты* должны соответствовать требованиям (1–4), то есть истинные компоненты одного параллельного теста T_1 должны быть равны истинным компонентам другого – T_2 в каждой выборке испытуемых, отвечающих на оба теста. Предполагается, что $T_1 = T_2$. *Эквивалентные тесты* должны соответствовать всем требованиям параллельных тестов за исключением одного: истинные компоненты одного теста не обязательно должны равняться истинным компонентам другого параллельного теста, но отличаться они должны на одну и ту же константу c :

$$T_1 = T_2 + c_{12}$$

где c_{12} – константа различий результатов первого и второго тестов.

В классической теории тестов важнейшей проблемой является определение истинного тестового балла испытуемого (T). Эмпирический тестовый балл (X) зависит от многих условий – уровня трудности заданий, уровня подготовленности испытуемых, количества за-

даний, условий проведения тестирования и т. д. В этой связи возникает вопрос о возможности создания такого языкового теста, который можно было бы рассматривать не только как средство педагогического контроля, но и как средство измерений, представляющее собой систему тестовых заданий возрастающей трудности и специфической формы, который позволит надежно и объективно определить уровень усвоения знаний, сформированности языковых навыков и умений испытуемых и выразить результат в числовом эквиваленте. Другими словами возможность интерпретации числового результата теста позволяет адекватно оценить информативную валидность теста с тем, чтобы при необходимости произвести необходимую доработку тестовых заданий.

В современной практике тестирования анализ результатов теста проводится на основе «Item Response Theory» (IRT), современной интерпретации классической теории тестов. IRT является частью более общей теории латентно-структурного анализа Георга Раша – Rasch measurement [5]. На русский язык название «Item Response Theory» переводится различным образом. Ю. Нейман и В. Хлебников предлагают называть ее «Теория моделирования и параметризации педагогических тестов» (ТМППТ) [6]. Теория IRT обладает рядом преимуществ перед классической теорией тестов [7]:

1) превращает измерения, выполненные в дихотомических и порядковых шкалах, в линейные измерения, в результате чего качественные данные анализируются с помощью количественных методов;

2) мера измерения параметров является линейной, что позволяет использовать широкий спектр статистических процедур для анализа результатов измерений;

3) оценка трудности тестовых заданий не зависит от выборки испытуемых, на которых она была получена;

4) оценка уровня подготовленности испытуемых не зависит от используемого набора тестовых заданий;

5) неполнота данных (пропуск некоторых комбинаций: испытуемый – тестовое задание) не является критичным.

Полный перечень преимуществ модели IRT приведен в работе «Constructing Measures: An Item Response Modeling Approach» [8].

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящей работе приводится методика применения IRT для оценки качества тестовых заданий по английскому языку. Эксперимент проводился на кафедре английского языка № 2 БНТУ. Участники эксперимента – студенты 1 курса факультета энергетического строительства. Материалом для исследования послужили тесты для контроля лексико-грам-матических навыков, созданные в соответствии с учебной программой УО РБ [9].

На начальном этапе строится бинарная матрица результатов тестирования (табл. 1).

Таблица 1. Бинарная матрица (11×9)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Шкурко	0	0	1	0	1	0	1	1	1
2. Скобялко	1	0	0	1	1	0	0	1	1
3. Руль	0	0	0	0	0	1	0	1	0
4. Сергейчик	0	0	0	0	1	0	1	0	1
5. Косько	1	0	0	0	1	0	0	1	0
6. Шнягина	1	1	1	0	0	0	1	1	1
7. Чулада	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8. Ивашкевич	1	0	1	1	0	1	1	1	1
9. Толстикова	0	0	0	0	0	0	1	1	0
10. Кайрович	1	0	1	0	1	1	1	1	1
11. Федкович	1	1	1	0	1	1	1	1	1

Матрица состоит векторов-строк, содержащих значения индикатора для испытуемого. Профиль испытуемого – это последовательность значений индикатора в упорядоченной матрице тестовых результатов. В дихотомическом случае ответы испытуемого характеризуются двумя символами (цифрами) – 0 и 1. Нулю соответствует неверный ответ, единице – верный ответ.

Для дальнейшего анализа, нам потребуются значения X_i – индивидуального балла i -го испытуемого, количество верных ответов R_j на j -е задание. В табл. 2 приведены вычисленные значения X_i и R_j .

Таблица 2. Бинарная матрица (11×9) с индивидуальными тестовыми баллами испытуемых

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X_i
1. Шкурко	0	0	1	0	1	0	1	1	1	5
2. Скобялко	1	0	0	1	1	0	0	1	1	4
3. Руль	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
4. Сергейчик	0	0	0	0	1	0	1	0	1	4
5. Косько	1	0	0	0	1	0	0	1	0	3

Окончание табл. 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X_i
6. Шнягина	1	1	1	0	0	0	1	1	1	6
7. Чулада	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
8. Ивашкев.	1	0	1	1	0	1	1	1	1	7
9. Толстиков	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2
10. Кайрович	1	0	1	0	1	1	1	1	1	7
11. Федков	1	1	1	0	1	1	1	1	1	8
R_j	6	3	6	2	7	5	8	9	8	55

Следует отметить, что если какое-либо задание успешно выполнили все испытуемые, его необходимо удалить из теста, так как оно не позволяет дифференцировать студентов и тест не может считаться нормативно-ориентированным. Соответственно, если бы на какое-то задание не ответил ни один испытуемый ($R_j = 0$), то это задание тоже должно быть удалено из теста.

Далее рассчитываем количество неверных ответов W_j на j -е задание, долю верных ответов p_j и долю неверных ответов q_j .

$$X_i = \sum_{j=1}^M a_{ij} n.$$

В нашем случае ($M = 9$) индивидуальный тестовый балл, например, для второго испытуемого ($i = 2$) равен:

$$X_2 = \sum_{j=1}^9 a_{2j} = a_{21} + a_{22} + a_{23} + \dots + a_{29} = 1 + 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 + 1 + 1 = 4,$$

$$R_j = \sum_{i=1}^N a_{ij},$$

$$W_j = N - R_j.$$

В нашем случае ($N = 11$) для третьего задания ($j = 3$) получаем:

$$R_3 = \sum_{i=1}^{11} a_{i3} = a_{13} + a_{23} + \dots + a_{113} = 1 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1 + 1 + 1 + 0 + 1 + 1 = 6,$$

$$W_3 = 11 - R_3 = 11 - 6 = 5.$$

Доля верных ответов на p_j на j -е задание равна:

$$p_j = \frac{R_j}{N},$$

где p_j – мера трудности задания. Доля неверных ответов равна:

$$q_j = 1 - p_j.$$

В нашем случае для третьего задания получим:

$$p_3 = \frac{R_3}{N} = \frac{6}{11} = 0,545,$$

$$q_3 = 1 - p_3 = 1 - 0,545 = 0,455.$$

В табл. 3 приведены расчетные значения, W_j , p_j , q_j . Для удобства визуального анализа фамилии испытуемых заменены номерами.

Таблица 3. Показатели меры трудности заданий теста

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X_i
1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	5
2	1	0	0	1	1	0	0	1	1	4
3	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
4	0	0	0	0	1	0	1	0	1	4
5	1	0	0	0	1	0	0	1	0	3
6	1	1	1	0	0	0	1	1	1	6
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
8	1	0	1	1	0	1	1	1	1	7
9	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2
10	1	0	1	0	1	1	1	1	1	7
11	1	1	1	0	1	1	1	1	1	8
R_j	6	3	4	2	7	5	8	9	8	55
W_j	3	3	5	5	3	5	2	2	2	
p_j	0,6	0,3	0,4	0,2	0,7	0,5	0,8	0,9	0,8	
q_j	0,3	0,3	0,5	0,5	0,3	0,5	0,2	0,2	0,2	
	0,18	0,09	0,2	0,1	0,21	0,25	0,16	0,18	0,16	

Важным параметром тестового задания является вариация (дисперсия) тестовых баллов p_j , q_j . Чем больше вариация, тем лучше задание дифференцирует испытуемых. В табл. 3 последняя строка отражает зависимость вариации тестовых баллов от трудности задания. На рис. 1 приведен график зависимости вариации тестовых баллов от трудности задания. Видно, что максимальное значение, равное 0,25 достигается при $p_j = 0,5$. При $p_j = 0$ и $p_j = 1$ дисперсия задания равна нулю. Таким образом, если на задание не ответил ни один испытуемый или успешно ответили все, то задание не может их дифференцировать по уровню подготовленности.

Результаты нормативно-ориентированного тестирования при больших выборках обычно имеют распределение, близкое к нормальному



Рис. 1. Зависимость вариации тестовых баллов от трудности задания

(закон Гаусса). Другими словами эмпирическая кривая, полученная нами по результатам эксперимента соответствует нормальному закону распределения, что позволяет считать рассматриваемый языковой тест нормативно-ориентированным: тест хорошо дифференцирует испытуемых и их индивидуальные тестовые баллы в достаточной степени отличаются друг от друга. В случае отклонения полученной кривой от кривой Гаусса, задания исследуемого теста подлежат доработке.

Заключение

Предложенная нами методика оценки качества языкового теста основана на классической теории тестов и может быть использована преподавателями иностранных языков для создания нормативно-ориентированных тестов с тем, чтобы объективно оценить уровень лексико-грамматических навыков обучаемых. Основные этапы данной методики: построение бинарной матрицы результатов тестирования исследуемого теста, отражающей профили испытуемых; вычисление значений X_i – индивидуального балла каждого испытуемого, R_j – количества верных ответов на каждое задание, W_j – количества неверных ответов, p_j – доли верных ответов, q_j – доли неверных ответов; построение графика зависимости вариации тестовых баллов от трудности задания для сопоставления его с кривой Гаусса.

Литература

1. Аванесов, В. С. Проблема психологических тестов / В. С. Аванесов // Вопросы психологии, 1978. – № 5. – С. 97–107.
2. Drevdahl, J. E. Personality and Creativity in Artists and Writers / J. E. Drevdahl, R. B. Cattell // Journ. of Clinical Psychology, 1958. – vol. XIV. – N 2.
3. Коккота, В. А. Лингводидактическое тестирование / В. А. Коккота. – М.: Высш. шк., 1989. – 130 с.

4. **Crocker, L.** Introduction to Classical and Modern Test Theory / L. Crocker, J. Algina. – New-York: Holt, Rinehart and Wilson, 1986. – 527 p.
5. **Rasch, G.** Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests / G. Rash. – Copenhagen, 1960, Danish Institute of Educational Research. (Expanded edition, Chicago, 1980, The University of Chicago Press).
6. **Нейман, Ю. М.** Введение в теорию моделирования и параметризации педагогических тестов / Ю. М. Нейман, В. А. Хлебников. – М.: Прометей, 2000. – 169 с.
7. **Маслак, А. А.** Измерение латентных переменных в социально-экономических системах: Монография. – Славянск-на-Кубани: Изд. центр СГПИ, 2006. – 333 с.
8. **Wilson, M.** Constructing Measures: An Item Response Modeling Approach / M. Wilson. – Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum associates, 2005. – 228 p.
9. **Мартысюк, Н. П.** Английский язык: пособие-репетитор для подготовки к централизованному тестированию / Н. П. Мартысюк, Т. Н. Руденко. – 2-е изд. – Минск: Аверсэв, 2012. – 415 с.

References

1. **Avanesov, V. S.** The problem of psychological tests B. C. / V. S. Avanesov // The issues of psychology, 1978. – № 5. – P. 97–107.
2. **Drevdahl J. E., Cattell R. B.** Personality and Creativity in Artists and Writers. – Journ. of Clinical Psychology; April, 1958, vol. XIV, N 2.
3. **Kockota V. A.** Language testing / V. A. Kockota. – М.: Vys. shk., 1989. – 130 p.
4. **Crocker, L.** Introduction to Classical and Modern Test Theory / L. Crocker, J. Algina. – New-York: Holt, Rinehart and Wilson, 1986. – 527 p.
5. **Rasch, G.** Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests / G. Rash. – Co-pen-hagen, 1960, Danish Institute of Educational Research. (Expanded edition, Chicago, 1980, The University of Chicago Press).
6. **Neiman, Y. M.** Preamble for modeling test theory and test parameterization in pedagogy / Y. M. Neiman, V. A. Chlebnikov. – М.: Prometey, 2000. – 169 p.
7. **Maslak, A. A.** Measuring of latent variables in social economic systems: Monograph / A. A. Maslak. – Slavyansk-na-Kubany: Publishing centre SGPI, 2006. – 333 p.
8. **Wilson, M.** Constructing Measures: An Item Response Modeling Approach / M. Wilson. – Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum associates, 2005. – 228 p.
9. **Martyssyk, N. P.** English language: special training for testing / N. P. Martyssyk, T. N. Rudenko. – 2-nd edit. – Minsk: Aversev, 2012. – 415p.

Поступила
18.12.2017

После доработки
20.12.2017

Принята к печати
15.03.2018

Makarych M. V.

ITEM RESPONSE THEORY AS A TOOL FOR THE ESTIMATION OF A LANGUAGE TEST

Belarusian National Technical University

Being a part of applied linguistics a language test plays an important role in a modern society. It is used for evaluating person's language skills not only at educational establishments but also while acquiring citizenship or getting a job. The purpose of the article is the development of a special technique for language test estimation using Item Response Theory (IRT). Short historical review of methods for learning ability estimation is represented. Fundamental principles of Classical and Modern Test Theory is described. The author considers a linguodidactical test as a classical test that patterns four main principles by Kockota V. A. The methodology for the evaluation process of English linguodidactical test with the help of IRT is described in details. Such a linguodidactical test will take into account the level of tasks difficulty, the total amount of tasks, the level of person's knowledge and testing conditions. This methodology helps to create a test that can assess the real grade of a person being tested.

Keywords: *a language test, Item Response Theory, Classical and Modern Test Theory.*

**Макарич Марина Васильевна**

Минский р-н, п. Валерьяново, ул. Янтарная, д. 13.

Тел. дом. (017) 510 92 28, тел. моб. + 37529 634 99 29.

E-mail: 2348843@tut.by.

Доцент кафедры английского языка № 2 БНТУ, кандидат филологических наук (специальность 10.02.21 – прикладная и математическая лингвистика), доцент. Также имеет диплом БНТУ (БПИ, факультет роботов) по специальности – автоматизация и комплексная механизация машиностроения. Научные интересы: педагогический аспект технического образования и лингвистическое обеспечение информационных систем.

Makarych Marina, Associate Professor of the 2nd English Department of the Belarusian National Technical University, PhD in Applied and mathematical linguistics. In addition she has B. Sc. in robotics.

E-mail: 2348843@tut.by.

Her scientific interests focus on engineering education and interdisciplinary education that combines linguistics and computer science.

УДК 004.42

Ю. Б. ПОПОВА, А. В. ГОЛОБУРДА

АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАГИАТА В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ

Белорусский национальный технический университет

Основное преимущество применения информационных технологий в образовании, заключающееся в ускорении и упрощении обмена информацией, одновременно является его недостатком, поскольку порождает проблему плагиата. Целью данной работы является разработка программного обеспечения для проверки текста на уникальность в системах управления обучением. Для достижения указанной цели необходимо решить круг задач, связанных с выбором метода определения плагиата, его алгоритмизацией и программной реализацией. В работе рассматриваются методы шинглов, супершинглов, сигнатурные методы, векторные модели представления текста, а также кластерный анализ текстовой информации. Авторами предлагается модификация векторной модели для повышения точности определения схожих документов за счет формирования N -списка каждого документа отдельно. Вследствие этого будет происходить попарное сравнение документов и формирование образа одного документа относительно N -списка другого. Таким образом, в i -й строку матрицы схожести будут записываться коэффициенты схожести всех рассматриваемых документов относительно i -го документа. Предлагаемая модификация также позволит ускорить процесс вычислений, поскольку отсутствует необходимость искать общие термы для всех документов. Для анализа большого количества работ обучающихся с целью проверки их на плагиат авторы предлагают использовать кластерный подход. Его применение показало, что время определения дубликатов для одного документа и для всех документов, входящих в выборку, одинаковое. Т. е. за один и тот же промежуток времени можно получить все варианты одинаковых работ обучающихся. Таким образом, применение кластерного анализа текстовой информации при определении плагиата ощутимо экономит как время преподавателя, так и вычислительные ресурсы. Программная реализация предлагаемых алгоритмов выполнена в виде веб-сервиса на языке Java.

Ключевые слова: плагиат, векторная модель документа, термы, N -список, матрица схожести, кластер, кластерный анализ.

Введение

Современное развитие информационных технологий и сети Интернет предоставило широким кругам пользователей доступ к большим объемам информации. Так общедоступными стали методические указания, курсы лекций, учебники и т. д. Одновременно появились коллекции рефератов, готовых лабораторных работ, курсовых и дипломных проектов. Все это способствует распространению и повторному использованию их среди обучающихся.

В последнее время наблюдается бурный рост использования в учебном процессе заимствованной информации, которую можно отнести к разряду плагиата. Согласно определения, приведенного в [1], плагиат – это умышленное присвоение авторства чужого произве-

дения науки или искусства, чужих идей или изобретений. Поэтому задача обнаружения недобросовестного использования чужих работ (фактов плагиата) в учебных заведениях приобретает высокую актуальность.

Для проверки документов на плагиат в сети Интернет существует несколько программных продуктов, рассмотренных в [2]. Однако не все обучающиеся размещают свои работы во всемирной сети и часто передают их младшим курсам. Поэтому в учебных заведениях существует проблема плагиата работ с прежних лет. Одним из решений указанной проблемы является использование автоматизированных систем управления обучением (англ., Learning Management System, LMS) [3]. Все обучающиеся закладывают свои лабораторные, контрольные и курсовые работы в такие системы, обра-

зую архивы прошлых лет, и преподавателю не составляет труда проверить работы на плагиат. Ключевым моментом здесь является возможность LMS делать такие проверки. Поэтому авторами предлагается веб-сервис, который может быть интегрирован в любую LMS, для поиска заимствованных работ и составления отчетов с указанием процентов схожести с аналогами.

1. Описание методов для определения плагиата. Существует несколько подходов для обнаружения плагиата. Наибольшую популярность получил метод шинглов [4], основанный на представлении текстов в виде множества последовательностей фиксированной длины, состоящих из соседних слов. При значительном пересечении таких множеств документы будут похожи друг на друга. Одной из модификаций данного метода стал алгоритм супершинглов [5], идея которого заключается в применении различных хэш-функций к элементам множества шинглов и выборе для каждой из них шингла, минимизирующего ее значение. Из выбранных шинглов формируются группы, которые называются супершинглами. Если мера сходства наборов супершинглов не меньше заданного значения, то такие документы считаются похожими друг на друга. Данная категория методов показывает высокую точность нахождения дубликатов [5]. Главным недостатком метода шинглов является неустойчивость к небольшим изменениям содержания документа (изменения окончаний, перестановки слов (словосочетаний) и т. д.).

Другой группой методов по поиску плагиата являются сигнатурные методы, детальный обзор которых выполнен в [5]. Суть сигнатурных методов заключается в представлении документа с помощью одного числового значения – сигнатуры. Проверка схожести документов сводится к сравнению их сигнатур. Существуют различные способы определения сигнатур документов:

- использование хэш-функции, вычисленной для всего документа. Данный способ позволяет определить только точные дубликаты;
- использование хэш-функции, вычисленной для строки, которую получили из соединенных в алфавитном порядке нескольких слов документа с наибольшим весом, рассчитанным разными способами;

– использование хэш-функции, вычисленной для строки, которую получили из соединенных в алфавитном порядке нескольких наиболее длинных или «тяжелых» (состоящих из слов с наибольшим суммарным весом) предложений документа.

Данные методы показывают приемлемую точность и просты в реализации. Главный недостаток состоит в том, что сигнатурные методы не учитывают связность текста [5].

В задачах интеллектуальной обработки текстов широко используются векторные модели текстовых документов. Каждый документ представляется в виде вектора $D = (D^1, D^2, \dots, D^N)$, в котором элементы отражают некоторую характеристику документа [6]. В качестве элементов могут использоваться слова, встречающиеся в текстах. Данная характеристика является наиболее распространенной, однако встречаются и другие, например, частота появления различных пар символов или частота появления различных частей речи [7]. Дальнейшее сравнение документов проводится путем оценки сходства между полученными векторами с использованием различных мер сходства, где наиболее часто применяют коэффициент Дайса или косинусную меру [8]. Преимуществом векторной модели текстовых документов является возможность использования сразу нескольких характеристик, высокая точность и быстрота обработки текстовой информации по сравнению с методом шинглов. К недостатку данного метода можно отнести сложность реализации.

2. Модификация векторной модели для определения плагиата. При создании векторной модели текстового документа на первом шаге исходный текст разбивается на одиночные слова. Далее происходит морфологический разбор документа: слова приводятся в нормализованную форму (именительный падеж, единственное число). Затем подсчитывается количество появлений каждого нормализованного слова в анализируемых документах. Слова упорядочиваются по количеству появлений в порядке убывания. Из полученного набора слов удаляются стоп-слова (например, предлоги, местоимения, наречия, цифры и т. д.). После этого происходит формирование образов документов на основе N наиболее часто встречающихся слов, называемых терминами. Образ документа

```

1 public List<SimilarityRow> makeSimilarityRows(List<Doc> docs, int termCount) {
2     List<SimilarityRow> rows = new ArrayList<SimilarityRow>();
3     if (termCount == 0)
4         termCount = TERM_COUNT;
5     //получим список термов для каждого документа
6     Map<String, List<String>> doc2terms = getDocumentTerm(docs, termCount);
7     Map<String, Integer> doc2similarity = new HashMap<>();
8
9     for(int i = 0; i < docs.size(); i++) {
10         Doc doc = docs.get(i);
11         SimilarityRow row = new SimilarityRow();
12         row.setDoc(doc);
13         //список термов для данного документа
14         List<String> terms = doc2terms.get(row.getDoc().getDocIndex());
15         int[] arrX = initonialize(termCount);
16         //сравнение с другими документами
17         for (int j = 0; j < docs.size(); j++) {
18             //ид документа
19             Doc doc2 = docs.get(j);
20             //набор термов для документа, с которым сравниваем
21             List<String> terms2 = doc2terms.get(doc2.getDocIndex());
22             //схожесть одинаковых документов можно не считать. всегда = 100
23             if (row.getDoc().equals(doc2)) {
24                 //сам с собой можно не считать. всегда 100
25                 row.getSimilarity().put(doc2, 100);
26                 continue;
27             }
28             //уже считали раньше
29             if (doc2similarity.containsKey(getUniqueKey(i, j))) {
30                 row.getSimilarity().put(doc2, doc2similarity.get(getUniqueKey(i, j)));
31                 continue;
32             }
33             int[] arrY = new int[termCount];
34             //если i-е слово из N - списка присутствует в документе,
35             //то значением i - го элемента образа документа считается 1, в противном случае - 0.
36             for (String term : terms)
37                 arrY[terms.indexOf(term)] = terms2.contains(term) ? 1 : 0;
38             if (arrY.length < termCount) {
39                 for (int k = arrY.length; k < termCount; k++)
40                     arrY[k] = 0;
41             }
42             //считаем коэффициент схожести
43             int coeff = getSimilarityCoefficient(arrX, arrY);
44             //добавляем в матрицу
45             row.getSimilarity().put(doc2, coeff);
46             doc2similarity.put(getUniqueKey(i, j), coeff);
47         }
48         rows.add(row);
49     }
50     return rows;
51 }

```

Рис. 1. Программная реализация модификации векторной модели для определения плагиата

представляет собой одномерный массив длиной N (N -список), формирующийся следующим образом: если i -е слово из N -списка присутствует в документе, то значением i -го элемента образа документа считается 1, в противном случае – 0. На основе полученных образов документов составляется матрица схожести. В качестве коэффициента схожести двух документов используется косинусная мера сходства [9]:

$$\cos(\bar{X}, \bar{Y}) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n Y_i^2}}, \quad (1)$$

где X и Y – образы документов.

Для повышения точности определения схожих документов авторами предлагается моди-

фицировать исходный алгоритм, формируя не общий N -список для всех анализируемых документов, а для каждого документа отдельно. Вследствие чего будет происходить попарное сравнение документов и формирование образа одного документа относительно N -списка другого. Таким образом, в i -й строку матрицы схожести будут записываться коэффициенты схожести всех рассматриваемых документов относительно i -го документа. Предлагаемая модификация также позволит ускорить процесс вычислений, поскольку нет необходимости искать общие термы для всех документов. Программная реализация описанного алгоритма приведена на рис. 1 в виде исходного кода на

языке Java. На вход представленной функции подается список документов для анализа (*docs*) и количество слов для *N*-списка (*termCount*). В списке *rows* будет храниться матрица схожести. Далее в строке 6 определяется *N*-список для каждого документа *doc2terms*. В строках 10–14 определяется документ, для которого будет формироваться строка в матрице. Из заранее подготовленных списков термов рассматриваются те, которые соответствуют сравниваемым документам. Образ проверяемого документа определять нет необходимости, т. к. все элементы будут равны 1 (строка 15). В строках 17–47 вычисляются коэффициенты схожести с другими документами выборки. Элементами главной диагонали матрицы схожести всегда будет 1, т. к. на пересечении *i*-й строки и *i*-го столбца будут одни и те же документы (строки 23–27 на рис. 1, в которых вместо 1 используется число 100, как результат умножения всех коэффициентов на 100, т. к. целые числа занимают меньше памяти, чем вещественные). Поскольку матрица схожести симметрична относительно главной диагонали, подсчитывать некоторые коэффициенты не нужно, они были вычислены ранее (строки программного кода 29–32 на рис. 1). В строках 36–37 формируется образ документа относительно рассматриваемого *N*-списка.

В процессе работы алгоритма может возникнуть ситуация, когда в проверяемом документе количество слов *N*-списка меньше, чем задано в параметре *termCount*. Поскольку для вычисления коэффициента схожести по формуле (1) образы документов должны быть одной длины, то в указанном выше случае произойдет ошибка вычисления. Избежать данной ситуации поможет реализация в строках 38–41 на рис. 1. Если образ документа меньше заданного количества термов, тогда недостающее количество элементов дополняется нулями. Далее по формуле (1) вычисляется коэффициент схожести и добавляется в строку матрицы.

Указанные выше методы для определения плагиата позволяют сравнивать один интересующий документ со всеми остальными. Однако в ходе учебного процесса преподаватель сталкивается с большим количеством работ студентов, которые необходимо проверять одновременно, например, контрольные или курсовые работы целого потока обучающихся.

Поэтому проверять на плагиат каждую работу отдельно – это очень затратный процесс как по времени выполнения, так и по вычислительным ресурсам. Для решения данной проблемы можно использовать кластерный анализ текстовой информации.

3. Кластерный подход для решения задачи. Основная цель кластерного анализа – разбить множество объектов на группы таким образом, чтобы объекты внутри одной группы

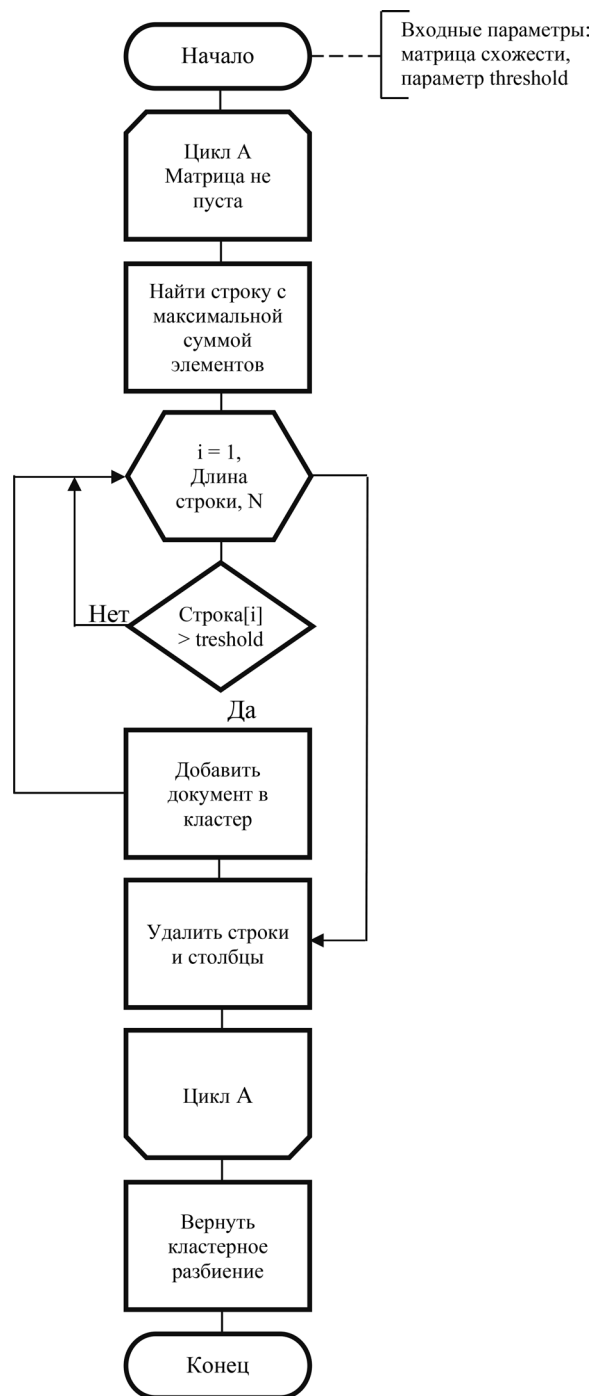


Рис. 2. Схема алгоритма кластерного подхода

```

1 public List<Cluster> clustering(List<SimilarityRow> rows, int threshold) {
2     if (threshold == 0)
3         threshold = THRESHOLD;
4
5     List<Cluster> clusters = new ArrayList<>();
6     int size = rows.size();
7     //пока есть нераспределенные документы
8     while (size > 0) {
9         //ищем строку с максимальной суммой
10        SimilarityRow maxRow = rows.stream().max( (r1, r2) -> r1.getSumSimilarity().compareTo(r2.getSumSimilarity())) .get();
11
12        Cluster cluster = new Cluster();
13        for(Map.Entry<Doc, Integer> entry : maxRow.getSimilarity().entrySet()){
14            //если коэффициент схожести больше заданного порогового значения - добавляем документ в кластер
15            if (entry.getValue().intValue() >= threshold)
16                cluster.getDocs().add(entry.getKey());
17        }
18
19        //кластер не пустой
20        if (!cluster.getDocs().isEmpty() && cluster.getDocs().size() > 1)
21            clusters.add(cluster);
22
23        //удаляем документы, которые попали в кластер
24        deleteRows(rows, cluster.getDocs());
25
26        size = rows.size();
27    }
28
29    return clusters;
30 }

```

Рис. 3. Программная реализация кластерного анализа текстовой информации

были максимально похожими друг на друга, но в то же время максимально отличались от объектов другой группы. В настоящее время существует достаточно большое количество алгоритмов кластеризации, одним из которых является, так называемый, жадный алгоритм, определяющий на каждом шагу локально оптимальный выбор в расчете на приведение к оптимальному решению всей задачи [9].

Рассмотрим модификацию жадного алгоритма, предложенного в [10], и применим ее для решения задачи определения плагиата. На первом шаге в матрице схожести определяется строка с максимальной суммой элементов. Документ, соответствующий данной строке, объявляется центром кластера, а сама строка содержит коэффициенты схожести этого документа со всеми остальными документами набора. На втором шаге в кластер добавляются все документы, коэффициент схожести которых с центром кластера больше или равен некоторого заранее заданного порогового значения. После этого из матрицы удаляются все строки и столбцы, соответствующие добавленным в кластер документам. Шаги 1 и 2 повторяются до тех пор, пока матрица не окажется пуста. Схема алгоритма предлагаемого подхода представлена на рис. 2.

Следует добавить, что кластерный анализ для определения плагиата может работать с матрицей схожести, полученной любым методом из описанных выше. Рассчитанная один раз для определенного набора документов, ма-

трица схожести позволит построить кластеры похожих друг на друга документов.

Алгоритм кластерного анализа текстовой информации реализован на языке программирования Java. Матрица схожести реализована как список строк с коэффициентами схожести. Программный код алгоритма приведен на рис. 3.

На вход представленной на рис. 3 функции, реализующей алгоритм кластеризации, подается матрица схожести *rows* и пороговое значение вхождения документа в кластер *threshold*. В списке *clusters* будут храниться полученные в результате кластеризации группы схожих документов. Для удобства строка матрицы схожести с коэффициентами реализована как отдельный объект *SimilarityRow*, содержащий номер документа, к которому относится строка, и коэффициенты схожести с другими документами. Также для удобства отдельно реализованы методы для подсчета суммы коэффициентов схожести строки и удаления уже попавших в кластер документов. В строке 10 исходного кода ищется строка в матрице схожести с максимальной суммой коэффициентов. В строках 13–17 происходит сравнение максимального коэффициента схожести с параметром *threshold*. Если значение больше заданного порогового, значит этот документ добавляется в кластер. Избежать пустых кластеров или кластеров с одним элементом помогает код в строках 20–21. После добавления документов в кластер происходит удаление из матрицы соответствующих им строк и столб-

цов. В строке 26 уменьшается параметр *size*, хранящий размер матрицы схожести, во избежание заикливания.

Для проведения вычислительных экспериментов было подготовлено два тестовых набора лабораторных работ объемом 1500–2000 слов по дисциплине «Надежность программного обеспечения». Первый набор состоял из 50 документов, а второй – из 100. Результаты вычислений показали, что время проверки одного документа на плагиат из набора пятидесяти лабораторных работ составляет 88 секунд. Такое же количество времени требуется для проверки на плагиат всех пятидесяти документов, применяя кластерный анализ. С увеличением количества проверяемых документов в два раза время вычислений увеличивается приблизительно в такое же количество раз. Таким образом, проведенные эксперименты показали преимущество использования кластерного анализа при определении плагиата: данный подход позволяет за один раз найти сразу все варианты схожих работ, что существенно экономит время поиска.

В ходе экспериментов было также замечено, что при повторных проверках документов время вычислений может быть существенно сокращено за счет первоначального сохранения результатов морфологического разбора. Поскольку сравнение каждого нового документа происходит с ранее проверенными документами, то для них нет необходимости делать морфологический разбор каждый раз, когда формируется матрица схожести, а можно брать сохраненные варианты предыдущих разборов. Результаты вычислительных экспериментов приведены в таблице.

Результаты вычислительных экспериментов

Количество документов	Среднее время определения плагиата, с	
	Для одного документа	Для группы документов с применением кластерного анализа
<i>Без сохранения результатов морфологического разбора документов</i>		
50	88	88
100	174	174
<i>С сохранением результатов морфологического разбора документов</i>		
50	2	2
100	3	3

Заключение

Применение предложенного алгоритмического и программного обеспечения в системах управления обучением позволит значительно сократить время преподавателя при поиске заимствованных работ обучающихся. Предложенная авторами модификация векторной модели текстового документа позволит повысить точность определения схожих документов и ускорить процесс вычислений за счет их попарного сравнения и формирования образа одного документа относительно *N*-списка другого документа. Применение кластерного анализа текстовой информации после построения матрицы схожести показало, что время определения дубликатов для одного документа и время определения всех схожих документов выборки одинаковое. Таким образом, за одно и то же время можно получить все варианты заимствованных работ. Сохранение результатов морфологического разбора документов позволит в десятки раз сократить время повторной проверки на плагиат.

Литература

1. Бобкова, О. В. Плагиат как гражданское правонарушение / Бобкова О. В., Давыдов С. А., Ковалева И. А. // Патенты и лицензии. – 2016. – № 7. – С. 31–41.
2. Голобурда, А. В. Проверка плагиата в веб-приложениях / А. В. Голобурда, Ю. Б. Попова // Информационные технологии в образовании, науке и производстве: IV Международная научно-техническая интернет-конференция, 18–19 ноября 2016 г. Секция Информационные технологии в производстве и научных исследованиях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rep.bntu.by/handle/data/27126>. – Дата доступа: 25.11.2017.
3. Попова, Ю. Б. Классификация автоматизированных систем управления обучением / Попова Ю. Б. // Системный анализ и прикладная информатика. – 2016. – № 2. – С. 51–58.
4. Broder, A. On the resemblance and containment of documents / Broder A. // Compression and Complexity of Sequences (SEQUENCES'97). – IEEE Computer Society, 1998. – P. 21–29.
5. Зеленкова, Ю. Г. Сравнительный анализ методов определения нечетких дубликатов для Web-документов / Зеленкова Ю. Г., Сегалович И. В. // Труды 9-ой Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции»: сб. работ участников конкурса. – Переславль-Залесский, 2007. – Т. 1. – С. 169–172.
6. Моченов, С. В. Векторная модель представления текстовой информации / С. В. Моченов, А. М. Бледнов, Ю. А. Луговских // Материалы международной научной конференции. – Ижевск, 2006. – С. 133–139.

7. Андреев, А. М. Метод обнаружения дубликатов в потоке текстовых документов / Андреев А. М., Березкин Д. В., Козлов И. А., Симаков К. В. // Труды 16-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции». – Дубна, 2014. – С. 310–321.
8. Антонова, А. Ю. Об использовании мер сходства при анализе документации / Антонова А. Ю., Клышинский Э. С. // Труды 13-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции». – Воронеж, 2011. – С. 134–138.
9. Баранов, М. А. Модификация жадного алгоритма кластеризации / Баранов М. А. // Прикладная информатика. – 2013. – № 2. – С. 78–88.
10. Барахнин, В. Б. Кластеризация текстовых документов на основе составных ключевых термов / Барахнин В. Б., Ткачев Д. А. // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2010. – № 2. – С. 5–14.

References

1. Bobkova, O. V. Plagiat kak grazhdanskoe pravonarushenie / Bobkova O. V., Davydov S. A., Kovaleva I. A. // Patenty i licenzii. – 2016. – № 7. – С. 31–41.
2. Goloburda, A. V. Proverka plagiata v veb-prilozheniyah / A. V. Goloburda, Ju. B. Popova // Informacionnye tehnologii v obrazovanii, nauke i proizvodstve: IV Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya internet-konferenciya, 18–19 nojabrja 2016 g. Sekcija Informacionnye tehnologii v proizvodstve i nauchnyh issledovanijah [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://rep.bntu.by/handle/data/27126>. – Data dostupa: 25.11.2017.
3. Popova, Ju. B. Klassifikacija avtomatizirovannyh sistem upravlenija obucheniem / Popova Ju. B. // Sistemnyj analiz i prikladnaja informatika. – 2016. – № 2. – С. 51–58.
4. Broder, A. On the resemblance and containment of documents / Broder A. // Compression and Complexity of Sequences (SEQUENCES'97). – IEEE Computer Society, 1998. – P. 21–29.
5. Zelenkova, Ju. G. Sravnitel'nyj analiz metodov opredelenija nechetkih dublikatov dlja Web-dokumentov / Zelenkova Ju. G., Segalovich I. V. // Trudy 9-oj Vserossijskoj nauchnoj konferencii «Jelektronnye biblioteki: perspektivnye metody i tehnologii, jelektronnye kollekcii»: sb. rabot uchastnikov konkursa. – Pereslavl'-Zalesskij, 2007. – T. 1. – С. 169–172.
6. Mochenov, S. V. Vektornaja model' predstavlenija tekstovoj informacii / S. V. Mochenov, A. M. Blednov, Ju. A. Lugovskih // Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. – Izhevsk, 2006. – С. 133–139.
7. Andreev, A. M. Metod obnaruzenija dublikatov v potoke tekstovyh dokumentov / Andreev A. M., Berезкин D. V., Kozlov I. A., Simakov K. V. // Trudy 16-j Vserossijskoj nauchnoj konferencii «Jelektronnye biblioteki: perspektivnye metody i tehnologii, jelektronnye kollekcii». – Dubna, 2014. – С. 310–321.
8. Antonova, A. Ju. Ob ispol'zovanii mer shodstva pri analize dokumentacii / Antonova A. Ju., Klyshinskij Je. S. // Trudy 13-j Vserossijskoj nauchnoj konferencii «Jelektronnye biblioteki: perspektivnye metody i tehnologii, jelektronnye kollekcii». – Voronezh, 2011. – С. 134–138.
9. Baranov, M. A. Modifikacija zhadnogo algoritma klasterizacii / Baranov M. A. // Prikladnaja informatika. – 2013. – № 2. – С. 78–88.
10. Barahnin, V. B. Klasterizacija tekstovyh dokumentov na osnove sostavnyh ključevykh termov / Barahnin V. B., Tkachev D. A. // Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Informacionnye tehnologii. – 2010. – № 2. – С. 5–14.

Поступила
16.01.2018

После доработки
13.02.2018

Принята к печати
15.03.2018

Y. B. Popova, A. V. Goloburda

ALGORITHMIC AND PROGRAM IMPLEMENTATION OF THE PLAGIARISM DEFINITION IN LEARNING MANAGEMENT SYSTEMS

Belarusian National Technical University

The main advantage of using information technologies in education, which consists in speeding up and simplifying of information exchange, is also its drawback, because it raises the problem of plagiarism. The purpose of this paper is to develop testing text software for uniqueness in learning management systems. To achieve this goal, it is necessary to solve a range of problems related to the choice of a method for determining plagiarism, its algorithmization and software implementation. The work deals with the methods of shingles, super-shingles, signature methods, vector models of text representation, as well as cluster analysis of text information. The authors suggest a modification of the vector model to improve the accuracy of determining similar documents by creating an N-list of each document separately. As a result, a pairwise comparison of the documents and the formation of the image of one document relative to the N-list of the other will occur. Thus, in the i-th row of the similarity matrix, the coefficients of similarity of all the documents considered relative to the i-th document will be recorded. The proposed modification will also speed up the calculation process, since there is no need to search for common terms for all documents. To analyze a large number of student's works in order to test them for plagiarism, the authors propose using a cluster approach. Its application showed that the time for determining duplicates for one document and for all documents

included in the sample is the same. For the same time it is possible to get all the options for the same works of students. Thus, the use of cluster analysis of text information in determining plagiarism significantly saves both the teacher's time and computing resources. The software implementation of the proposed algorithms is implemented as a web service in the Java language.

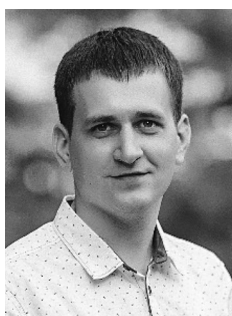
Keywords: plagiarism, vector document model, terms, N-list, similarity matrix, cluster, cluster analysis.



Yuliya B. Popova, PhD, Associate Professor of the Software Department of the Belarusian National Technical University. Her research interests focus on methods and algorithms of optimization in technical systems, engineering of adaptive learning systems and learning management systems (LMS), modeling of student knowledge, software testing and quality assurance.

Email: julia_popova@mail.ru

Попова Юлия Борисовна, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем БНТУ. Ее научные интересы связаны с методами и алгоритмами оптимизации технических систем, разработкой адаптивных обучающих систем, автоматизированных систем управления учебным процессом, моделированием знаний, а также с вопросами тестирования и качества программного обеспечения.



Alexander Goloburda received the graduate degree in software engineering from the Belarusian National Technical University in 2016 and the Master's degree in system analysis and control of information processing in 2015. He is currently working on Master's degree program in system analysis and control of information processing. His research interests are related to the analysis of text information, the clustering of text information and the development of web applications.

Email: goloburda.av@gmail.com

Голобурда Александр Вячеславович закончил Белорусский национальный технический университет по специальности «Программное обеспечение информационных технологий» в 2016 году. В настоящее время является магистрантом кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем БНТУ. Его научные интересы связаны с анализом текстовой информации, кластеризацией текстовой информации, а также с разработкой веб-приложений.

Уважаемые авторы,

Общими критериями для публикации статей в журнале являются актуальность, новизна материала и его ценность в теоретическом и/или прикладном аспектах.

С целью приведения элементов данных, содержащихся в журнале, в соответствие международным требованиям зарубежных аналитических информационных систем (индексов цитирования), используемых для оценки деятельности учреждений образования при расчете показателей в международных рейтингах университетов, редколлегия журнала предлагает руководствоваться Правилами в приведенной ниже редакции приближения к унифицированной системе цитирования научных публикаций SCOPUS,

С 2016 г. Редколлегия журнала предлагает руководствоваться Правилами в приведенной ниже редакции.

Правила для авторов

1. Общие требования

Материалы статей представляются на бумажном носителе (в двух экз.) по адресу: 220013, Минск, ул. Ф. Скорины, 25/3, корп. 20, каб. 508 (Петренко Юрий Николаевич) и в электронном виде e-mail: SA_PI@bntu.by. Телефон для справок: (017) 266 26 58.

Статья, представляемая на бумажном носителе, должна быть подписана всеми авторами. К статье прилагаются сведения об авторах: фамилия, имя, отчество полностью, почтовый адрес, телефоны, адрес электронной почты, место работы, ученая степень и звание, должность. При наличии нескольких авторов должен быть указан автор, ответственный за переписку.

Статьи, поступившие в редакцию журнала, регистрируются в установленном порядке. Статьи, оформленные с нарушением приведенных правил, к рассмотрению редакцией не принимаются. Принятые статьи рецензируются.

При положительной рецензии статья предлагается к опубликованию.

Редакция не принимает статьи, опубликованные ранее в других журналах или научных изданиях.

Гонорар автору за публикацию статьи не выплачивается. Материалы, присланные в редакцию, авторам не возвращаются.

2. Правила оформления статей

2.1. Объем статей (с иллюстрациями) не должен превышать:

- для оригинальной статьи – 7 страниц (не более 8 иллюстраций);
- для краткого сообщения – 3 страниц (не более 2 иллюстраций).

Статья должна быть набрана с помощью текстового редактора Microsoft Word 2007.

Параметры страницы: формат А4 (высота 29,7 см., ширина – 21 см.); отступ для левого поля и поля сверху – 25 мм, правого и нижнего – 20 мм; нумерация страниц сверху в колонтитуле, со второй страницы, с выравниванием по правому краю.

Текст набирается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт. Межстрочный интервал – полуторный. Абзацный отступ – 12 мм.

2.2. Индекс УДК набирается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, все прописные, выравнивание – по правому краю.

2.3. Фамилия и инициалы автора (авторов) в именительном падеже, должность, ученая степень и ученое звание печатаются шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, курсив, выравнивание – по левому краю.

2.4. Название статьи набирается шрифтом Arial, 12 пт, жирный, все прописные, выравнивание – по центру.

2.5. Полное название организации (организаций), в которой работает (учится) автор (авторы) набирается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, выравнивается по центру, После названия организации пропускается две строки, далее следует адрес (адреса) электронной почты, пропускается две строки.

2.6. Аннотация и ключевые слова (объем 200–250 слов на русском (англ.) языке статьи набирается шрифтом TimesNewRoman, 10 пт, межстрочный интервал 1,15 пт, курсив, выравнивается по центру. Аннотация должна содержать (рекомендованная структура): цель и задачи работы, методы исследований, ре-

зультаты, выводы. Аннотация должна быть пригодна для опубликования отдельно от статьи. Английский вариант не должен быть механическим переводом русского текста, а обеспечивать понимание сути работы для иностранных читателей;

После аннотации пропускается одна строка.

2.7. Текст статьи (набирается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, с абзацем, выравнивание – по ширине) должен содержать следующие элементы:

1) *введение* (может содержать: краткий обзор литературы по проблеме исследования, перечисление нерешенных ранее вопросов, постановку проблемы, цель исследований). Слово «Введение» печатается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, жирный, выравнивание – по левому краю.

2) *основная часть исследования* (возможно деление на подразделы), включающая графики и другой иллюстративный материал (при их наличии), при этом таблицы и рисунки не должны дублировать друг друга. Название каждого подраздела статьи печатается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, жирный, выравнивание – по левому краю.

3) *Заключение* (формулируются основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ по сравнению с аналогами). Слово «Заключение» печатается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, жирный, выравнивание – по левому краю.

2.8. *Литература*. Список литературы оформляется шрифтом TimesNewRoman, 12 пт в соответствии с Инструкцией по оформлению диссертации, автореферата и публикаций по теме диссертации, утвержденной постановлением президиума Государственного высшего аттестационного комитета Республики Беларусь 24.12.1997 № 178 (в редакции постановления ВАК Беларуси от 22.02.2006 № 2). www.edu.grsu.by/files/liter.doc.

Слово «Литература» печатается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, все прописные, выравнивание – по левому краю.

Источники должны располагаться в порядке цитирования в тексте. Порядковые номера ссылок в тексте должны быть написаны внутри квадратных скобок (например: [1], [2]).

В статьях на русском языке должно быть до 10 источников, включая статьи из международных журналов, а также ссылки на собственные исследования. В англоязычных статьях должно быть до 30 источников, включая статьи из международных журналов, а также ссылки на собственные исследования. Обзорные статьи должны включать до 50 ссылок, включая статьи из международных журналов, а также ссылки на собственные исследования.

Список источников должен оформляться на русском и английском языках.

С целью повышения цитирования авторов в журнале проводится транслитерация русскоязычных источников с использованием официальных кодировок в следующем порядке: имена авторов транслитерируются латиницей, название статьи – смысловой транслитерацией (перевод на английский язык), название источника, где опубликована работа, транслитерируется латиницей, если у источника (журнала) нет официального названия на английском языке).

Для удобства транслитерации возможно использование онлайн-сервисов: <http://www.translit.ru>.

Все русскоязычные источники литературы должны быть представлены в транслитерированном варианте. За правильность приведенных в списке литературы данных ответственность несут автор(ы). В списке должны иметь место ссылки на издания, включенные в международные базы цитирования Scopus и Web of Science).

2.9. *После списка литературы* на русском и английском языках в статье на русском (англ.) языке должно следовать название статьи, список авторов, сведения о них и аннотация на английском (русском) языке.

Далее указывается: грант, гос. программа, тема госбюджетной НИР (№ Гос. регистрации) или иной документ, в рамках которой выполнена работа (или инициативная).

2.10. *Резюме авторов* (шрифтом TimesNewRoman, 10 пт.,) сопровождается фотографией (3×4 см.), JPG.

2.11. *Оформление формул*. Только сложные формулы должны быть набраны с помощью встроенного в MS Word редактора формул Equation. Просто буквы с индексами могут быть набраны без использования формульного редактора с помощью средств оформления MS Word. Латинские символы должны быть набраны курсивом, как в формулах, так и на рисунках, и в тексте, а русские и греческие – обычным текстом.

В редакторе формул должен быть установлен следующий размер символов: обычный символ – 11 пт., крупный индекс – 7 пт., мелкий индекс – 5 пт., крупный символ – 17 пт., мелкий символ – 12 пт. Формулы выравниваются по центру страницы. При необходимости делать ссылки на формулы их следует нумеровать арабскими цифрами, помещенными в круглые скобки, в порядке упоминания. Номера формул выравниваются по правому краю страницы.