

ISSN 2686-679X

ВЕСТНИК РГГУ

Серия

«Информатика.
Информационная безопасность.
Математика»

Научный журнал

RSUH BULLETIN

Series

“Information Science.
Information Security. Mathematics”

Academic Journal

Основан в 2018 г.
Founded in 2018

1
2019

VESTNIK RGGU. Seriya «Informatica. Informacionnaya bezopasnost. Matematika»

RSUH/RGGU BULLETIN. “Information Science. Information Security. Mathematics” Series

Academic Journal

There are 4 issues of the magazine a year.

Founder and Publisher

Russian State University for the Humanities (RSUH)

RSUH/RGGU BULLETIN. “Information Science. Information Security. Mathematics” Series is included: in the Russian Science Citation Index

Objectives and areas of research

The Bulletin of Russian State University for the Humanities (RSHU) “Information Science. Information Security. Mathematics” series publishes the results of research by scientists from RSHU and other universities and other Russian and foreign academic institutions. The areas covered by contributions include theoretical and applied computer science, up-to-date IT, means and technologies of information protection and information security as well as the issues of theoretical and applied mathematics including analytical and imitation models of different processes and objects. Special emphasis is put on articles and reviews covering research in indicated directions in the areas of social and humanitarian problems and also issues of personnel training for these directions.

RSUH/RGGU BULLETIN. “Information Science. Information Security. Mathematics” Series is registered by Federal Service for Supervision of Communications Information Technology and Mass Media. 25.05.2018, reg. No. FS77-72977

Editorial staff office: 6, Miusskaya sq., Moscow, Russia, 125993, GSP-3

tel: +7 (916) 250-90-85

e-mail: adkozlov@mail.ru

ВЕСТНИК РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика»

Научный журнал

Выходит 4 номера печатной версии журнала в год.

Учредитель и издатель – Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ)

ВЕСТНИК РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика» включен: в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Цели и область

В журнале «Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика» публикуются результаты научных исследований ученых и специалистов РГГУ, а также других университетов и научных учреждений России и зарубежных стран. Направления публикаций включают теоретическую и прикладную информатику, современные информационные технологии, методы, средства и технологии защиты информации и обеспечения информационной безопасности, а также проблемы теоретической и прикладной математики, включая разработку аналитических и имитационных моделей процессов и объектов различной природы. Особое внимание уделяется статьям и обзорам, посвященным исследованиям по указанным направлениям в области социальных и гуманитарных проблем, а также вопросам подготовки кадров по соответствующим специальностям для данных направлений.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, 25.05.2018 г., регистрационный номер ПИ № ФС77-72977.

Адрес редакции: 125993, ГСП-3, Россия, Москва, Миусская пл., 6

Тел: +7 (916) 250-90-85

электронный адрес: adkozlov@mail.ru

Founder and Publisher

Russian State University for the Humanities (RSUH)

Editor-in-chief

V.V. Arutyunov, Dr. of Sci. (Engineering), Russian State University for the Humanities (RSUH), Moscow, Russian Federation

Editorial Board

V.K. Zharov, Dr. of Sci. (Pedagogy), professor, Russian State University for the Humanities (RSUH), Moscow, Russian Federation (Deputy Editor-in-chief)

A.D. Kozlov, Cand. of Sci. (Computer Science), associate professor, Russian State University for the Humanities (RSUH), Moscow, Russian Federation (Executive Secretary)

Sh.A. Alimov, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), professor, academician, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

M.N. Aripov, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), professor, National University of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

G.S. Ivanova, Dr. of Sci. (Computer Science), professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

O.V. Kazarin, Dr. of Sci. (Engineering), senior researcher, Russian State University for the Humanities (RSUH), Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

V.M. Maximov, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), professor, Russian State University for the Humanities (RSUH), Moscow, Russian Federation

I.Yu. Ozhigov, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

E.A. Primenko, Cand. of Sci. (Physics and Mathematics), professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

S.M. Sokolov, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), professor, Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russian Federation

Sh. K. Formanov, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), professor, academician, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

V.A. Tsvetkova, Dr. of Sci. (Engineering), professor, Library for Natural Sciences of the RAS, Moscow, Russian Federation

Editor responsible for the current issue: *A.D. Kozlov*, Cand. of Sci. (Computer Science), associate professor (RSUH)

Учредитель и издатель

Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ)

Главный редактор

В.В. Арутонов, доктор технических наук, Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ), Москва, Российская Федерация

Редакционная коллегия

В.К. Жаров, доктор педагогических наук, профессор, Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ), Москва, Российская Федерация (заместитель главного редактора)

А.Д. Козлов, кандидат технических наук, доцент, Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ), Москва, Российская Федерация (ответственный секретарь)

Ш.А. Алимов, доктор физико-математических наук, профессор, академик Академии наук Узбекистана, Ташкент, Республика Узбекистан

М.М. Арипов, доктор физико-математических наук, профессор, Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Республика Узбекистан

Г.С. Иванова, доктор технических наук, профессор, Московский государственный университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

О.В. Казарин, доктор технических наук, старший научный сотрудник, Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ), Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ), Москва, Российская Федерация

В.М. Максимов, доктор физико-математических наук, профессор, Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ), Москва, Российская Федерация

И.Ю. Ожигов, доктор физико-математических наук, профессор, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ), Москва, Российская Федерация

Э.А. Применко, кандидат физико-математических наук, профессор, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ), Москва, Российская Федерация

С.М. Соколов, доктор физико-математических наук, профессор, Институт прикладной математики им. М.И. Келдыша РАН, Москва, Российская Федерация

Ш.К. Форманов, доктор физико-математических наук, профессор, академик Академии наук Узбекистана, Ташкент, Республика Узбекистан

В.М. Цветкова, доктор технических наук, профессор, Библиотека по естественным наукам РАН, Москва, Российская Федерация

Ответственный за выпуск: *А.Д. Козлов*, кандидат технических наук, доцент (РГГУ)

СОДЕРЖАНИЕ

Информатика

Г.С. Иванова, М.В. Беккер
Организация обмена данными в SCADA-системах
на базе стандартных открытых коммуникационных протоколов 8

М.С. Шаповалова
Разработка приложения-конвертера в рамках информационной системы
по обработке информации 21

Информационная безопасность

В.В. Арутюнов, А.И. Мещерский
О востребованности результатов исследований российских ученых
в области информационной безопасности 42

М.В. Шептунов
Анализ распределенной системы оптимизационной
модельно-алгоритмической поддержки оперативного перестрахования
серьезных рисков с позиции теории массового обслуживания 51

Математика

И.Л. Гадолина, А.Д. Козлов, А.А. Монахова, И.Л. Серебрякова
Оптимальный способ ЦОС в задачах оценки долговечности 78

Г.И. Синкевич
Развитие понятия непрерывности
в математическом анализе до XIX в. 94

CONTENTS

Information Science

G. Ivanova, M. Bäcker

Data exchange organization in SCADA-systems based on standard
open communication protocols 8

M. Shapovalova

Converter application development within
the data processing information system 21

Information Security

V. Arutyunov, A. Meshcherskii

On the demand for the Russian scientists research results
in the area of information security 42

M. Sheptunov

Analysis of the distributed system for optimizing model-algorithmic support
of severe risks operative reinsurance from the position
of queuing theory 51

Mathematics

I. Gadolina, A. Kozlov, A. Monakhova, I. Serebryakova

Optimal decision for Digital Signal Processing
in the durability assessment problem 78

G. Sinkevich

The development of the Continuity concept
in Mathematical Analysis to the 19th century 94

Информатика

УДК 004.8

DOI: 10.28995/2686-679X-2019-1-8-20

Организация обмена данными в SCADA-системах на базе стандартных открытых коммуникационных протоколов

Галина С. Иванова

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
Москва, Россия, gsivanova@bmtu.ru*

Максим В. Беккер

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
Москва, Россия, altwarg@outlook.com*

Аннотация. Статья посвящена наиболее распространенному среди существующих автоматизированных систем управления технологическими процессами типу, так называемым SCADA-системам. Системы указанного типа осуществляют сбор, хранение и обработку параметров технологических процессов, а также диспетчерское управление этими процессами, базирующееся на результатах обработки собранных данных. Анализ существующих решений показывает, что либо предлагаемые системы крайне дороги, либо не обеспечивают необходимый набор функций и надежность работы, из чего следует необходимость разработки новых специализированных SCADA-систем, ориентированных на управление конкретным оборудованием.

В статье анализируется иерархическая архитектура типичной SCADA-системы на предмет выявления проблем реализации таких систем. В качестве наиболее важной проблемы названа проблема обмена данными системы с управляемым ею оборудованием. В последние годы для связи системы с оборудованием используется семейство технологий OPC, обеспечивающих стандартизацию обмена данными. Однако в настоящее время часть технологий, входящих в состав стандарта, устарели, и, кроме того, использование стандарта существенно усложняет написание программного обеспечения SCADA-систем. В качестве альтернативы устаревших технологий авторы предлагают для передачи данных использовать стандартные открытые коммуникационные протоколы связи между устройствами, например MODBUS и Profibus. Это позволит упростить разработку SCADA-систем и увеличит их надежность.

© Иванова Г.С., Беккер М.В., 2019

Ключевые слова: SCADA-система, стандарт OPC, протокол MODBUS, протокол Profibus, обмен данными

Для цитирования: Иванова Г.С., Беккер М.В. Организация обмена данными в SCADA-системах на базе стандартных открытых коммуникационных протоколов // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2019. № 1 (2). С. 8–20. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-1-8-20

Data exchange organization in SCADA-systems based on standard open communication protocols

Galina S. Ivanova

*Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia, gsivanova@bmtu.ru*

Maxim V. Bäcker

*Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia, altwarg@outlook.com*

Abstract. The article is devoted to the most common type of the existing automated process control systems, the so-called SCADA-systems. These systems perform collecting, storing and processing the parameters of technological processes, as well as dispatching control of those processes, based on results of processing the collected data. The analysis of existing solutions shows that either the proposed systems are extremely expensive or do not provide the necessary set of functions and operation reliability what implies the need to develop new specialized SCADA-systems focused on controlling the specific hardware.

The article analyzes the hierarchical architecture of a typical SCADA-system in order to identify drawbacks in the implementation of such systems. The most important is that of data exchange between system and its controlled hardware. For last years, the OPC technology family has been used for the system connection with hardware, thus securing the data exchange standardization. At present, however, some of the technologies that make up the standard are outdated, and, in addition, the use of the standard significantly complicates the developing of SCADA software. As an alternative to outdated technologies, the authors propose to use standard open communication protocols between devices, such as MODBUS and Profibus, for data transfer. That will simplify the development of SCADA-systems and increase their reliability.

Keywords: SCADA-system, OPC standard, MODBUS protocol, Profibus protocol, data exchange

For citation: Ivanova GS., Bäcker MV. Data exchange organization in SCADA-systems based on standard open communication protocols. *RSUH / RGGU Bulletin. "Information Science. Information Security. Mathematics" Series.* 2019;1(2):8-20. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-1-8-20

Введение

В настоящее время в промышленности развитых стран основным направлением развития автоматизированных систем управления технологическими процессами является поддержка и создание систем SCADA (аббр. от англ. Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных) [1]. Указанные системы во многих индустриальных и промышленных отраслях являются весьма эффективными – технологии диспетчерского управления и сбора данных позволяют в считанные секунды получить требуемую информацию о характеристиках технологического процесса и принять решение, которое позволит не только увеличить прибыль предприятия, но и обеспечить безопасность его сотрудников.

Основными пользователями SCADA-систем являются промышленные предприятия, где требуется обеспечить диспетчерский контроль промышленных процессов в реальном времени, например, процесса научного эксперимента, процесса работы атомных электростанций и т. д.

Современные SCADA-системы позволяют решать большой набор типовых задач автоматизированного производства [2], таких как:

- обмен данными с оборудованием нижестоящего уровня;
- математическая обработка принимаемой информации с целью получения полной картины состояния отслеживаемого процесса;
- управление процессом с помощью оборудования нижестоящего уровня;
- ведение базы данных единого формата с сохранением технологической информации о процессе мониторинга;
- аварийная сигнализация и управление тревожными сообщениями;
- генерация отчетов о ходе технологического процесса за определенный период времени;
- отображение информации о процессе управления в виде технологических мнемосхем, представленных графическими элементами (например, индикаторами) на основе тегов или трендов в виде графиков;

- регистрация событий, связанных с контролируемым процессом и действиями персонала, который отвечает за эксплуатацию и обслуживание системы.

Сегодня на рынке наиболее распространенными являются следующие SCADA-системы [2,3]:

- In Touch (разработчик Wonderware, США);
- Citect (разработчик Schneider Electric, Австралия);
- WinLog (разработчик Крона, РФ);
- WinCC (разработчик Siemens, ФРГ);
- Trace Mode (разработчик AdAstrA, РФ);
- RSView (разработчик Rockwell Automation, США);
- Genesis (разработчик Iconics Co, США).

Каждая из перечисленных выше систем имеет свои функциональные особенности, но схожую экономическую модель распространения. Почти все они требуют дорогих лицензий – например, по одной копии на компьютер или даже в зависимости от числа обрабатываемых сигналов. Альтернативами в данном случае могут быть проекты с открытым исходным кодом или же проекты, позиционируемые изначально в качестве бесплатных. Примерами таких систем являются:

- 1) OpenSCADA [4] – разрабатывается на протяжении уже 15 лет, однако так и не является стабильной (последняя версия 0.9);
- 2) Argos [5] – более не разрабатывается (последняя версия выпущена в 2009 г.);
- 3) SZARP [6] – медленно разрабатывается;
- 4) FreeSCADA [7] – находится в состоянии «отложено на неопределенный срок».

Проекты с открытым исходным кодом или позиционируемые изначально как бесплатные, идеальными не являются. Большая часть таких проектов далека по функциональным возможностям от актуальных проприетарных проектов, а соотношение затрат на разработку к нулевой прибыли приводит к тому, что такого рода проект с большой долей вероятности, как в приведенных выше примерах, даже не завершается стабильной версией.

В результате при всем многообразии SCADA-систем возникает проблема выбора актуального программного обеспечения. В большинстве случаев с учетом ограниченности бюджета лучшим решением указанной проблемы будет разработка собственной SCADA-системы с углубленной поддержкой используемого оборудования. Однако создание новой SCADA-системы предполагает решение некоторых основных проблем.

Концепция и архитектура SCADA-систем

SCADA-системы традиционно могут реализовывать как полностью автоматический контроль и управление технологическими процессами, так и контроль их частей с участием человека.

Изначально концепция SCADA была разработана в качестве универсального способа удаленного доступа к множеству контролируемых модулей (возможно от разных производителей), обеспечивающих доступ через стандартные или закрытые протоколы автоматизации и представляла собой определенную иерархию функциональных уровней автоматизируемого производства (рис. 1).

На рис. 1 обозначены следующие уровни:

- *уровень 0*: элементы управления в виде регулирующих клапанов и другие устройства;
- *уровень 1*: промышленные датчики, программируемые логические контроллеры (PLC), удаленные модули (RTU), модули ввода/вывода;
- *уровень 2*: контрольные компьютеры (MTU), которые, используя SCADA, собирают информацию в системе и предоставляют экраны управления диспетчеру;
- *уровень 3*: уровень мониторинга действий диспетчеров, управляющих технологическим процессом;
- *уровень 4*: уровень планирования производства.

Функции управления SCADA обычно ограничены уровнями 1 и 2. Например, контроллер PLC может контролировать поток охлаждающей воды внутри части процесса, а программное обеспечение SCADA позволяет диспетчерам изменять значения объема потока, менять скорости и маршруты движения жидкости в процессе, а также следить за тревожными сообщениями, которые должны быть записаны и отображены и на которые диспетчер должен своевременно отреагировать и принять нужные решения по управлению процессом. В этом случае цикл управления включает контроллеры PLC, удаленные модули RTU и связанное с ними оборудование, а SCADA-система обеспечивает его работу и конечную обработку.

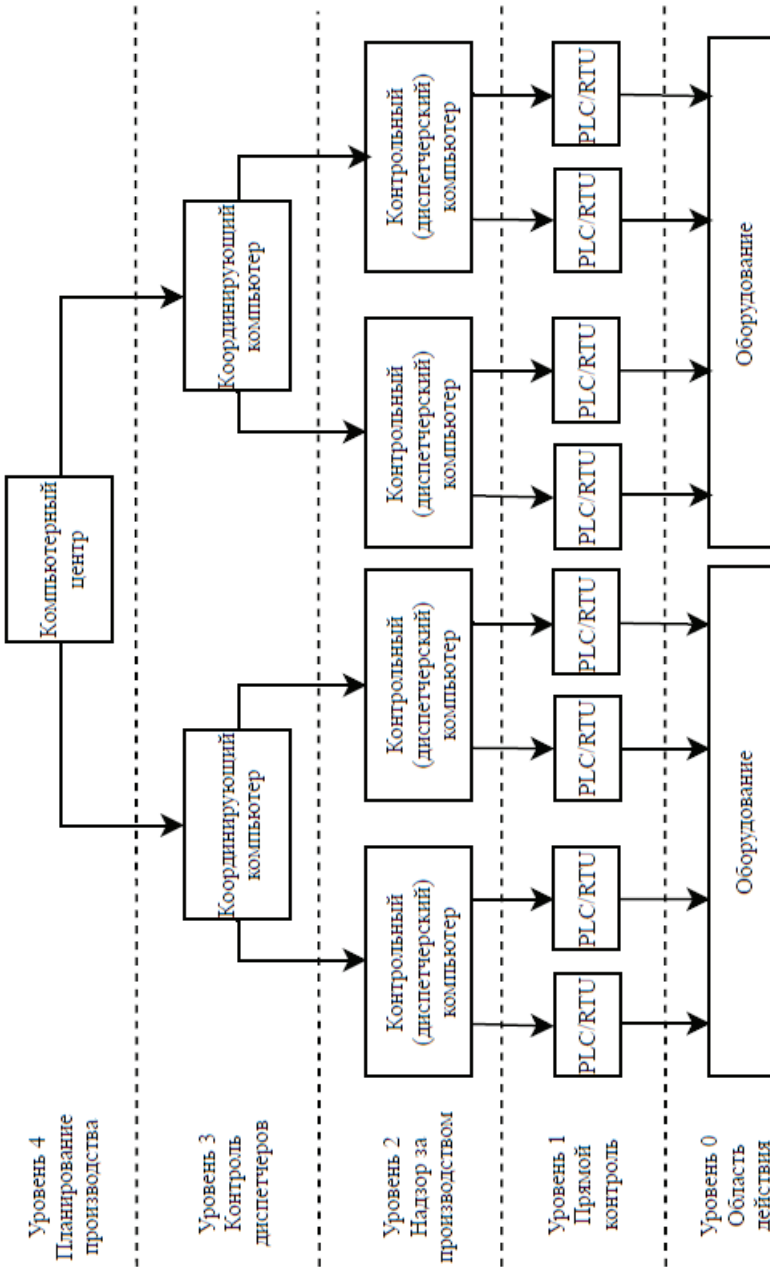


Рис. 1. Функциональные уровни управления производством

Проблема связи с оборудованием и решение с помощью стандарта OPC

Существует много программ-клиентов, которые могут получать данные от оборудования и делать их доступными для драйверов независимых разработчиков. Но при этом возникают следующие сложности [8,9]:

- каждая программа, взаимодействующая с оборудованием, должна иметь драйвер для конечного устройства ввода-вывода;
- в случае если производитель оборудования не предоставляет к нему драйвер или этот драйвер не удовлетворяет требованиям, которые предъявляются к работе с системой диспетчеризации, необходимо написание сторонних драйверов. Из-за этого могут возникать конфликты между драйверами различных разработчиков, что приводит к тому, что какие-то режимы или параметры работы оборудования не поддерживаются всеми разработчиками программного обеспечения;
- с учетом предыдущего пункта возникает еще одна проблема – модификации оборудования могут привести к потере функциональности драйвера;
- конфликты при обращении к устройству – различные программы диспетчеризации не могут получить доступ к одному устройству при обращении к нему одновременно из-за использования различных драйверов.

В результате схема работы с множеством различных драйверов выглядит так, как изображено на рис. 2. Производители оборудования стараются решить эту проблему с помощью разработки дополнительных драйверов, но эти попытки встречают сильное сопротивление разработчиков систем диспетчеризации, которые должны в этом случае усложнять свои клиентские протоколы.

Решением явилось использование стандарта OPC. Семейство технологий OPC (аббр. от англ. Open Platform Communications) обеспечивают единый интерфейс передачи данных для управления объектами автоматизации и технологическими процессами, предоставляя механизм сбора данных из различных источников и передачу этих данных любой клиентской программе независимо от типа используемого оборудования.

Данный стандарт используется в большинстве случаев так, как представлено на рис. 3. Каждый из аппаратных подключаемых модулей сопровождается так называемым OPC-сервером – программой, которая постоянно передает данные от аппаратного обеспечения в формате в соответствии со стандартом OPC.

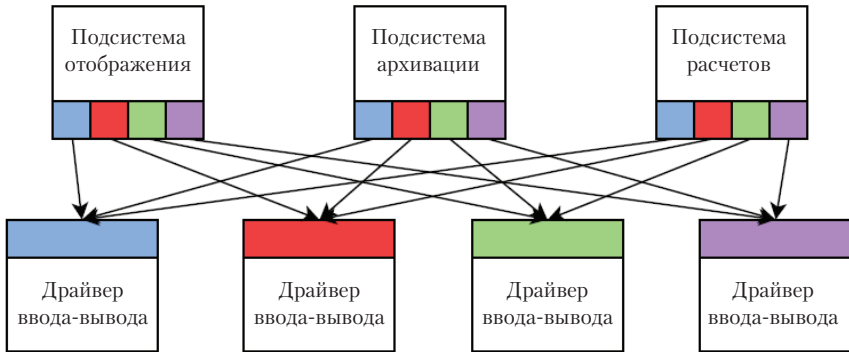


Рис. 2. Схема работы с множеством различных драйверов

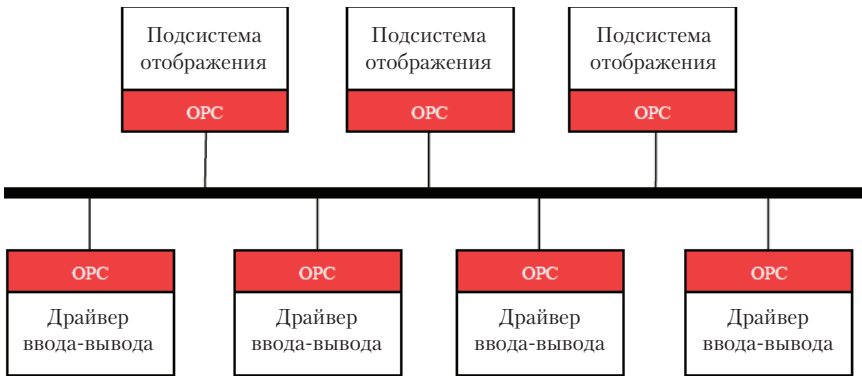


Рис. 3. Схема реализации обмена данными с использованием стандарта OPC

Однако использование стандарта OPC имеет существенные недостатки:

- многие типы оборудования и программного обеспечения не поддерживает стандарт OPC;
- многие из протоколов, поддерживающих стандарт OPC, базируются на уже устаревших технологиях: поддержка OLE (ActiveX) закончилась в 2015 г., а технологии COM/DCOM уже не развиваются Microsoft, которая для своих нужд заменила их на более современные, например .NET;
- поддержка стандарта OPC существенно увеличивает сложность программного обеспечения, так как при реализации технологии COM/DCOM необходимо:

- 1) использование двух языков программирования (.idl для описания интерфейсов и С++ для реализаций);
- 2) создание «прокладочного» кода для реализации СОМ-объекта на базе С++ класса при написании собственных классов;
- 3) программирование обработки ошибок регистрации в реестре и пр.

Помимо перечисленных выше недостатков использование технологий OPC накладывает существенные ограничения на число получаемых параметров оборудования, которое не может превышать число, предусмотренное производителем для встроенного OPC-сервера.

Другим решением может стать использование единого OPC-сервера, передающего данные на сервер SCADA-системы от оборудования (рис. 4).

При использовании этой схемы одновременно и проблемой, и единственным средством взаимодействия с оборудованием является OPC-сервер. Данное решение лучше использования отдельного OPC-сервера для каждого типа оборудования, но в результате получается лишнее звено, снижающее отказоустойчивость системы в целом.

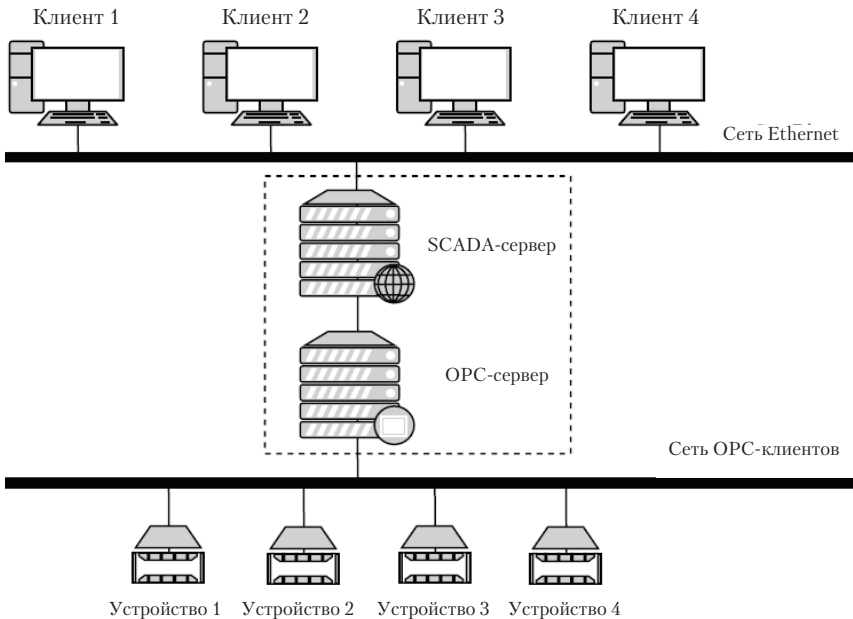


Рис. 4. Схема передачи данных на базе единого OPC-сервера

Альтернатива использованию стандарта OPC для передачи данных

Альтернативой применению стандарта OPC может служить использование стандартных открытых коммуникационных протоколов, широко применяемых в промышленности для организации связи между электронными устройствами. К таким протоколам относятся:

- протоколы сети Profibus. Profibus – открытая промышленная сеть, прототип которой разработан компанией Siemens AG. Profibus является одним из самых распространенных в мире сетевых стандартов – используется в Европе, весьма популярен в Северной и Южной Америке [10];
- MODBUS – открытый коммуникационный протокол, базирующийся, как и Profibus, на архитектуре «Master-Slave» («Ведущий-Ведомый») [11]. MODBUS является на данный момент самым распространенным промышленным открытым коммуникационным протоколом в мире; в РФ он конкурирует только с Profibus.

Сравнивая эти протоколы, можно прийти к выводу, что протокол MODBUS является лучшим вариантом для SCADA-системы, поскольку его поддерживает большее число типов оборудования: так, на 2014 г. с его поддержкой выпускается много типов и моде-

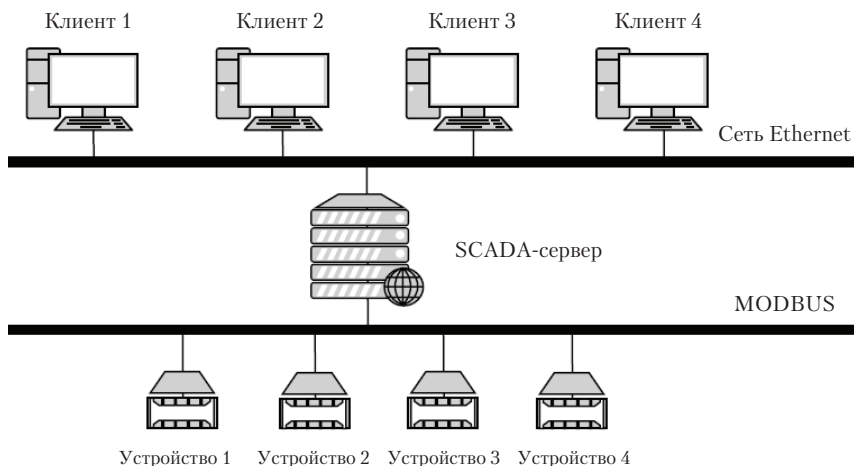


Рис. 5. Использование для передачи данных коммуникационного протокола MODBUS

лей датчиков, исполнительных устройств, модулей обработки и нормализации сигналов, а также другого оборудования, как нового, так и старого, используемого в SCADA-системах [10]. Протокол MODBUS является самым популярным промышленным протоколом в мире и может использоваться для передачи данных через проводные интерфейсы RS-485, RS-422, RS-232, сети TCP/IP, а не только Ethernet. Кроме того, протокол Profibus поддерживает лишь определенные Ethernet-коммутаторы, что накладывает дополнительные ограничения на его использование. Обобщив все вышеперечисленное, можно построить схему решения на базе протокола MODBUS (рис. 5).

Заключение

Анализ существующих SCADA-систем показал, что в большинстве случаев, решая задачу автоматизации производственных процессов, целесообразно разрабатывать новую систему, учитывающую особенности используемого оборудования.

Качество разрабатываемой SCADA-системы во многом определяется выбранным способом обмена данными между системой и оборудованием, обслуживающим технологический процесс, – датчиками, контроллерами и т. п. При этом вместо применяемого в настоящее время стандарта OPC, базирующегося на устаревших технологиях, следует использовать открытый коммуникационный протокол MODBUS, предоставляющий больше возможностей и накладывающий меньше ограничений. Предложенное решение не только оказывается актуальным, так как не использует устаревшие и излишне сложные технологии, но и является более эффективным в сравнении с существующими реализациями.

Литература

1. *Пьявченко Т.А.* Проектирование АСУТП в SCADA-системе: Учеб. пособие. Таганрог: Изд-во Технологического института ЮФУ, 2007. 84 с.
2. *Куцевич Н.А.* SCADA-системы, или муки выбора // ASUTP.ru. URL: <http://www.asutp.ru> (дата обращения 22 авг. 2018).
3. *Беньков А.А.* Состав расширенных SCADA для систем управления эксплуатацией сложных технических комплексов // Молодежный научно-технический вестник. 2012. № 9. С. 17. URL: <http://ainsnt.ru/doc/479366.html> (дата обращения 22 авг. 2018).
4. OpenSCADA. URL: <http://oscada.org> (дата обращения 2 сент. 2018).
5. LinuxSCADA. URL: <http://linuxscada.info/argos.htm> (дата обращения 2 сент. 2018).

6. SZARP / GitHub. URL: <https://github.com/Newterm/szarp> (дата обращения 2 сент. 2018).
7. FreeSCADA. URL: <http://www.proryv.com/soft/freescada> (дата обращения 2 сент. 2018).
8. Андреев Е.Б., Куцевич Н.А., Синенко О.В. SCADA-системы: взгляд изнутри. М.: РТСофт, 2004. 176 с.
9. Шерешевский Л.А. Вопросы открытости современных SCADA-систем на примере WinCC // Мир компьютерной автоматизации. 2003. № 4. С. 86–88.
10. Энциклопедия АСУТП. URL: <http://bookasutp.ru> (дата обращения 02 сент. 2018).
11. Денисенко В.В. Протоколы MODBUS и MODBUS TCP // Современные протоколы автоматизации. 2010. № 4. С. 94–98.

References

1. Pyavchenko TA. Design of automatic control system of technological process in SCADA: Manual. Taganrog: Technological Institute of Southern Federal University Publ.; 2007. 84 p. (In Russ.)
2. Kutsevich NA. SCADA-systems, or a difficulty of choice. ASUTP.ru. [Internet]. [data obrashcheniya 22 aug. 2018]. URL: <http://www.asutp.ru> (In Russ.)
3. Ben'kov AA. Composition of modern SCADA for control systems in operation of complex technical facilities. *Molodezhnyi nauchno-tekhnicheskii vestnik* [Internet]. 2012;9:17 [data obrashcheniya 22 aug. 2018]. URL: <http://ainsnt.ru/doc/479366.html> (In Russ.)
4. OpenSCADA. [Internet]. [data obrashcheniya 2 sept. 2018]. URL: <http://oscada.org>
5. LinuxSCADA. [Internet]. [data obrashcheniya 2 sept. 2018]. URL: <http://linuxscada.info/argos.htm> .
6. SZARP / GitHub. [Internet]. [data obrashcheniya 2 sept. 2018]. URL: <https://github.com/Newterm/szarp> .
7. FreeSCADA. [Internet]. [data obrashcheniya 2 sept. 2018]. URL: <http://www.proryv.com/soft/freescada> (In Russ.)
8. Andreev EB., Kutsevich NA., Sinenko OV. SCADA-systems inside. Moscow: RTSOFT Publ.; 2004. 176 p. (In Russ.)
9. Shereshevsky LA. Issues of openness of Modern SCADA-systems by the example of WinCC. *World of Computer Automation*. 2003;4:86-8. (In Russ.)
10. ACSTP Encyclopedia. [Internet]. [data obrashcheniya 2 sept. 2018]. URL: <http://bookasutp.ru> (In Russ.)
11. Denisenko VV. MODBUS and MODBUS TCP Protocols. *Modern Automation Protocols*. 2010:94-8. (In Russ.)

Информация об авторах

Галина С. Иванова, доктор технических наук, профессор, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия; Россия, Москва, 105005, 2-я Бауманская ул., д. 5; gsivanova@bmstu.ru

Максим В. Беккер, студент, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия; Россия, Москва, 105005, 2-я Бауманская ул., д. 5; altwarg@outlook.com

Information about the authors

Galina S. Ivanova, Dr. of Sci. (Engineering), professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia; bld. 5, 2nd Bauman str., Moscow, 105005, Russia; gsivanova@bmstu.ru

Maxim V. Bäcker, student, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia; bld. 5, 2nd Bauman str., Moscow, 105005, Russia; altwarg@outlook.com

Разработка приложения-конвертера в рамках информационной системы по обработке информации

Марина С. Шаповалова

*Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, mshapovalova84@gmail.com*

Аннотация. В статье описан процесс разработки приложения-конвертера для информационной системы с целью анализа данных по научным публикациям российских ученых по естественным наукам, включенных в РИНЦ. Информационная система носит справочный характер и позволяет оперативно анализировать информацию.

Ключевые слова: информационная система, база данных, индекс цитирования, разработка, конвертер

Для цитирования: Шаповалова М.С. Разработка приложения-конвертера в рамках информационной системы по обработке информации // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2019. №1 (2). С. 21–41. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-1-21-41

Converter application development within the data processing information system

Marina S. Shapovalova

*Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia, mshapovalova84@gmail.com*

Abstract. The article describes the process of developing an application converter for an information system in order to analyze data on scientific publications of Russian scientists on natural sciences included in the RSCI. Information system is for reference only and allows quick data analyzing.

Keywords: information system, data base, citation index, application development, converter

For citation: Shapovalova MS. Converter application development within the data processing information system. *RSUH / RGGU Bulletin. "Information Science. Information Security. Mathematics" Series.* 2019;1(2):21-41. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-1-21-41

Введение

В рамках реализации гранта РФФИ № 18-07-00036 А «Классификация тематических баз данных о результативности российских исследований в естественнонаучных отраслях наук» была разработана информационная система «Научные данные», позволяющая оперативно производить анализ научных публикаций по основным наукометрическим показателям исследователя и организации: количеству публикаций, индексу цитирования, индексу Хирша, востребованности итогов исследований автора.

Требования к системе

Требования к разрабатываемому программному обеспечению включали простоту его использования, а также достаточно эффективный поиск и выборку относительно анализируемого объема данных, импортируемых из библиографических баз данных научного цитирования РИНЦ. Поскольку в рамках решаемой задачи есть необходимость распечатки отчетов, система должна поддерживать работу с печатными формами. Сама задача предполагает возможность выборки данных по следующим запросам: поиск максимального индекса Хирша по публикациям сотрудников организации; выбор города с наибольшим количеством публикаций по выбранной отрасли науки; поиск организаций, публикации которых наиболее востребованы. Такие запросы могут иметь детализацию в рамках отрасли, города, организации и сотрудника данной организации. Эти требования приводят к тому, что в информационной системе главная роль будет отводиться базе данных (БД), поэтому задачей становится выбор системы управления базами данных (СУБД) для реализации проекта в рамках технического задания [1].

Необходимо отметить, что в базу данных как одну из составляющих информационной системы может быть помещено относительно небольшое количество (порядка 5000–10000) записей, поскольку в рамках гранта анализируются данные первых двухсот организаций – лидеров в области научных публикаций. Система должна быть минимально требовательна к ресурсам, и выбранная СУБД должна работать на локальном персональном компьютере, поскольку нет необходимости широко использовать технологию «клиент-сервер» для удаленного доступа к базе. Исходя из этих требований, можно остановиться на СУБД MS Access, поскольку она широко распространена, удовлетворяет поставленным требованиям к информационной системе и может осуществить простой импорт данных в базу из других офисных приложений пакета Microsoft.

Разработка системы и конвертера

В работе с данными разных форматов используются конвертеры, которые могут быть как универсальными, т. е. переводить информацию из одного формата в другой вне зависимости от структуры исходной информации, как в работах [2–4], так и узкоспециализированными – использоваться для решения одной специфической задачи, как в данной статье.

Для простоты разработки базы данных и легкости импорта данных было принято решение ограничиться всего лишь одной таблицей в базе, приведенной к первой нормальной форме.

В соответствии с техническим заданием таблица Autor состоит из следующих полей.

Таблица Autor

| Имя поля | Описание поля |
|--------------|--|
| ID | Представляет индекс для поиска информации. Числовой тип данных. Ключевое поле |
| Rubr | Название рубрики. Текстовый тип данных |
| City | Название города. Текстовый тип данных |
| Familya | Фамилия автора. Текстовый тип данных |
| Imya | Имя автора. Текстовый тип данных |
| Otchestvo | Отчество автора. Текстовый тип данных |
| Organization | Организация, в которой работает автор Текстовый тип данных |
| Publ | Количество публикаций автора Числовой тип данных |
| Cit | Количество цитирований автора Числовой тип данных |
| Hirsh | Индекс Хирша автора. Числовой тип данных |

Приведенная выше структура прежде всего удобна для последующего импорта в таблицу БД при условии, что данные полей таблицы и книги MS Excel совпадают по названию и типу. Пример исходных данных представлен на рис. 1.

| 50 | Автоматика и вычислительная техника | | | |
|----|--|-------|-------|------|
| № | Автор | Публ. | Цит. | Хирш |
| 1. | Новиков Дмитрий Александрович* Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (Москва) | 353 | 15549 | 50 |
| 2. | Король Александр Аркадьевич* Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (Новосибирск) | 562 | 12529 | 48 |

Рис. 1. Пример исходных данных

Для приведения к формату, необходимому для импорта данных в базу, используются макросы языка Visual Basic for Applications (VBA). Перед работой макросов исходные данные помещаются на лист входных данных. Дело в том, что эти данные не соответствуют формату таблицы, в частности, ФИО автора, место его работы, город находятся в одном поле, а индекс Хирша, количество цитирований и количество публикаций расположены в отдельных колонках. Поскольку данные импортируются из электронной системы e-library в MS Excel, то из-за особенностей импорта в таблицах могут присутствовать объединение ячеек и пустые строки и столбцы между заполненными.

Для приведения данных к необходимому формату потребуется ряд макросов для разделения длинной подстроки на необходимые части. Поскольку при импорте данных могут быть объединенные ячейки, необходимо составить макрос для отмены такого объединения [5].

```
Sub unmerge()' снятие объединенных ячеек
j = rowcount
kol = colcount
Range(Cells(1, 1), Cells(j - 1, kol - 1)).Select
Selection.unmerge
Cells(1, 1).Select
End Sub
```

На рис. 2 представлен результат работы макроса unmerge.

Как видно на рисунке, ячейки c4, d4, e4, f4 – пустые. При отмене объединения строк могут быть получены полностью пустые строки. Для определения данных при импорте необходимо выполнить подсчет непустых строк и столбцов исходной таблицы с использованием макросов colcount и rowcount. Соответствующие макросы

| | A | B | C | D | E | F |
|---|----|--|-------|-------|------|---|
| 1 | 27 | Математика | | | | |
| 2 | № | Автор | Публ. | Цит. | Хирш | |
| 3 | 1. | Левин Андрей Михайло | 1264 | 26881 | 63 | |
| 4 | | * Национальный исследовательский | | | | |

Рис. 2. Результат работы макроса unmerge

будут носить вспомогательный характер, поскольку в исходных данных будут удаляться отдельные пустые строки и столбцы.

Function colcount() ' количество непустых столбцов

Dim kol As Integer

kol = 1

z1: Do While Cells(2, kol) <> «»

kol = kol + 1

Loop

If Cells(2, kol) = «» And Cells(2, kol + 1) <> «» Then

kol = kol + 1

GoTo z1

End If

colcount = kol

End Function

Function rowcount() ' подсчет непустых строк

по данным 2 столбца

Dim j As Integer

j = 1

z: Do While Cells(j, 2) <> «»

j = j + 1

Loop

```

If Cells(j, 2) = «» And Cells(j + 1, 2) <> «» Then j = j + 1
GoTo z
End If
rowcount = j End Function

```

На следующем этапе необходимо оставить только один пробел между словами. Это возможно с помощью функции СЖПРОБЕЛЫ() MS Excel, однако реализация упрощается представленным ниже макросом.

```

Sub delspaces()
Dim i As Integer
For i = 3 To rowcount
Cells(i, 11).Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = «=TRIM(RC[-9])»
Next i
End Sub

```

Далее важным этапом является разделение длинной строки с полной информацией об авторе, представленной в исходных данных, на составные части. Для эффективного приведения данных к необходимому формату предлагается следующий алгоритм:

1. Скопировать данные на дополнительный лист.
2. Снять объединение ячеек.
3. Удалить пустые строки.
4. Выделить организацию – слово, стоящее между символами «(» и «)»
5. Выделить город – слово, стоящее последним.
6. Вставить выделенные слова на рабочий лист.

Промежуточный результат выполнения макроса по выделению названий города и организации представлен на рис. 3.

```

Sub cityorg_work_3() ' вставка города и организации
Sheets(«city»).Select
' снимаем объединение ячеек
unmerge
del_non_emty_rows 'удаляем непустые строки
' считаем количество строк
' удаление пустых строк
j = rowcount - 1
For k = 2 To j

```

```

Trim (Cells(k, 2)) 'удаление пробелов
If Cells(k, 2) = "" Or Cells(k, 2) = " " Then ' проверка на пустое
значение или пробел
ActiveSheet.Rows(k).Delete ' удаление строки
End If
Next k
'выделение города и организации
For k = 2 To rowcount - 1 Step 1
p1 = InStrRev(Cells(k, 2), «(» ' поиск знака (
p2 = InStrRev(Cells(k, 2), «)» ' поиск знака )
lens = Len(Cells(k, 2)) ' длина текущей строки
If p1 <> 0 Then ' проверка на отсутствие города
org = str + «(» + Left(Cells(k, 2), p1 - 1)
' выделить данные организации
выделить данные города
str = «»
Else
str = Left(Cells(k, 2), lens) ' часть данных об организации
org = «»
city = «»
End If
Cells(k, 7) = city ' город
Cells(k, 8) = org ' организация
Next k
'удаление пустых строк в 7 столбце
j = rowcount - 1
For k = 2 To j
Trim (Cells(k, 7)) 'обрезка строки
If Cells(k, 7) = «» Or Cells(k, 7) = «(» Then
' проверка на пустое значение или пробел
ActiveSheet.Rows(k).Delete ' удаление строки
End If
Next k
j = rowcount - 1
'вставка данных города на лист автор
Range(Cells(2, 7), Cells(j, 7)).Select
Selection.Copy
Sheets(«Автор»).Select

```

```

m = rowcountautor ' первое непустое для страницы автор
Range(Cells(m, 3), Cells(m + j, 3)).Select
ActiveSheet.Paste
'вставка данных города на лист автор
Sheets(«city»).Select
Range(Cells(2, 8), Cells(j, 8)).Select
Selection.Copy
Sheets(«Autor»).Select
Range(Cells(m, 7), Cells(m + j, 7)).Select
ActiveSheet.Paste
End Sub

```

Аналогично происходит разделение данных для полей Фамилия, Имя и Отчество (рис. 4). Для простоты работы из всех данных отсекается часть строки, содержащая название города и организации, а полученная строка разделяется на три части. Необходимо также учесть возможность публикации материалов автором под другой фамилией, которая в системе указывается в скобках, и авторов, у которых нет отчества. Текст макроса представлен ниже.

```

Sub fio_work_2() ' выделение фамилии, имени
и отчества автора
Sheets(«Input»).Select
unmerge 'снимаем объединение ячеек
del_rows 'удаляем пустые строки
' убираем лишние пробелы через функцию сжпробелы
и вставляем
' результат в 11 столбец
delspaces 'удаляем пустые строки
del_rows 'считаем количество строк
j = rowcount - 1
For k = 3 To j Step 1
sp1 = InStr(1, Cells(k, 11), " ") ' первый пробел
sp2 = InStr(sp1 + 1, Cells(k, 11), " ") ' второй пробел
sp3 = InStrRev(Cells(k, 11), " ") ' третий пробел
p2 = InStrRev(Cells(k, 11), «») ' поиск знака )
st = InStrRev(Cells(k, 11), «*») ' поиск знака *
lens = Len(Cells(k, 11)) - st + 1 ' позиция * для отрезания
от строки

```

| A2 | X | ✓ | ✗ | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
|----|---|-------|------|------|---|---|---|---|---|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| № | Автор | Публ. | Цит. | Хирш | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики" | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (Новосибирск) | | | | | | | | | Москва | | | | | | | | |
| 3 | Санкт-Петербург | | | | | | | | | Новосибирск | | | | | | | | |

Рис. 3. Выделение данных по полям «Город», «Организация»

```

If sp1 = 0 Then ' если строка пустая, то удалить ее содержимое
ActiveSheet.Rows(k).Delete ' удаление строки
Else
If p2 = 0 Then ' проверяем на наличие скобок в слове
fam = Left(Cells(k, 11), sp1 - 1) ' выделяем фамилию
' правим имя
If sp2 <> 0 Then ' если второй пробел есть
nam = Mid(Cells(k, 11), sp1 + 1, sp2 - sp1 - 1)
' выделяем имя до позиции 2го пробела
If st = 0 Then ' если * в конце строки нет
otch = Mid(Cells(k, 11), sp2 + 1, Len(Cells(k, 11)) - sp2)
' выделяем отчество до конца строки от 2 пробела
Else
otch = Mid(Cells(k, 11), sp2 + 1, Len(Cells(k, 11)) - lens - sp2)
' выделяем отчество, вычитая длину до *
End If
Else
If st = 0 Then
nam = Mid(Cells(k, 11), sp1 + 1, Len(Cells(k, 11)) - sp1 - 1)
' выделяем имя до позиции конца строки
Else
nam = Mid(Cells(k, 11), sp1 + 1, Len(Cells(k, 11)) - lens - sp1 - 1)
' выделяем имя, вычитая длину до *
End If
otch = «»
End If
Else ' наличие скобок
fam = Left(Cells(k, 11), p2) ' выделяем фамилию
nam = Mid(Cells(k, 11), p2 + 2, sp3 - p2 - 1) ' выделяем имя
If st = 0 Then
otch = Mid(Cells(k, 11), sp3 + 1, Len(Cells(k, 11)) - sp3) '
выделяем отчество
Else
otch = Mid(Cells(k, 11), sp3 + 1, Len(Cells(k, 11)) - lens - sp3)
' выделяем отчество вычитая длину до *
End If
End If ' наличие скобок

```

| 1 | 27 | Математика | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|--------------------------------|-------|-------|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 2 | № | Автор | Публ. | Цит. | Хиты | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 1. | Левин Андрей Михайлович | 1264 | 26881 | 63 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 2. | Масленников Алексей Леонидович | 667 | 14392 | 48 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 3. | Вечернин Владимир Владимирович | 232 | 6714 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | |

Рис. 4. Разделение данных по полям «Фамилия», «Имя», «Отчество»

```
'запись данных в ячейку
Cells(k, 7) = fam 'фамилия
Cells(k, 8) = nam 'имя
Cells(k, 9) = otch 'отчество
End If 'конец вставки данных
Next k
Range(Cells(3, 7), Cells(k, 9)).Select
Selection.Copy
Sheets("Autor").Select 'вставка данных на лист автор
m = rowcountautor 'количество непустых строк листа autor
Range(Cells(m, 4), Cells(m + k, 6)).Select
ActiveSheet.Paste
'Selection.Paste
'конец вставки данных
End Sub
```

Промежуточный результат работы макроса fio_work_2() представлен на рис. 4.

Остальные данные можно вставить в соответствующие столбцы и пронумеровать добавленные строки.

```
Sub pastedata_work_4() 'вставка хирша и индексов
Sheets(«Input»).Select
'убрать сгруппированные ячейки
unmerge
del_col
'удаляем пустые ячейки
del_rows
j = rowcount - 1
ActiveSheet.Range(Cells(3, 3), Cells(j, 5)).Select 'копируем
индексы
Selection.Copy
Sheets(«Autor»).Select
m = rowcountautor 'количество непустых строк листа autor
Range(Cells(m, 8), Cells(m + j, 10)).Select
ActiveSheet.Paste 'вставляем данные на лист автор
'вставка рубрики
Sheets(«Input»).Select
Range(«B1»).Select
```



```

Selection.Copy
Sheets(«Autor»).Select
Range(Cells(m, 2), Cells(m + j, 2)).Select
ActiveSheet.Paste ' вставляем данные рубрики на лист автор
Cells(m, 1).Select
' вставляем номера ячеек
numb_5
End Sub
Sub numb_5() ' вставка номеров добавленных строк
Sheets(«Input»).Select
j = rowcount - 1
Sheets(«Autor»).Select
m = rowcountautor ' количество непустых строк листа autor
' вставляем номера ячеек
For i = m To m + j
Cells(i, 1) = i
Next i
End Sub

```

Для приведения данных к необходимому формату нужно выполнить макросы в последовательности, которая описана в руководстве пользователя и представлена на первом листе рабочей книги Excel. Из-за того что часть макросов работает с достаточно большими объемами данных, их необходимо выполнять последовательно. Внешний вид рабочей страницы представлен на рис. 5, а пример данных, готовых для импорта, на рис. 6.

Приведенные к необходимому формату данные можно импортировать стандартными средствами MS Access.

Выбор данных из базы реализован с помощью запросов на языке SQL. Часть этих запросов однотипна, поэтому далее представлены только основные типы.

Для расчета индекса востребованности,

I_v = индекс цитирования / количество публикаций

создан запрос, вычисляющий этот индекс для всех данных, представленных в таблице Autor:

```

SELECT Autor.ID, Autor.rubr, Autor.city, Autor.familiya, Autor.
imyа, Autor.otchestvo, Autor.organization, Autor.publ, Autor.cit,
Autor.hirsh, Round(Autor!cit/Autor!publ,1) AS Iv FROM Autor;

```

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Вставьте данные в лист Input, скопировав их из исходного документа Word. | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Предварительно удалите пустые строки вверху. Если документ скопирован, запустите макрос по вставке всех данных. | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Если данный макрос не работает, то по очереди запустите остальные макросы в порядке их номеров. | | | | | | | | | | | | |
| 4 | После импорта проверьте правильность скопированных данных, могут быть пустые значения и сдвиги текста | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Макрос по вставке всех данных | | | | | | | | | | | | |
| 8 | запуск главного макроса | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 1. скопировать данные на лист city | | | | | | | | | | | | |
| 12 | вспомогательные макросы | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 2. вставить данные по городу | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 3. вставить данные по фио | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 4. вставить данные по индексам | | | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 5. убрать добавочные листы и очистить данные | | | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | | | | | |

Рис. 5. Внешний вид листа «Инструкция»

| ID | rubr | city | familya | imya | otchestvo | organizacii | publ | cit | hirsh |
|----|------------|----------|----------|----------|-----------|-------------|------|-------|-------|
| 1 | Информатик | Москва | Цветков | Виктор | Яковлев | Научно-и | 1021 | 28179 | 96 |
| 2 | Информатик | Королев | Артюшен | Владимир | Михайлов | Технолог | 199 | 4437 | 45 |
| 3 | Информатик | Санкт-Пе | Зарочин | Андрей | Констант | Санкт-Пе | 160 | 6000 | 43 |
| 4 | Информатик | Красноде | Тимошен | Леонид | Иванов | Красноде | 127 | 4719 | 43 |
| 5 | Информатик | Новосиб | Максимо | Дмитрий | Александр | Институт | 360 | 6201 | 40 |
| 6 | Информатик | Москва | Колин | Констант | Констант | Федерал | 330 | 5663 | 38 |
| 7 | Информатик | Москва | Сарычев | Андрей | Карлов | Институт | 214 | 5437 | 33 |
| 8 | Информатик | Москва | Шайтура | Сергей | Владимир | Российск | 188 | 2776 | 31 |
| 9 | Информатик | Москва | Остроух | Андрей | Владимир | Московск | 351 | 4638 | 30 |
| 10 | Информатик | Москва | Варламов | Олег | Олегович | ООО МИЕ | 424 | 3250 | 29 |

Рис. 6. Внешний вид данных, готовых к импорту

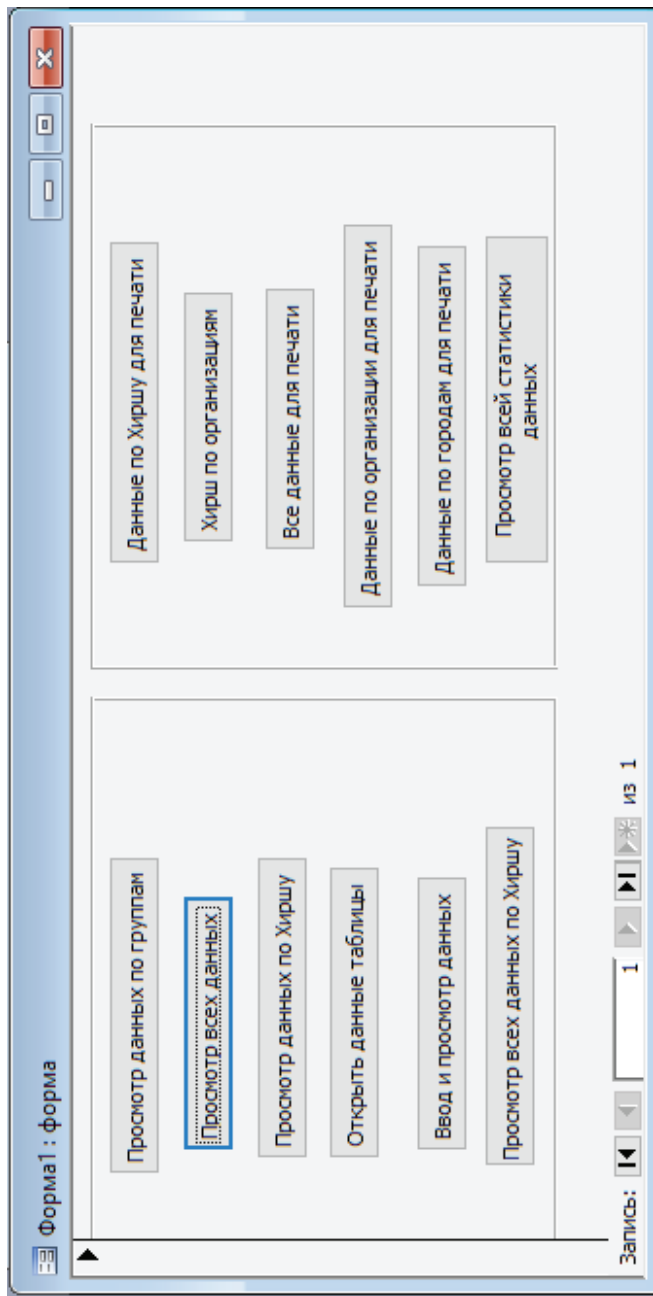


Рис. 7. Внешний вид стартового окна системы

Для формирования статистики в рамках гранта нужны данные, которые позволяют найти исследователя или организацию с наибольшим значением одного из показателей: индекса цитирования, индекса Хирша, количества публикаций. Такой запрос имеет однотипную структуру, поэтому далее представлен только один запрос по поиску максимального индекса Хирша среди авторов публикаций:

```
SELECT Autor.rubr, Autor.city, Autor.organization, Max(Autor.hirsh) AS [Max-hirsh] FROM Autor GROUP BY Autor.rubr, Autor.city, Autor.organization;
```

Еще один тип запросов – нахождение суммарного количества публикаций, цитирований и максимального индекса Хирша для города, организации и конкретного сотрудника. Ниже представлен программный код этого запроса.

```
SELECT Autor.rubr, Autor.city, Autor.organization, Sum(Autor.publ) AS [Sum-publ], Sum(Autor.cit) AS [Sum-cit], Max(Autor.hirsh) AS [Max-hirsh], Max(Round(Autor!cit/Autor!publ,1)) AS Iv FROM Autor GROUP BY Autor.rubr, Autor.city, Autor.organization;
```

На основе запросов подготовлены формы для просмотра информации и отчеты для печати данных. Для удобства пользователей эти отчеты сгруппированы по критерию формирования выборки данных. Например, из стартового окна системы можно просматривать и редактировать таблицы, а также просматривать отчеты по представленным данным (рис. 7).

С помощью кнопок на форме сделана навигация, которая позволяет перейти на необходимую форму или распечатать отчет.

Например, при работе с системой данные скомпонованы по принципу вложенности; так, при переходе с главной страницы пользователь попадает на форму, на которой представлена информация по рубрике и городу (рис. 8).

Система позволяет напечатать отчеты как по статистике тематической рубрики, так и по данным цитирования, востребованности или индекса Хирша.

Переход по кнопке «Подробнее» позволяет просмотреть данные по организациям для каждой рубрики и города. На форме, представленной на рис. 8, показана общая статистика по каждой рубрике и городу.

При необходимости можно просмотреть данные по конкретному сотруднику, его показателям индекса Хирша, количеству цитирований и публикациям. Также возможен просмотр статистики по максимальным значениям показателей, представленных на рис. 9, как для рубрики в целом, так и для организации, города и автора. Внешний вид печатных форм повторяет структуру форм для просмотра, поэтому их вид здесь не приводится. Необходимо отметить,

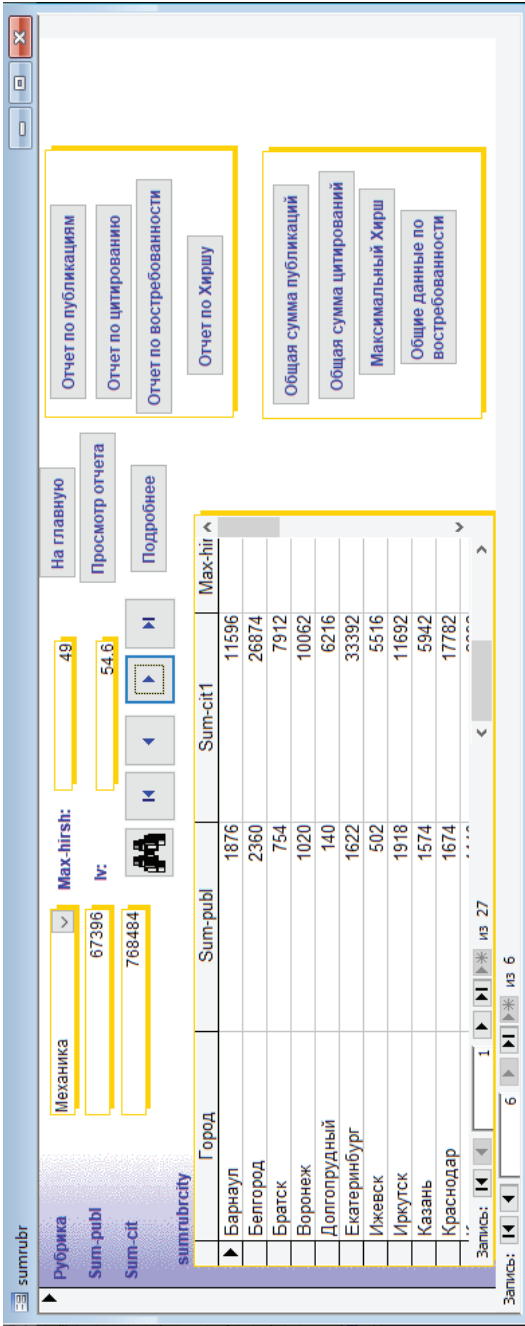


Рис. 8. Внешний вид формы «Просмотр данных по группам»

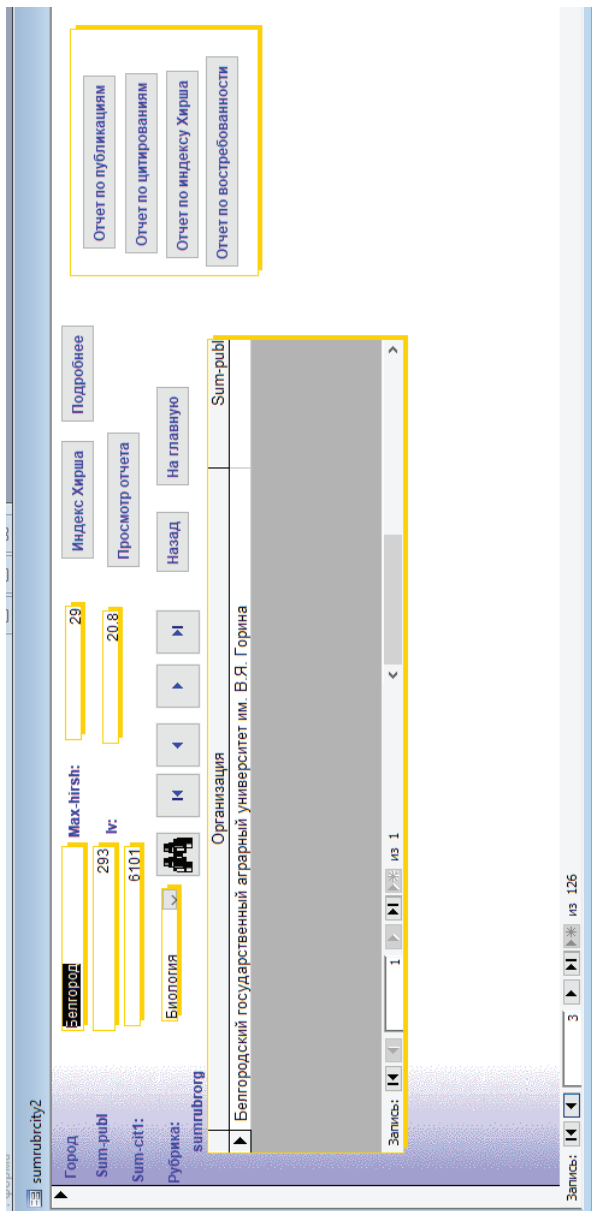


Рис. 9. Внешний вид формы «Просмотр данных по городу и рубрике»

что ввод данных в таблицу Автор при необходимости также можно осуществлять вручную с помощью формы для просмотра всех записей.

Заключение

После анализа предметной области и требований к системе сделан вывод, что требовалось разработать и реализовать информационную систему, позволяющую осуществлять статистический анализ данных из баз научного цитирования. Поскольку сам анализ данных относительно несложен, было принято решение реализовать базу данных с помощью MS Access. Разработанная система соответствует поставленной задаче и позволяет проводить анализ данных по публикациям российских авторов. Наибольшую сложность представляла разработка конвертера для приведения данных к формату, необходимому для импорта в базу данных. Реализация конвертера позволила дополнить базу данных необходимым инструментом.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 18-07-00036 А.

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Grant No. 18-07-00036 A.

Литература

1. *Коннолли Т., Бегг К.* Базы данных. Проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика. М.: Вильямс, 2017. 1440 с.
2. *Канунова Е.Е.* Разработка программы-конвертера исходного кода программ // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2015. № 3 (32). С. 25–34.
3. *Широбокова С.Н., Титаренко С.В., Ткаченко Ю.В.* Особенности моделей данных автоматизированного конвертера «ToAD Converter» для реализации в среде Delphi и для web-реализации // 7-я Международная научно-практическая конференция «Теория, методы проектирования, программно-техническая платформа корпоративных информационных систем». Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова, 2009.
4. *Козлова С.А.* Конвертер для подготовки данных к их интеллектуальному анализу // Молодежная наука 2017: технологии и инновации: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Пермь: ФГБОУ ВО «Пермская государственная сельскохозяйственная академия им. академика Д.Н. Прянишникова», 2017.
5. *Демидова Л.А., Пылькин А.Н.* Программирование в среде Visual Basic for Applications. М.: Горячая линия-телеком, 2004. 175 с.

References

1. Connolly T., Begg C. Database systems. A practical approach to design, implementation, and management. Moscow: Williams Publ.; 2017. 1440 p. (In Russ.)
2. Kanunova E., Source code converter development. *Algoritmy, metody i sistemy obrabotki dannykh*. 2015;3(32): 25-34. (In Russ.)
3. Shirobokova S., Titarenko S., Tkachenko U. Data models features of the automated converter "ToAD Converter" for implementation in the Delphi environment and in the WEB. V: 7th International research and practice conference "Theory, design methods, software and technical platform of corporate information systems". Novocherkassk: Platov South-Russian State Polytechnic University Publ.; 2009. (In Russ.)
4. Kozlova S. Data intellectual analysis preparing converter. V: Youth Science 2017: Technology and Innovation. Proceedings of the All-Russia research and practice conference. Perm: Perm State Agricultural Academy Publ.; 2017. (In Russ.)
5. Demidova LA., Pyl'kin AN. Programming in Visual Basic for Applications. Moscow: "Goryachaya Linia-Telecom" Publ.; 2004. 175 p. (In Russ.)

Информация об авторе

Марина С. Шаповалова, кандидат педагогических наук, доцент, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия; 105005, Россия, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1; mshapovalova84@gmail.com

Information about the author

Marina S. Shapovalova, Cand. of Sci. (Pedagogics), Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia; bld. 5, 2nd Bauman str., Moscow, 105005, Russia; mshapovalova84@gmail.com

Информационная безопасность

УДК 004.56

DOI: 10.28995/2686-679X-2019-1-42-50

О востребованности результатов исследований российских ученых в области информационной безопасности

Валерий В. Арутюнов

*Российский государственный гуманитарный университет,
Москва, Россия, warut698@yandex.ru*

Александр И. Мещерский

*Российский государственный гуманитарный университет,
Москва, Россия, amesherskiy97@mail.ru*

Аннотация. Рассматриваются различные методики оценки результативности научной деятельности. На основе ряда наукометрических показателей (публикационной активности, цитируемости и др.) по данным Научной электронной библиотеки России для российских ученых, работающих в области информационной безопасности, выявлена динамика публикаций, их цитируемости и востребованности в 2012–2018 гг. результатов их исследований, отраженных в публикациях; определены ученые-лидеры в этой области исследований, отличающиеся высокими показателями цитируемости и индекса Хирша, что свидетельствует о мировом уровне научной активности этих ученых. Выявленный рост доли публикаций за анализируемый период в сфере информационной безопасности относительно всей предметной области, к которой эта сфера исследований относится, свидетельствует о все более ответственном отношении в России к вопросам обеспечения информационной безопасности в последние годы.

Ключевые слова: информационная безопасность, цитируемость, защита информации, комплексные проблемы наук, публикационная активность, результативность научной деятельности

Для цитирования: Арутюнов В.В., Мещерский А.И. О востребованности результатов исследований российских ученых в области информационной безопасности // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2019. №1 (2). С. 42–50. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-1-42-50

© Арутюнов В.В., Мещерский А.И., 2019

On the demand
for the Russian scientists research results
in the area of information security

Valery V. Arutyunov

*Russian State University for the Humanities,
Moscow, Russia, warut698@yandex.ru*

Alexander I. Meshcherskii

*Russian State University for the Humanities,
Moscow, Russia, amesherskiy97@mail.ru*

Abstract. The article considers various methods of assessing the effectiveness of scientific activities. On the basis of a number of scientometric indicators (publication activity, citation, etc.) and following the data from the Scientific electronic library of Russia, the authors reveal the dynamics of publications Russian scientists, working in the field of information security, their citation and relevance in 2012–2018 of their research results reflected in the publications. It is defined, who among scientists in that field of research, are the leaders characterized by high rates of citation and h-index, which indicates the world level of scientific activity of those scientists. The revealed increase in the share of publications in the field of information security in the analyzed period in relation to the entire subject area, to which that area of research belongs, indicates an increasingly responsible attitude in Russia to the issues of information security in recent years.

Keywords: information security, citation, data protection, complex problems of science, publication activity, efficiency of scientific activity

For citation: Arutyunov VV., Meshcherskii AI. On the demand for the Russian scientists research results in the area of information security. *RSUH / RGGU Bulletin. "Information Science. Information Security. Mathematics" Series.* 2019;1(2):42-50. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-1-42-50

Введение

Вторая декада XXI века для науки и высшего образования во многих странах мира и в России характеризуется как особый период, когда наука и образование стали превращаться в специализированные социальные сервисы, реализуемые в условиях жесткой конкуренции, а ученые и преподаватели становятся исполнителями услуг, качество которых в основном оценивается на основе набора количественных показателей. На место академической свободы и коллегиальности исследователей приходят тотальная подотчетность, управление и оценка работы ученых и преподавателей по конкретным количественным результатам.

В России в 2016 г. отмечено в различных отраслях знаний около 430 тыс. исследователей [1], большинству которых (и не только им) всегда была интересна оценка результатов их работы научным сообществом.

К настоящему времени известны следующие методики, оценивающие результативность научной деятельности исследователей на основе ряда специализированных показателей [2].

1. Оценка итогов работы системы с использованием метода экспертных оценок [3].

2. Анализ спроса на результаты исследований, отраженных в отчетах по НИОКР и диссертациях (используется в тех отраслях исследований, где формируется большое количество отчетов и защищается значительное число диссертаций по результатам работ, например, в геологоразведочной отрасли) [4].

3. Учет публикационной активности исследователя на основе ежегодного числа публикаций, в определенной мере определяющей продуктивность его научной деятельности.

4. Оценка с учетом наукометрических показателей результативности работ исследователя на основе их цитируемости C (в том числе с учетом числа публикаций P), индекса Хирша и востребованности V результатов его работ, определяемой соотношением C/P [5, 6].

Если метод экспертных оценок является, пожалуй, самым «древним» методом, в основе которого при оценке результатов работы исследователей учитывается мнение коллектива специалистов, основанное на их профессиональном, научном и практическом опыте, то вторая методика впервые активно начала использоваться для оценки эффективности исследований на примере геологоразведочной отрасли России с 90-х годов XX в., а последняя, характеризующаяся значительным числом публикаций в этой области, активно используется в различных сферах исследований (химии, медицине, геологии и др.) с 70-х годов прошлого века.

Анализ востребованности результатов исследований российских ученых в области информационной безопасности

Крупнейшая в мире система учета публикаций и цитирования Web of Science (WoS) включает в наши дни данные из более 19 тыс. авторитетных научных журналов мира, а система SCOPUS – данные из 23 тыс. журналов различных стран.

Большинство представленных в WoS журналов приходится на США, Великобританию и Нидерланды. В этих странах расположены крупнейшие, наиболее авторитетные в мире издательства

научной литературы, а также в них зарегистрированы многие ведущие международные научные журналы. Научная периодика других стран с трудом может попасть в этот круг изданий, индексируемых WoS.

Так как в WoS и SCOPUS по различным причинам лишь фрагментарно учитывались результаты публикаций и цитирования российских ученых, в России в конце первой декады XXI в. в Научной электронной библиотеке (НЭБ) России была начато формирование национальной базы RSCI (Russian Science Citation Index), которая стала четвертой по счету созданной национальной базой данных публикаций и цитирования в мире (до нее были созданы китайский, корейский и латиноамериканский аналоги). Она предназначена не только для оперативного обеспечения научных исследований актуальной справочной информацией в различных отраслях знаний, но является также и достаточно мощным инструментом, позволяющим осуществлять оценку результативности и эффективности деятельности научно-исследовательских организаций, ученых, журналов и т. д.

В настоящее время более половины пользователей российской базы данных составляют иностранцы, и лидер среди них – Китайская академия наук, которая очень внимательно следит за состоянием науки в России. Другим лидером является Egyptian Knowledge Bank – организация, предоставляющая доступ к научной информации стран Северной Африки.

На рис. 1 представлены показатели публикационной активности и цитируемости работ российских исследователей в области информационной безопасности (код тематической рубрики 81.93.29 в соответствии с Государственным рубрикатором научно-технической информации России – ГРНТИ), полученные из национальной базы данных НЭБ [7].

Как следует из рис. 1, если публикационная активность ученых возрастала с 2012 по 2017 г., то цитируемость результатов их работ, отраженных в публикациях, достигнув максимума в 2013 г., с 2014 г. начала уменьшаться (одна из причин этого спада, возможно, начало экономического кризиса в России, повлиявшего в том числе и на цитируемость работ в последующие годы).

При сравнении роста цитируемости публикаций в 2018 г. с аналогичными данными 2017 г. [8] выявлено, что наибольший рост цитируемости в 2018 г. (в полтора и более раз) отмечался для публикаций трех последних лет (2015–2017 гг.).

Следует отметить, что максимальные индексы цитирования в области информационной безопасности в конце 2018 г. равнялись 1270 и 1901 (ими обладали соответственно преподаватели Марков А.С. – Московский государственный технический

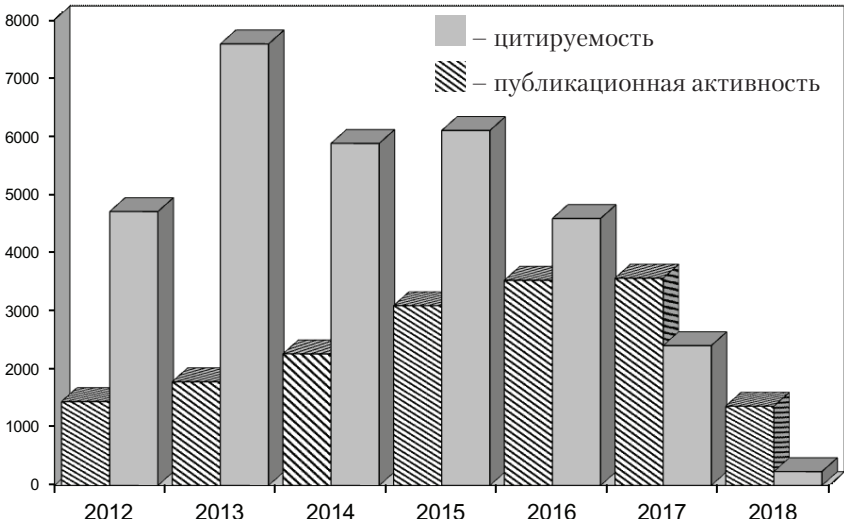


Рис. 1. Динамика публикационной активности и цитируемости российских ученых в области информационной безопасности

университет им. Н.Э. Баумана и Остапенко Г.А. – Воронежский государственный технический университет). По данным НЭБ их индексы Хирша равнялись соответственно 19 и 27, что по рекомендациям НЭБ соответствует мировому уровню научной активности исследователя.

При сравнении доли публикаций по рубрике 81.93.29 с общим количеством публикаций по тематической рубрике 81 (Общие и комплексные проблемы технических и прикладных наук и отраслей экономики) выявлен рост этой доли более чем в полтора раза: с 3,2 % в 2012 г. до 5,4 % в 2017 г., что свидетельствует о все более ответственном отношении в России во второй декаде XX в. к вопросам обеспечения информационной безопасности в различных сферах экономики и науки.

Этот факт подтверждается и при сравнении публикационной активности по рубрике 81.93.29 с общим количеством публикаций (рис. 2) по рубрике 43 (Общие и комплексные проблемы естественных и точных наук). В этом случае доля публикаций по рубрике 81.93.29 относительно числа публикаций по рубрике 43 только с 2012 г. по 2015 г. выросла с 38% до 45 %.

При этом следует отметить, что если ежегодное число публикаций по рубрикам 43 и 81.93.29 с 2014 г. примерно совпадает, то востребованность по рубрике 81.93.29 превышает аналогичные

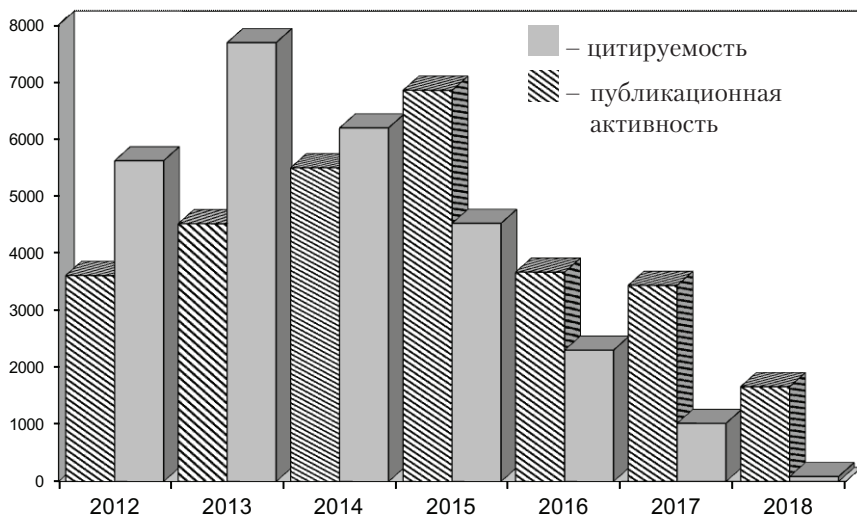


Рис. 2. Динамика публикационной активности и цитируемости российских ученых по общим и комплексным проблемам естественных и точных наук

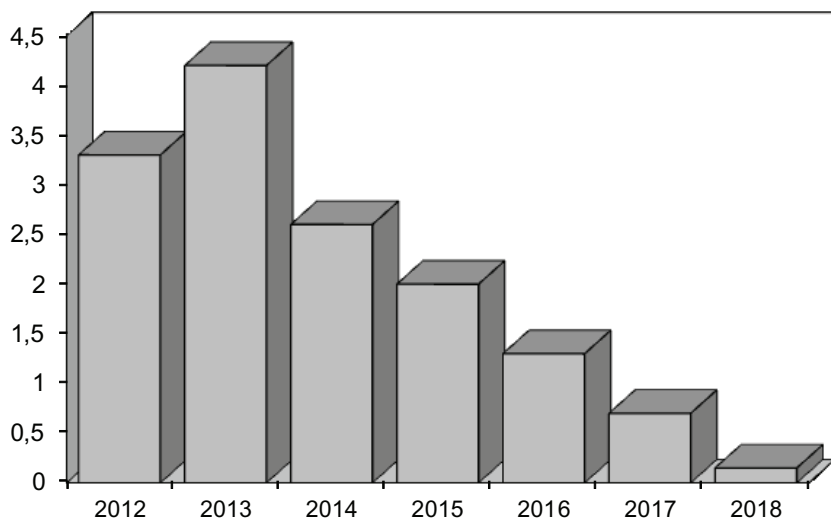


Рис. 3. Динамика востребованности результатов исследований в области информационной безопасности

показатели для рубрики 43 более чем в полтора раза, что также свидетельствует о повышении внимания во многих организациях к обеспечению информационной безопасности информационных систем и информационно-телекоммуникационных сетей.

Динамика востребованности результатов исследований в области информационной безопасности представлена на рис. 3. Как следует из рисунка, максимальная востребованность отмечалась для итогов работ, полученных на 4–6 лет ранее 2018 г., при этом с 2014 г. также наблюдается спад значения этого показателя.

Заключение

На основе наукометрических показателей (публикационной активности, цитируемости, востребованности и индекса Хирша) по данным Научной электронной библиотеки России за период 2012–2018 гг. были выявлены для российских ученых, работающих в области защиты информации, динамика публикаций в этой сфере исследований, их цитируемость и востребованность результатов исследований, отраженных в публикациях.

Если при анализе динамики публикаций наблюдался непрерывный рост их числа до 2017 г., то для цитирования и востребованности результатов исследований в области информационной безопасности отмечался спад этих показателей после максимума 2013 г. В то же время рост почти в два раза с 2012 по 2017 г. доли публикаций по рубрике 81.93.29 по сравнению с общим количеством публикаций по тематической рубрике 81 рубрикатора ГРНТИ свидетельствует о все более ответственном отношении в России в последние годы к вопросам обеспечения информационной безопасности в различных сферах экономики и науки. Этот факт подтверждает и значительный рост в 2018 г. по сравнению с 2017 г. цитируемости (в полтора и более раз) на публикации даже трех предыдущих лет – 2015–2017 гг.

Относительно невысокие значения индексов цитируемости и востребованности в 2017–2018 гг. по сравнению с максимумами этих показателей для всех трех рубрик (43, 81 и 81.93.29) характеризуют замедленную по целому ряду причин реакцию российского и мирового научного сообщества на итоги научной деятельности российских ученых, отраженные в публикациях этих двух последних лет. В свою очередь выявленные на начало 2019 г. высокие значения индексов цитируемости и Хирша российских ученых – лидеров исследований в области информационной безопасности – свидетельствуют о соответствии их исследовательской деятельности мировому уровню научной активности ученых.

Литература

1. Ширяев А.А., Доронина Е.Г. Методы повышения публикационной активности исследователей // Научно-техническая информация. Сер. 1. 2018. № 11. С. 8–14.
2. Арутюнов В.В. Методы оценки результатов научных исследований. М.: ГПНТБ России, 2010. 50 с.
3. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование. Экспертные оценки (ч. 2): Учебник: М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 486 с.
4. Арутюнов В.В., Константинов А.С. Рейтинговый анализ востребованной геологической научно-технической продукции на рубеже XX–XXI веков // Научно-техническая информация. Сер. 1. 2006. № 12. С. 14–19.
5. Маршакова И.В. Система цитирования научной литературы как средство слежения за развитием науки. М.: Наука, 1988. 287 с.
6. Арутюнов В.В. Результативность научной деятельности опорных вузов России // Научные и технические библиотеки. 2018. № 3. С. 33–43.
7. Научная электронная библиотека. URL: <https://elibrary.ru/querybox.asp?scope=newquery> (дата обращения 23 апр. 2019)
8. Арутюнов В.В. О полноте российских баз данных в области информационной безопасности // Сб. трудов Международной научно-практической конференции «Информационная безопасность: вчера, сегодня, завтра». М.: РГГУ, 2018. С. 7–12.

References

1. Shiryayev AA., Doronina EG. Methods for increasing the publication activity of researchers. *Scientific and Technical Information. Series 1*. 2018;11:8-14. (In Russ.)
2. Arutyunov VV. Methods of the research results evaluation. Moscow: Russian National Public Library for Science and Technology Publ.; 2010. 50 p. (In Russ.)
3. Orlov AI. Organizational and economic modeling. Expert assessments (part 2): textbook. Moscow: BMSTU Publ.; 2011. 486 p. (In Russ.)
4. Arutyunov VV., Konstantinov AS. Rating analysis of the demand for geological scientific and technical products at the turn of 21th century. *Scientific and Technical Information. Series 1*. 2006;12:14-19. (In Russ.)
5. Marshakova IV. Citation system of scientific literature as a means of tracking the science development. Moscow: Nauka Publ.; 1988. 287 p. (In Russ.)
6. Arutyunov VV. The impact of research support activities of the fiducial universities in Russia. *Scientific and Technical library*. 2018;3:33-43. (In Russ.)
7. Scientific Electronic Library. [Internet] [data obrashcheniya 23 apr. 2019]. URL: <https://elibrary.ru/querybox.asp?scope=newquery>
8. Arutyunov VV. On the completeness of the Russian databases in the field of information security. V: Collected Papers of the International Scientific and Practical Conference “Information Security: Yesterday, Today, Tomorrow”. Moscow: RGGU Publ.; 2018. p. 7-12. (In Russ.)

Информация об авторах

Валерий В. Арутюнов, доктор технических наук, профессор, Российский государственный гуманитарный университет, Москва, Россия; Россия, Москва, 125993, ГСП-3, Миусская пл., д. 6; warut698@yandex.ru

Александр И. Мещерский, студент, Российский государственный гуманитарный университет, Москва, Россия; Россия Москва, 125993, ГСП-3, Миусская пл., д. 6; amesherskiy97@mail.ru

Information about the authors

Valery V. Arutyunov, Dr. of Sci. (Engineering), professor, Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia; bld. 6, Miusskaya sq., Moscow, 125993, GSP-3, Russia; warut698@yandex.ru

Alexander N. Meshcherskii, student, Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia; bld. 6, Miusskaya sq., Moscow, 125993, GSP-3, Russia; amesherskiy97@mail.ru

Анализ распределенной системы оптимизационной модельно-алгоритмической поддержки оперативного перестрахования серьезных рисков с позиции теории массового обслуживания

Максим В. Шептунов

*Российский государственный гуманитарный университет, Москва, Россия;
Московский государственный лингвистический университет, Москва, Россия,
triumf403@yandex.ru*

Аннотация. Анализируются, в зависимости от дисциплины обслуживания заявок и наличия общей для страхового пула дополнительной большой рабочей станции (ДБРС) – в качестве второго канала системы массового обслуживания (СМО) с отказами – четыре основные ситуации обслуживания при страховании прямым страховщиком с последующим исходящим перестрахованием. Эти ситуации сопоставляются на основе предложенной формулы годового экономического эффекта от совершенствования организации и автоматизации процесса страхования с последующим исходящим перестрахованием, включающей усредненную брутто-ставку (с объекта страхования), годовые количества заключаемых страховых договоров, среднее время обслуживания заявки на страхование и средний взнос страхователя для случая, когда интенсивность входящего потока заявок выше интенсивности обслуживания.

Сформулированы и доказаны три основные теоремы для различных соотношений слагаемых формулы расчета годового экономического эффекта от рассматриваемых организационно-технических мероприятий для сферы перестрахования рисков, а именно связанные как с увеличением числа обслуживающих заявки каналов СМО, так и с изменением дисциплины обслуживания.

Ключевые слова: оперативное рациональное перестрахование, теория массового обслуживания, пул

Для цитирования: Шептунов М.В. Анализ распределенной системы оптимизационной модельно-алгоритмической поддержки оперативного перестрахования серьезных рисков с позиции теории массового обслуживания // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2019. №1 (2). С. 51–77. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-1-51-77

Analysis of the distributed system for optimizing model-algorithmic support of severe risks operative reinsurance from the position of queuing theory

Maxim V. Sheptunov

*Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia,
Moscow State linguistic university, Moscow, Russia, triumph403@yandex.ru*

Abstract. Four main service situations when insured by a direct insurer with subsequent outgoing reinsurance are analyzed, depending on the discipline of servicing applications and the availability of an additional large workstation (ALWS) common for the insurance pool, and as the second channel of the queuing system (QS) with refusals. They are compared by the proposed formula of the annual economic effect of improving of the organization and automation of the insurance process with subsequent outgoing reinsurance, including the average gross rate (from the insurance object), the annual number of the concluded insurance contracts, the average service times for an application on the insurance and the average premium of the insurant for the case when the intensity of the incoming flow of applications is higher than the intensity of the service.

Three main theorems are formulated and proved for different ratios of the summands of the formula for calculating the annual economic effect from the considered organizational-technical measures for the sphere of risks reinsurance, namely, those associated both with an increase in the number of channels of QS servicing requisitions, and with the change in the discipline of service.

Keywords: operational rational reinsurance, queuing theory, pool

For citation: Sheptunov MV. Analysis of the distributed system for optimizing model-algorithmic support of severe risks operative reinsurance from the position of queuing theory. *RSUH / RGGU Bulletin. "Information Science. Information Security. Mathematics" Series.* 2019;1(2):51-77. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-1-51-77

Введение

В настоящее время актуальны вопросы и проблемы оперативного рационального перестрахования как для рисков чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера – авиационной и космической, атомной отраслей и других, так и для массовых рисков видов страхования в Российской Федерации. Информатизация российской страховой системы, ее активизация за счет распределенных высокопроизводительных вычислений в сфере перестрахования могла бы сыграть заметную роль в экономике страны, смягчая последствия ряда страховых случаев и ЧС,

в том числе на уровне крупных и средних предприятий, включая и риски информационные, и социально-биологические. Не только предварительный, но и последующий анализ эффективности взаимодействия компьютерного оборудования того или иного страхового пула – с вышеуказанной пока еще далеко не достигнутой в России целью – представляется целесообразным на основе столь важного раздела кибернетики и исследования операций, как теория массового обслуживания применительно к процессам управления риском.

Хотя и в XX, и в XXI в. ей уделялось заметное внимание во многих работах целого ряда ученых, включая советских и российских, очень немного работ относятся именно к сфере перестрахования (в особенности при многократной передаче в процессе него рисков). Одной из подобных работ является книга [1]. Однако и в ней не были рассмотрены вопросы экономической эффективности для случаев сопоставления различных ситуаций подключения компьютерного оборудования, в том числе подразумевающих возможность распределенных высокопроизводительных вычислений, в целях оперативного рационального перестрахования, изменения дисциплины обслуживания для как таковых страховых пулов – когда количество их членов довольно значительно.

Известно [2], что если в результате автоматизации и механизации в основном снижается трудоемкость производимых операций (работ), то экономию (годовой экономический эффект) можно подсчитать по формуле

$$\mathcal{E}_z = \sum_{i=1}^n H_i \cdot c_i, \quad (1)$$

где H – величина снижения трудоемкости определенных видов работ;

c – тарифные ставки по каждому виду работ;

n – число видов работ, по которым снижается трудоемкость.

В интересующем нас случае речь идет как о повышении степени автоматизации процесса, в данном случае страхования с последующим исходящим перестрахованием, так и о совершенствовании

вании его организации (при рассмотрении только исходящего перестрахования, о чем было упомянуто ранее, в данном случае фигурирует только величина H_1 снижения трудоемкости указанного одного вида работ, а точнее, оказания услуг).

Однако, формула (1), во многом универсальная, не учитывает такие важные характеристики систем массового обслуживания (СМО), как абсолютную пропускную способность СМО и среднее время обслуживания заявки (попавшей под обслуживание). Применительно к страховой сфере первая из них представляет собой число заключаемых страховых договоров в год с их последующим исходящим перестрахованием.

Кроме того, заметим, что указанная формула не учитывает возможные ситуации, когда величина среднего страхового взноса не равна усредненной величине брутто-ставки (например, берущейся в рублях либо иной валюте с объекта страхования).

Системе оптимизационной модельно-алгоритмической поддержки оперативного рационального перестрахования на основе эволюционных генетических и муравьиных алгоритмов были посвящены работы [3,4], дающие более детальное представление о процессе перестрахования с использованием предложенной авторской концепции, позволившей несколько иначе взглянуть на процесс перестрахования рисков, акцентировать внимание также и на оперативности вариантов перестрахования наряду с его рациональностью.

В данной работе также предполагается, что ввиду серьезности принимаемых на страхование рисков (в том числе авиационных и космических, атомной отрасли, ЧС, массовых рисков видов страхования) прямой страховщик стремится с учетом критерия минимизации суммы своей страховой ответственности и за приемлемое для него и для клиента время отыскать оптимальный либо рациональный вариант последовательности перестрахования всеми членами пула. Такой подход обусловлен тем, что здесь страховщик не столько заинтересован в крупном выигрыше,

сколько хотел бы избежать разорения. Эта задача сводится к модифицированной задаче коммивояжера и оперативно решается как вариант на основе муравьиных алгоритмов.

Экономический смысл модифицированной задачи коммивояжера можно пояснить следующим образом. При страховании серьезного риска на некоторую сумму S у страховщика последний, выбирая на основе известных планируемых сумм страховой ответственности перестраховщиков оптимальную для него последовательность перестрахования, осуществляет тем самым управление рассматриваемым риском. Сказанное справедливо по отношению к любому из членов страхового пула, осуществляющего взаимодействие с остальными его участниками при обращении именно к нему клиента для страхования особо серьезного риска (рис. 1).

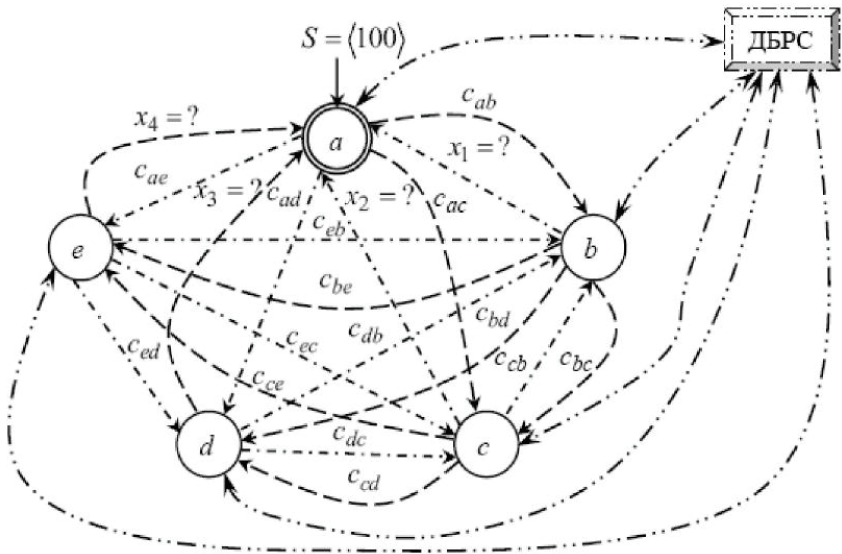


Рис. 1. Поясняющий пример оптимизируемого перестрахования на основе модифицированной задачи коммивояжера (при наличии/отсутствии ДБРС)

где a – страховщик, b, c, d, e – перестраховщики, x_k – искомая сумма страховой ответственности (первого) страховщика при различных вариантах последовательности перестрахования, $k = \overline{1, (n-1)}$; $\langle 100 \rangle$ – сумма S (здесь условная), на которую страхуется риск страховщиком a при последующем (исходящем) перестраховании; ДБРС – дополнительная большая рабочая станция.

Целевая функция задачи здесь, отличаясь от давно известной классической задачи коммивояжера, приобретает вид:

$$x_k^{safe} = \left(S - \sum_{q=1}^{n-1} ESSO_q^u \right) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где x_k^{safe} – искомая приемлемая сумма страховой ответственности страховщика, $k = \overline{1, (n-1)}$;

q – номер дуги по порядку обхода графа (где все члены страхового пула изображены вершинами графа, соединенными, при наличии партнерства, между собой);

$ESSO_q^u$ – математическое ожидание (среднее значение, как правило, не менее чем за пятилетний период функционирования страхового пула) планируемой суммы страховой ответственности q -го члена страхового пула при u -м способе проведения операции перестрахования, причём $q = \overline{1, (n-1)}$, $k = \overline{1, (n-1)}$, $u \leq (n-1)!$, n – общее количество членов пула.

Далее также подразумевается, что в целях совершенствования организации и повышения степени автоматизации процесса страхования с последующим исходящим перестрахованием возможны, как минимум, четыре основные ситуации, связанные с увеличением числа обслуживающих заявки каналов системы массового обслуживания (СМО) и/или с изменением дисциплины обслуживания.

Цель работы двоякая и состоит в следующем. Во-первых, предложить с позиции теории массового обслуживания новую для сферы перестрахования формулу, позволяющую сравнивать по годовому экономическому эффекту между собой различные, включая гибридные, варианты организации распределенных высокопроизводительных вычислений в целях оперативного рационального исходящего перестрахования рисков между членами страховых пулов, в том числе по отношению к базовому модернизируемому варианту для случаев, когда интенсивность входящего потока заявок выше интенсивности обслуживания. И во-вторых, сформулировать и доказать основные теоремы для различных соотношений слагаемых данной формулы расчета годового экономического эффекта от рассматриваемых организационно-технических мероприятий для сферы перестрахования рисков.

Предлагаемая формула и теоремы для годового экономического эффекта от совершенствования организации и автоматизации процесса страхования с последующим исходящим перестрахованием

Рассмотрим далее четыре сопоставляемые ситуации (в рамках каждой из которых прямым страховщиком – центром – используется формула (2) при осуществлении перестрахования) при соответствующих им дисциплинах обслуживания заявок на страхование с обязательным исходящим перестрахованием с задействованием каждого из членов страхового (перестраховочного) пула, в обобщенном виде представленного на рис. 1 совместно с подключаемой/отсутствующей ДБРС. Более подробно, имеющие отношение к данным ситуациям, формулы теории массового обслуживания можно найти в [5].

Для каждой из них (и не только для этих основных четырех ситуаций, поскольку возможны и другие) в данной работе предлагается с позиции теории массового обслуживания рассчитывать возможный годовой экономический эффект от совершенствова-

ния организации и повышения степени автоматизации процесса страхования с последующим исходящим перестрахованием по предложенной автором формуле, новой (как минимум) для сферы перестрахования:

$$\mathcal{E}_{z.(исх.перестр.)} = (A_1 - A_0) \cdot \bar{V} + (\bar{T}_{обсл.0} - \bar{T}_{обсл.1}) \cdot \bar{C}_{br.} \cdot A_1, \quad (3)$$

где A_1 – число заключаемых страховых договоров в год (соответствующая абсолютная пропускная способность СМО) при предлагаемом варианте;

A_0 – число заключенных страховых договоров в год (соответствующая абсолютная пропускная способность СМО) при базовом варианте;

\bar{V} – средний размер страхового взноса (за год), в денежных единицах;

$\bar{T}_{обсл.0}$ – среднее время (трудоемкость) обслуживания заявки на страхование с последующим исходящим перестрахованием при базовом варианте;

$\bar{T}_{обсл.1}$ – среднее время (трудоемкость) обслуживания заявки на страхование с последующим исходящим перестрахованием при предлагаемом варианте;

$\bar{C}_{br.}$ – усредненная для вышеуказанного страхования брутто-ставка (с объекта страхования), в денежных единицах.

Подразумевается, что средний размер страхового взноса \bar{V} (в данном году) включает в том числе авансовые платежи (имеющие место до наступления срока уплаты по договору страхования), а также может включать либо не включать предварительные премии (т. е. те предварительно внесенные до наступления срока уплаты платежи, которые рассматриваются прямым страховщиком в качестве взноса сберегательного характера на счет страховщика либо страхового пула и на который

может быть начислен процент по вкладам со снятием этого процента). И, в отличие от авансовых платежей, если страховой случай наступает до истечения срока договора, то страхователь либо его наследник получают как страховую сумму, так и те страховые взносы, для которых еще не настал срок их оплаты.

Подразумевается, что усредненная брутто-ставка $\bar{c}_{br.}$ не включает вышеупомянутые предварительные премии, которые мог бы включать либо не включать средний страховой взнос.

Перед тем как в зависимости от наличия общей для страхового пула дополнительной большой рабочей станции (ДБРС) (в качестве второго канала системы массового обслуживания (СМО) с отказами) рассмотреть четыре ситуации обслуживания, сопоставляемые на основе предложенной формулы (3), сформулируем и докажем три связанные теоремы.

Далее в теоремах смысл всех обозначений, присутствующих в вышеприведенной формуле (3), сохраняется тот же.

Теорема 1. Для системы массового обслуживания с отказами, для которой годовой экономический эффект от совершенствования организации и автоматизации процесса страхования с последующим исходящим перестрахованием выражается формулой (3), существует хотя бы один такой набор значений финансово-экономических параметров $(\bar{V}, \bar{c}_{br.})$ при среднем страховом взносе $\bar{V} > 0$ и усреднённой брутто-ставке $\bar{c}_{br.} > 0$ в той же валюте, что даже при улучшении организационно-технической характеристики с $A_0 > 0$ до $A_1 > A_0$ за счет совершенствования организации и автоматизации процесса страхования с последующим исходящим перестрахованием при некотором ухудшении другой организационно-технической характеристики $\bar{T}_{обсл.1} > \bar{T}_{обсл.0} > 0$ в тех же единицах измерения этот выражаемый вышеуказанной формулой экономический эффект $\mathcal{E}_{z,(исх.перестр.)} = 0$.

Доказательство. Докажем конструктивно, т. е. предъявив тот набор значений $(\bar{V}, \bar{c}_{br.})$ со всеми остальными составляющими формулы (3), при которых $\mathcal{E}_{z.(исх.перестр.)} = 0$ при выполнении всех условий данной теоремы.

Как следует из формулы годового экономического эффекта (3), он будет равен нулю при $A_1 > A_0 > 0$ и $\bar{T}_{обсл.1} > \bar{T}_{обсл.0} > 0$ соответственно при

$$\left(\bar{T}_{обсл.0} - \bar{T}_{обсл.1}\right) \cdot \bar{c}_{br.} \cdot A_1 + (A_1 - A_0) \cdot \bar{V} = 0. \quad (4)$$

Рассмотрим формулу (4) при следующих значениях ее составляющих:

$\bar{T}_{обсл.1} = 0,052254$ (года), $\bar{T}_{обсл.0} = 0,01$ (года), $\bar{c}_{br.} = 40$ (ден. ед.);

$A_0 = 61$ (заявка/год), $A_1 = 71$ (заявка/год), $\bar{V} = 12$ (ден. ед.):
 $(0,01 - 0,052254) \cdot 40 \cdot 71 + (71 - 61) \cdot 12 = 0$, т. е.

$-0,042254 \cdot 2840 + 120 = 0$ или $-120,001 + 120 = 0$ (с точностью до сотых долей базовой валюты страны либо коллективной или международной валюты, в которой производится расчет).

Поскольку при предъявленных значениях указанных составляющих формулы (4) ее равная нулю правая часть равна ее левой части с точностью до сотых долей валюты расчета, то это значит, что при таковых и хотя бы одном наборе значений $(\bar{V}, \bar{c}_{br.}) = (12 \text{ (ден. ед.)}, 40 \text{ (ден. ед.)})$ годовой экономической эффект от совершенствования организации и автоматизации процесса страхования с последующим исходящим перестрахованием $\mathcal{E}_{z.(исх.перестр.)} = 0$. Теорема доказана.

Теорема 2. Для системы массового обслуживания с отказами, для которой годовой экономический эффект от совершенствования организации и автоматизации процесса страхования с последующим исходящим перестрахованием выражается формулой (3), существует хотя бы один такой набор значений финансово-экономических параметров $(\bar{V}, \bar{c}_{br.})$ при среднем страховом взносе $\bar{V} > 0$ и усредненной брутто-ставке $\bar{c}_{br.} > 0$ в той же валюте, что даже при улучшении организационно-технической характеристики с $\bar{T}_{обсл.0} > 0$ до $\bar{T}_{обсл.1} < \bar{T}_{обсл.0}$ за счет совершенствования организации и автоматизации процесса страхования с последующим исходящим перестрахованием при некотором ухудшении другой организационно-технической характеристики $A_1 < A_0$ при $A_1 > 0$ в тех же единицах измерения этот выражаемый вышеуказанной формулой экономический эффект $\mathcal{E}_{z.(исх.перестр.)} = 0$.

Доказательство. Докажем конструктивно, т. е. предъявив тот набор значений $(\bar{V}, \bar{c}_{br.})$ со всеми остальными составляющими формулы (3), при которых $\mathcal{E}_{z.(исх.перестр.)} = 0$ при выполнении всех условий данной теоремы.

Как следует из формулы годового экономического эффекта (3), он будет равен нулю при $A_0 > A_1 > 0$ и $\bar{T}_{обсл.0} > \bar{T}_{обсл.1} > 0$ соответственно при

$$(A_1 - A_0) \cdot \bar{V} + (\bar{T}_{обсл.0} - \bar{T}_{обсл.1}) \cdot \bar{c}_{br.} \cdot A_1 = 0. \quad (5)$$

Рассмотрим формулу (5) при следующих значениях ее составляющих:

$$A_1 = 41 \text{ (заявка/год)}, A_0 = 51 \text{ (заявка/год)}, \bar{V} = 15 \text{ (ден. ед.)},$$

$$\bar{T}_{обсл.0} = 0,342595 \text{ (года)}, \bar{T}_{обсл.1} = 0,01 \text{ (года)}, \bar{c}_{br.} = 11 \text{ (ден. ед.)},$$

$$(41-51) \cdot 15 + (0,342595 - 0,01) \cdot 11 \cdot 41 = 0, \text{ т. е.}$$

$-150 + 0,332595 \cdot 451 = 0$ или $-150 + 150,0003 = 0$ (с точностью до сотых долей базовой валюты страны либо коллективной или международной валюты, в которой производится расчет).

Поскольку при предъявленных значениях указанных составляющих этой формулы (5) ее равная нулю правая часть равна ее левой части с точностью до сотых долей валюты расчета, то это значит, что при таковых и хотя бы одном наборе значений $(\bar{V}, \bar{c}_{br.}) = (15 (\text{ден. ед.}), 11 (\text{ден. ед.}))$ годовой экономический эффект от совершенствования организации и автоматизации процесса страхования с последующим исходящим перестрахованием $\mathcal{E}_{z.(\text{исх. перестр.})} = 0$. Теорема доказана.

Теорема 3. Для системы массового обслуживания с отказами, для которой годовой экономический эффект от совершенствования организации и автоматизации процесса страхования с последующим исходящим перестрахованием выражается формулой (3) при составляющих набор значений финансово-экономических параметров $(\bar{V}, \bar{c}_{br.})$ среднем страховом взносе $\bar{V} > 0$ и усредненной брутто-ставке $\bar{c}_{br.} > 0$ в той же валюте этот выражаемый вышеуказанной формулой (3) экономический эффект $\mathcal{E}_{z.(\text{исх. перестр.})} > 0$ в одном из четырех случаев:

а) $A_1 \geq A_0$ и $\bar{T}_{обсл.1} < \bar{T}_{обсл.0}$ при $A_0 > 0, \bar{T}_{обсл.1} > 0,$

либо

б) $\bar{T}_{обсл.1} \leq \bar{T}_{обсл.0}$ и $A_1 > A_0$ при $\bar{T}_{обсл.1} > 0, A_0 > 0,$

либо

с)
$$\frac{(\bar{T}_{обсл.0} - \bar{T}_{обсл.1}) \cdot \bar{c}_{br.} \cdot A_1}{(A_1 - A_0) \cdot \bar{V}} < -1, \quad \text{когда} \quad A_0 > A_1 > 0 \quad \text{и}$$

$0 < \bar{T}_{обсл.1} < \bar{T}_{обсл.0},$

либо

$$d) \quad \frac{(A_1 - A_0) \cdot \bar{V}}{(\bar{T}_{обсл.0} - \bar{T}_{обсл.1}) \cdot \bar{C}_{br} \cdot A_1} < -1, \quad \text{когда} \quad A_1 > A_0 > 0 \quad \text{и} \\ 0 < \bar{T}_{обсл.0} < \bar{T}_{обсл.1}.$$

Доказательство. Докажем методом от противного. Необходимо показать, что при невыполнении одновременно всех четырех условий получим противоречие, т. е. что тогда $\mathcal{E}_{z(исх.перестр.)} \leq 0$.

Допустим сначала обратное по отношению к (а), т. е. что при ложности (а) имеем $\mathcal{E}_{z(исх.перестр.)} \leq 0$, когда а) $A_1 < A_0$ и $\bar{T}_{обсл.1} \geq \bar{T}_{обсл.0}$ при $A_0 > 0$, $A_1 > 0$, $\bar{T}_{обсл.1} > 0$, $\bar{T}_{обсл.0} > 0$. Но, как легко видеть из формулы (3), тогда при $A_1 < A_0$ и $\bar{T}_{обсл.1} = \bar{T}_{обсл.0}$ имеем первое ее слагаемое $(A_1 - A_0) \cdot \bar{V} < 0$, а второе ее слагаемое $(\bar{T}_{обсл.0} - \bar{T}_{обсл.1}) \cdot \bar{C}_{br} \cdot A_1 = 0$, поэтому получим $\mathcal{E}_{z(исх.перестр.)} = (A_1 - A_0) \cdot \bar{V} < 0$.

Если же рассмотреть ту же формулу (3) при $A_1 < A_0$ и $\bar{T}_{обсл.1} > \bar{T}_{обсл.0}$, то как первое слагаемое, так и второе слагаемое той же формулы (3) отрицательны, т. е. поскольку тогда и $(A_1 - A_0) \cdot \bar{V} < 0$, и $(\bar{T}_{обсл.0} - \bar{T}_{обсл.1}) \cdot \bar{C}_{br} \cdot A_1 < 0$, поэтому получим $\mathcal{E}_{z(исх.перестр.)} = ((A_1 - A_0) \cdot \bar{V} + (\bar{T}_{обсл.0} - \bar{T}_{обсл.1}) \cdot \bar{C}_{br} \cdot A_1) < 0$. Таким образом, при невыполнении условия (а) имеем $\mathcal{E}_{z(исх.перестр.)} < 0$, т. е. противоречие.

Допустим теперь обратное по отношению к (б), т. е. что при ложности (б) имеем $\mathcal{E}_{z(исх.перестр.)} \leq 0$, когда (б) $\bar{T}_{обсл.1} > \bar{T}_{обсл.0}$ и

$A_1 \leq A_0$ при $\bar{T}_{обсл.1} > 0$, $\bar{T}_{обсл.0} > 0$, $A_0 > 0$, $A_1 > 0$. Но, как легко видеть из формулы (3), тогда при $\bar{T}_{обсл.1} > \bar{T}_{обсл.0}$ и $A_1 = A_0$ имеем первое ее слагаемое $(A_1 - A_0) \cdot \bar{V} = 0$, а второе ее слагаемое $(\bar{T}_{обсл.0} - \bar{T}_{обсл.1}) \cdot \bar{C}_{br.} \cdot A_1 < 0$, поэтому в данном случае получим $\mathcal{E}_{z(исх.перестр.)} = (\bar{T}_{обсл.0} - \bar{T}_{обсл.1}) \cdot \bar{C}_{br.} \cdot A_1 < 0$.

Если же рассмотреть ту же формулу (3) при $\bar{T}_{обсл.1} > \bar{T}_{обсл.0}$ и $A_1 < A_0$, то как первое слагаемое, так и второе слагаемое той же формулы (3) отрицательны, т. е. поскольку тогда и $(A_1 - A_0) \cdot \bar{V} < 0$, и $(\bar{T}_{обсл.0} - \bar{T}_{обсл.1}) \cdot \bar{C}_{br.} \cdot A_1 < 0$, поэтому и здесь получим $\mathcal{E}_{z(исх.перестр.)} = ((A_1 - A_0) \cdot \bar{V} + (\bar{T}_{обсл.0} - \bar{T}_{обсл.1}) \cdot \bar{C}_{br.} \cdot A_1) < 0$. Таким образом, и при невыполнении условия (b) имеем $\mathcal{E}_{z(исх.перестр.)} < 0$, т. е. противоречие.

Допустим, далее, обратное по отношению к (c), т. е. что при ложности (c) имеем $\mathcal{E}_{z(исх.перестр.)} \leq 0$, когда (c)

$$\frac{(\bar{T}_{обсл.0} - \bar{T}_{обсл.1}) \cdot \bar{C}_{br.} \cdot A_1}{(A_1 - A_0) \cdot \bar{V}} \geq -1 \text{ при } A_0 > A_1 > 0 \text{ и } 0 < \bar{T}_{обсл.1} < \bar{T}_{обсл.0}.$$

Но, как легко видеть из формулы (3), тогда при $\frac{(\bar{T}_{обсл.0} - \bar{T}_{обсл.1}) \cdot \bar{C}_{br.} \cdot A_1 > 0}{(A_1 - A_0) \cdot \bar{V} < 0} = -1$, имеем $\mathcal{E}_{z(исх.перестр.)} = 0$, т.е. противоречие. Если же, как легко видеть из той же формулы (3),

$$\frac{(\bar{T}_{обсл.0} - \bar{T}_{обсл.1}) \cdot \bar{C}_{br.} \cdot A_1 > 0}{(A_1 - A_0) \cdot \bar{V} < 0} > -1, \text{ имеем } \mathcal{E}_{z(исх.перестр.)} < 0, \text{ т. е. также}$$

противоречие.

Допустим далее обратное по отношению к (d), т. е. что при ложности (d) имеем $\mathcal{E}_{z.(исх.перестр.)} \leq 0$, когда (d)

$$\frac{(A_1 - A_0) \cdot \bar{V}}{(\bar{T}_{обсл.0} - \bar{T}_{обсл.1}) \cdot \bar{C}_{br.} \cdot A_1} \geq -1 \text{ при } A_1 > A_0 > 0 \text{ и } 0 < \bar{T}_{обсл.0} < \bar{T}_{обсл.1}.$$

Но, как легко видеть из формулы (3), тогда при

$$\frac{(A_1 - A_0) \cdot \bar{V} > 0}{(\bar{T}_{обсл.0} - \bar{T}_{обсл.1}) \cdot \bar{C}_{br.} \cdot A_1 < 0} = -1 \text{ имеем } \mathcal{E}_{z.(исх.перестр.)} = 0, \text{ т.е. проти-}$$

воречие.

Если же, как легко видеть из той же формулы (3),

$$\frac{(A_1 - A_0) \cdot \bar{V} > 0}{(\bar{T}_{обсл.0} - \bar{T}_{обсл.1}) \cdot \bar{C}_{br.} \cdot A_1 < 0} > -1, \text{ имеем } \mathcal{E}_{z.(исх.перестр.)} < 0, \text{ т.е. также}$$

противоречие.

Итак, поскольку при невыполнении одновременно всех четырех условий имеем противоречие, т.е. что тогда $\mathcal{E}_{z.(исх.перестр.)} \leq 0$, теорема доказана.

Основные ситуации обслуживания, сопоставляемые на основе предложенной формулы годового экономического эффекта

Теперь рассмотрим четыре ситуации обслуживания а, b, с, d, сопоставляемые на основе предложенной формулы (3) годового экономического эффекта от совершенствования организации и автоматизации процесса страхования с последующим исходящим перестрахованием. При этом, как уже отмечалось, при тех и/или иных мероприятиях организационно-технического характера в зависимости от дисциплины обслуживания заявок и наличия общей для страхового (и/или перестраховочного) пула дополнительной большой рабочей станции (ДБРС) (в качестве второго канала системы массового обслуживания (СМО) с отказами) возможны четыре основные (но не единственно возможные) ситуации.

Ситуация (а) – одноканальная СМО с отказами без ДБРС. Рассмотрим данную ситуацию для двух следующих комбинаций интенсивностей (в обоих случаях число каналов в $n = 1$):

1) интенсивность входящего (простейшего) потока $\lambda = 130$ заявок/год, интенсивность обслуживания (одним) каналом $\mu = 120$ заявок/год;

2) интенсивность входящего (простейшего) потока $\lambda = 240$ заявок/год, интенсивность обслуживания (одним) каналом $\mu = 120$ заявок/год. (В обоих случаях, как видно здесь и при дальнейшем рассмотрении, $\lambda > \mu$.)

После задействования ряда известных формул [5] для соответствующей СМО и ее дисциплины обслуживания результаты вычислений основных характеристик функционирования СМО были сведены в табл. 1.

Таблица 1

| 1) $\lambda = 130$ заявок/год, $\mu = 120$ заявок/год | |
|---|---|
| 1 | Показатель нагрузки СМО (трафик): $\rho \approx 1,083$ (эрланга) |
| 2 | Вероятность отказа заявке: $p_{отк.} = p_1 \approx 0,52$ |
| 3 | Относительная пропускная способность СМО: $Q = p_{об.} \approx 0,48$ |
| 4 | Абсолютная пропускная способность СМО: $A = 62,4$ (заявки/год) |
| 5 | Среднее время обслуживания заявки: $\bar{T}_{обсл.} \approx 0,008$ (года) |
| 6 | Среднее время пребывания заявки в СМО (включая необслуженные заявки): $\bar{T}_{сист.} \approx 0,004$ (года) |

| | |
|---|---|
| 2) $\lambda = 240$ заявок/год, $\mu = 120$ заявок/год | |
| 1 | Показатель нагрузки СМО (трафик): $\rho \approx 2$ (эрланга) |
| 2 | Вероятность отказа заявке: $p_{отк.} = p_1 \approx 0,67$ |
| 3 | Относительная пропускная способность СМО: $Q = p_{об.} \approx 0,33$ |
| 4 | Абсолютная пропускная способность СМО: $A \approx 79,2$ (заявки/год) |
| 5 | Среднее время обслуживания заявки: $\bar{T}_{обсл.} \approx 0,008$ (года) |
| 6 | Среднее время пребывания заявки в СМО (включая необслуженные заявки): $\bar{T}_{сист.} \approx 0,003$ (года) |

При вычислении годового экономического эффекта (для обеих комбинаций интенсивностей) по предложенной формуле (3) имеет смысл рассмотреть (не только для вышеупомянутой ситуации (а), но и для трех последующих ситуаций (б), (с) и (д)) два возможных случая (числовые данные условны и могут фигурировать и для других помимо четырех рассматриваемых нами ситуаций):

I) размер среднего страхового взноса $\bar{V}(= 2000 \text{ (ден. ед.)})$ выше величины усредненной брутто-ставки $\bar{c}_{бр.}(= 1500 \text{ (ден. ед.)})$;

II) величина усредненной брутто-ставки $\bar{c}_{бр.}(= 2000 \text{ (ден. ед.)})$ выше размера среднего страхового взноса $\bar{V}(= 1500 \text{ (ден. ед.)})$.

Исходя из того, что ситуация (а) служит базовой и как таковой ее модернизации (с позиции теории массового обслуживания) еще не производилось, экономия (годовой экономический эффект) от совершенствования организации и повышения степени автоматизации процесса страхования с последующим исходящим перестрахованием составляет $\mathcal{E}_{i, (исх. перестр.)} = 0$ (ден. ед.). В обоих случаях, что видно здесь и при дальнейшем рассмотрении, $\lambda > \mu$.

Ситуация (б) – двухканальная СМО с отказами при наличии ДБРС в качестве второго канала. Рассмотрим данную ситуацию

для тех же двух комбинаций интенсивностей (в обоих случаях здесь число каналов $n = 2$).

По аналогии с предыдущей ситуацией (а) были выполнены расчеты, результаты которых сведены в табл. 2.

Таблица 2

| | |
|---|---|
| 1) $\lambda = 130$ заявок/год, $\mu = 120$ заявок/год | |
| 1 | Показатель нагрузки СМО (трафик): $\rho \approx 1,083$ (эрланга) |
| 2 | Вероятность отказа заявке: $p_{отк.} = p_2 \approx 0,22$ |
| 3 | Относительная пропускная способность СМО: $Q = p_{об.} \approx 0,78$ |
| 4 | Абсолютная пропускная способность СМО: $A \approx 101,4$ (заявки/год) |
| 5 | Среднее время обслуживания заявки: $\bar{T}_{обсл.} \approx 0,008$ (года) |
| 6 | Среднее время пребывания заявки в СМО (включая необслуженные заявки): $\bar{T}_{сист.} \approx 0,006$ (года) |
| 2) $\lambda = 240$ заявок/год, $\mu = 120$ заявок/год | |
| 1 | Показатель нагрузки СМО (трафик): $\rho \approx 2$ (эрланга) |
| 2 | Вероятность отказа заявке: $p_{отк.} = p_2 \approx 0,4$ |
| 3 | Относительная пропускная способность СМО: $Q = p_{об.} \approx 0,6$ |
| 4 | Абсолютная пропускная способность СМО: $A = 144$ (заявки/год) |
| 5 | Среднее время обслуживания заявки: $\bar{T}_{обсл.} \approx 0,008$ (года) |
| 6 | Среднее время пребывания заявки в СМО (включая необслуженные заявки): $\bar{T}_{сист.} \approx 0,005$ (года) |

При 1) $\lambda = 130$ заявок/год, $\mu = 120$ заявок/год, задействуя формулу (3), имеем:

$$(I): \bar{V}(= 2000 (\text{ден. ед.})) > \bar{c}_{br.}(= 1500 (\text{ден. ед.}));$$

$$\mathcal{E}_{z.(\text{исх.перестр.})} = (101,4 - 62,4) \cdot 2000 + (0,008 - 0,008) \cdot 1500 \cdot 101,4 \approx \\ \approx 78000 + 0 \approx 78000 (\text{ден. ед.}).$$

$$(II): \bar{c}_{br.}(= 2000 (\text{ден. ед.})) > \bar{V}(= 1500 (\text{ден. ед.}));$$

$$\mathcal{E}_{z.(\text{исх.перестр.})} = (101,4 - 62,4) \cdot 1500 + (0,008 - 0,008) \cdot 2000 \cdot 101,4 \approx \\ \approx 58500 + 0 \approx 58500 (\text{ден. ед.}).$$

При 2) $\lambda = 240$ заявок/год, $\mu = 120$ заявок/год, задействуя ту же формулу (3), имеем:

$$(I): \bar{V}(= 2000 (\text{ден. ед.})) > \bar{c}_{br.}(= 1500 (\text{ден. ед.}));$$

$$\mathcal{E}_{z.(\text{исх.перестр.})} = (144 - 79,2) \cdot 2000 + (0,008 - 0,008) \cdot 1500 \cdot 144 \approx \\ \approx 129600 + 0 \approx 129600 (\text{ден. ед.}).$$

$$(II): \bar{c}_{br.}(= 2000 (\text{ден. ед.})) > \bar{V}(= 1500 (\text{ден. ед.}));$$

$$\mathcal{E}_{z.(\text{исх.перестр.})} = (144 - 79,2) \cdot 1500 + (0,008 - 0,008) \cdot 2000 \cdot 144 \approx \\ \approx 97200 + 0 \approx 97200 (\text{ден. ед.}).$$

(В обоих случаях, как видно здесь и при дальнейшем рассмотрении, $\lambda > \mu$.)

Ситуация (с) – двухканальная СМО с отказами при наличии ДБРС в качестве второго канала с взаимопомощью между каналами типа «все как один». В этой ситуации рассматриваемая нами СМО может пребывать только в одном из двух состояний, а именно: S_0 – оба канала ($n=2$) свободны, S_1 – оба канала ($n=2$) заняты, т. е. здесь двухканальная СМО функционирует как одноканальная, но с большей интенсивностью. Напомним: при появлении первой заявки (на страхование с последующим исходящим перестрахованием) из простейшего (пуассоновского) потока заявок с интенсивностью λ ее начинают обслуживать оба канала, которые будут занятыми до момента завершения обслуживания заявки. Если в течение занятости (обоих) каналов поступает заявка, то она получает отказ и покидает СМО (т. е. в нашем случае клиент тогда идет страховать к члену другого страхового пула).

После завершения обслуживания оба канала оказываются свободными до момента поступления следующей заявки, на обслуживание которой переключаются вновь оба канала, и т. д.

По аналогии с предыдущей ситуацией (б) были выполнены расчеты, результаты которых сведены в табл. 3.

Таблица 3

| | |
|---|---|
| 1) $\lambda = 130$ заявок/год, $\mu = 120$ заявок/год | |
| 1 | Показатель нагрузки СМО (трафик): $\rho \approx 1,083$ (эрланга) |
| 2 | Вероятность отказа заявке: $p_{отк.+} = p_{1,+} \approx 0,351$ |
| 3 | Относительная пропускная способность СМО: $Q_+ = p_{об.+} \approx 0,649$ |
| 4 | Абсолютная пропускная способность СМО: $A_+ \approx 84,318$ (заявок/год) |
| 5 | Среднее время обслуживания заявки: $\bar{T}_{обсл.+} \approx 0,0042$ (года) |
| 6 | Среднее время пребывания заявки в СМО (включая не обслуженные заявки): $T_{сист.+} \equiv T_{об.+} \approx 0,0027$ (года) |
| 2) $\lambda = 240$ заявок/год, $\mu = 120$ заявок/год | |
| 1 | Показатель нагрузки СМО (трафик): $\rho \approx 2$ (эрланга) |
| 2 | Вероятность отказа заявке: $p_{отк.+} = p_{1,+} \approx 0,5$ |
| 3 | Относительная пропускная способность СМО: $Q_+ = p_{об.+} \approx 0,5$ |
| 4 | Абсолютная пропускная способность СМО: $A_+ \approx 120$ (заявок/год) |
| 5 | Среднее время обслуживания заявки: $\bar{T}_{обсл.+} \approx 0,0042$ (года) |
| 6 | Среднее время пребывания заявки в СМО (включая не обслуженные заявки): $T_{сист.+} \equiv T_{об.+} \approx 0,0021$ (года) |

Принимая во внимание особенности данной дисциплины обслуживания, рассчитаем $\mathcal{E}_{\rho, (исх. перестр.)}$ (по сравнению с базовым вариантом, а именно с ситуацией (а)) по аналогии для тех же комбинаций интенсивностей.

При 1) $\lambda = 130$ заявок/год, $\mu = 120$ заявок/год, задействуя формулу (3), имеем:

$$(I): \bar{V}(= 2000 \text{ (ден. ед.)}) > \bar{c}_{br.}(= 1500 \text{ (ден. ед.)});$$

$$\mathcal{E}_{z.(\text{исх.перестр.})} = (84,32 - 62,4) \cdot 2000 + (0,008 - 0,004) \cdot 1500 \cdot 84,32 \approx 44300 \text{ (ден. ед.)}.$$

$$(II): \bar{c}_{br.}(= 2000 \text{ (ден. ед.)}) > \bar{V}(= 1500 \text{ (ден. ед.)}) :$$

$$\mathcal{E}_{z.(\text{исх.перестр.})} = (84,32 - 62,4) \cdot 1500 + (0,008 - 0,004) \cdot 2000 \cdot 84,32 \approx 33500 \text{ (ден. ед.)}.$$

При 2) $\lambda = 240$ заявок/год, $\mu = 120$ заявок/год, задействуя ту же формулу (3), имеем:

$$(I): \bar{V}(= 2000 \text{ (ден. ед.)}) > \bar{c}_{br.}(= 1500 \text{ (ден. ед.)});$$

$$\mathcal{E}_{z.(\text{исх.перестр.})} = (120 - 79,2) \cdot 2000 + (0,008 - 0,004) \cdot 1500 \cdot 120 \approx 82300 \text{ (ден. ед.)}.$$

$$(II): \bar{c}_{br.}(= 2000 \text{ (ден. ед.)}) > \bar{V}(= 1500 \text{ (ден. ед.)}):$$

$$\mathcal{E}_{z.(\text{исх.перестр.})} = (120 - 79,2) \cdot 1500 + (0,008 - 0,004) \cdot 2000 \cdot 120 \approx 62100 \text{ (ден. ед.)}.$$

(В обоих случаях, как видно здесь и при дальнейшем рассмотрении, $\lambda > \mu$.)

Ситуация (d) – двухканальная СМО с отказами при наличии ДБРС в качестве второго канала с «равномерной» взаимопомощью между каналами. В рассматриваемой ситуации каждому состоянию системы соответствует номер, равный числу заявок в СМО, который совпадает с количеством заявок, находящихся в состоянии обслуживания (поскольку данная СМО представляет собой систему с отказами), а именно: S_0 – в СМО отсутствуют заявки, все $n = 2$ канала свободны, $S_{1(=k)}$ – в СМО одна заявка под обслуживанием всеми имеющимися $n = 2$ каналами, $S_{2(=n)}$ –

в СМО $n = 2$ заявки, каждая из которых обслуживается только одним каналом, все (оба) канала заняты.

Как и ранее, на вход СМО подается простейший поток заявок с интенсивностью λ , а поток обслуживания одним (каждым) каналом также простейший с интенсивностью μ . Если заявка (на страхование с последующим исходящим перестрахованием) поступает в систему, когда все $n = 2$ канала свободны, то все имеющиеся каналы (оба) приступают к ее обслуживанию. То есть, когда в СМО находится хотя бы одна заявка, все $n = 2$ канала заняты (обслуживанием предшествующей, а именно первой, заявки), и при поступлении второй заявки часть каналов, а именно один канал (например, в виде ДБРС) переключается на ее обслуживание. Но если в течение обслуживания этих упомянутых двух заявок поступает третья, то вследствие занятости теперь обоих имеющихся в СМО каналов, она получит отказ и покинет систему необслуженной. (То есть в этом случае третий пришедший клиент уходит к являющемуся прямым страховщиком – цедентом – члену другого страхового пула).

По аналогии с предыдущей ситуацией (с) были выполнены расчеты, результаты которых сведены в табл. 4.

Принимая во внимание особенности данной дисциплины обслуживания, рассчитаем $\mathcal{E}_{z.(исх.перестр.)}$ (по сравнению с базовым вариантом, а именно с ситуацией (а)) по аналогии для тех же комбинаций интенсивностей.

При 1) $\lambda = 130$ заявок/год, $\mu = 120$ заявок/год, действуя ту же формулу (3), имеем:

$$(I): \bar{V}(= 2000 \text{ (ден. ед.)}) > \bar{c}_{br.}(= 1500 \text{ (ден. ед.)});$$

$$\mathcal{E}_{z.(исх.перестр.)} = (109,07 - 62,4) \cdot 2000 + (0,008 - 0,006) \cdot 1500 \times \\ \times 109,07 \approx 93667 \text{ (ден. ед.)}.$$

$$(II): \bar{c}_{br.}(= 2000 \text{ (ден. ед.)}) > \bar{V}(= 1500 \text{ (ден. ед.)});$$

$$\mathcal{E}_{z.(исх.перестр.)} = (109,07 - 62,4) \cdot 1500 + (0,008 - 0,006) \cdot 2000 \times \\ \times 109,07 \approx 70441 \text{ (ден. ед.)}.$$

При 2) $\lambda = 240$ заявок/год, $\mu = 120$ заявок/год, задействуя ту же формулу (3), имеем:

$$(I): \bar{V}(= 2000 \text{ (ден. ед.)}) > \bar{c}_{br.}(= 1500 \text{ (ден. ед.)});$$

$$\mathcal{E}_{z.(\text{исх.перестр.})} = (160,08 - 79,2) \cdot 2000 + (0,008 - 0,004) \cdot 1500 \times \\ \times 160,08 \approx 162700 \text{ (ден. ед.)}.$$

Таблица 4

| | |
|---|--|
| 1) $\lambda = 130$ заявок/год, $\mu = 120$ заявок/год | |
| 1 | Показатель нагрузки СМО (трафик): $\rho \approx 1,083$ (эрланга) |
| 2 | Показатель нагрузки СМО, приходящейся на один канал: $\psi \approx 0,542$ |
| 3 | Вероятность отказа заявке: $P_{отк.+} = P_{n(=2),+} \approx 0,161$ |
| 4 | Относительная пропускная способность СМО: $Q_+ = p_{об.+} \approx 0,839$ |
| 5 | Абсолютная пропускная способность СМО: $A \approx 109,07$ (заявок/год) |
| 6 | Среднее число заявок в СМО (или, что то же, среднее число заявок под обслуживанием): $\bar{N}_{сист.+} = \bar{N}_{об.+} \approx 0,787$ |
| 7 | Среднее время пребывания заявки в СМО (или, что то же, среднее время пребывания заявки в состоянии обслуживания): $\bar{T}_{сист.+} \approx 0,006$ (года) |
| 2) $\lambda = 240$ заявок/год, $\mu = 120$ заявок/год | |
| 1 | Показатель нагрузки СМО (трафик): $\rho \approx 2$ (эрланга) |
| 2 | Показатель нагрузки СМО, приходящейся на один канал: $\psi = 1$ |
| 3 | Вероятность отказа заявке: $p_{отк.+} = p_{n(=2),+} \approx 0,333$ |
| 4 | Относительная пропускная способность СМО: $Q_+ = p_{об.+} \approx 0,667$ |
| 5 | Абсолютная пропускная способность СМО: $A \approx 160,08$ (заявок/год) |

| | |
|---|---|
| 6 | Среднее число заявок в СМО (или, что то же, среднее число заявок под обслуживанием): $\bar{N}_{\text{сист.}+} = \bar{N}_{\text{об.}+} \approx 1$ |
| 7 | Среднее время пребывания заявки в СМО (или, что то же, среднее время пребывания заявки в состоянии обслуживания): $\bar{T}_{\text{сист.}+} \approx 0,004$ (года) |

(II): $\bar{c}_{br.} (= 2000 \text{ (ден. ед.)}) > \bar{V} (= 1500 \text{ (ден. ед.)})$:

$$\begin{aligned} \Delta_{z.(\text{исх.перестр.})} &= (160,08 - 79,2) \cdot 1500 + (0,008 - 0,004) \cdot 200 \times \\ &\times 160,08 \approx 122600 \text{ (ден. ед.)}. \end{aligned}$$

(В обоих случаях и здесь также выполнено соотношение двух интенсивностей $\lambda > \mu$.)

Заключение

Как видно из результатов расчетов экономии (годового экономического эффекта по предложенной формуле (3)) от совершенствования организации и повышения степени автоматизации процесса страхования с последующим исходящим перестрахованием, для рассмотренных случаев наиболее предпочтительно применение двухканальной системы массового обслуживания в модели с отказами при использовании ДБРС (дополнительной большой рабочей станции) в качестве второго канала при «равномерной» взаимопомощи между каналами (ситуация (d) из четырех нами рассмотренных, но не единственно возможных). Хотя рассмотренные числовые данные условны, они могут фигурировать и для других случаев (ситуаций).

Итак, в работе проведен анализ распределенной, состоящей из значительного (по сравнению с одним-двумя перестраховщиками) количества страховых и перестраховочных компаний, системы оптимизационной модельно-алгоритмической поддержки оперативного рационального перестрахования рисков вычислен для сравнения годовой экономической эффект (условный для анализируемых ситуаций).

Научная новизна данной работы состоит в следующем:

- предложена с позиции теории массового обслуживания модифицированная формула, новая для сферы перестрахования, поз-

воляющая сравнивать по годовому экономическому эффекту между собой различные, включая гибридные, варианты организации распределенных высокопроизводительных вычислений в целях оперативного рационального исходящего перестрахования рисков между членами страховых пулов, в том числе по отношению к базовому модернизируемому варианту для случаев, когда интенсивность входящего потока заявок выше интенсивности обслуживания;

- для рассмотренных случаев на основе расчета (возможного) годового экономического эффекта от совершенствования организации и повышения степени автоматизации процесса страхования с последующим исходящим перестрахованием выяснена предпочтительность двухканальной системы массового обслуживания в модели с отказами при использовании ДБРС (дополнительной большой рабочей станции) в качестве второго канала при «равномерной» взаимопомощи между каналами.

Кроме того, по сравнению с материалом, доложенным автором ранее на научно-практической конференции НСКФ-2016 (Национального суперкомпьютерного Форума) в ИПС (Институте программных систем) им. А.К. Айламазяна РАН, в части научной новизны следует отметить:

- сформулированы и доказаны две теоремы, указывающие на то, что при неудачно и/или необоснованно выбранных значениях финансово-экономических параметров, а именно среднего страхового взноса и усредненной брутто-ставки улучшение одной из организационно-технических характеристик обслуживания при даже небольшом ухудшении другой не может привести к положительному значению годового экономического эффекта от совершенствования организации и повышения степени автоматизации процесса страхования с последующим перестрахованием;
- сформулирована и доказана теорема, о соотношениях слагаемых формулы расчета годового экономического эффекта от вышеуказанных организационно-технических мероприятий в тех случаях, когда он принимает строго положительное значение.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

- содействие развитию сферы перестрахования, в том числе применительно к авиационной, космической и атомной отраслям, а также массовых рискованных видов страхования за счет возможности повышения оперативности принятия рациональных решений при перестраховании и управлении риском для значительного количества перестрахователей, уменьшения времени

оказания услуги страхования населению и юридическим лицам с последующим исходящим перестрахованием рисков;

- способствование снижению риска и тем самым, с учетом предупредительной функции страхования, смягчение последствий природных и техногенных катастроф.

Основная часть данной работы была выполнена во время работы автора в Финансовом университете до успешной аттестации в должности доцента и продолжена при повышении квалификации в НИУ ВШЭ (Национальный исследовательский университет «Высшая Школа Экономики») от основного места работы (РГГУ) и одновременно в МГЛУ (Московский государственный лингвистический университет).

Литература

1. Матальцкий М.А., Русилко Т.В. Математический анализ стохастических моделей обработки исков в страховых компаниях. Гродно: ГрГУ, 2007. 334 с.
2. Алферов А.В. Оргтехника в управлении / Под общ. ред. Л.Н. Качалиной М.: Экономика, 1975. 183 с.
3. Шептунов М.В. Страхование и новое научное направление: методы оперативного рационального перестрахования особо серьезного риска на базе эволюционных алгоритмов // Сборник работ победителей национального конкурса научных и инновационных работ по теоретической и прикладной экономике. СПб.: Первый класс, 2012. С. 156–167.
4. Шептунов М.В. Применение муравьиного алгоритма в модифицированной задаче коммивояжера при перестраховании по критерию минимизации суммы ответственности cedenta // Страховое дело. 2009. № 11. С. 18–23; № 12. С. 55–60.
5. Экономико-математическое моделирование: Учеб. для вузов / Под общ. ред. И.Н. Дрогобыцкого. М.: Экзамен, 2004. 800 с.

References

1. Matalytskii MA., Rusilko TV. Mathematical analysis of stochastic models of claims processing in insurance companies. Grodno: GrGU Publ.; 2007. 334 p. (In Russ.)
2. Alferov AV. Office equipment in management. Kachalina LN., ed. Moscow: Economica Publ.; 1975. 183 p. (In Russ.)
3. Sheptunov MV. Insurance and a new scientific direction. Methods of operative rational Reinsurance of the extra-severe risk based on evolutionary algorithms. V: Collection of works by the winners of the national competition of the scientific and innovative works in theoretical and applied economics. Saint-Petersburg: Pervyi klass. Publ.; 2012. p. 156-67. (In Russ.)

4. Sheptunov MV. Application of Ant algorithm in the modified traveling salesman problem at reinsurance by criterion of minimization of the sum of responsibility of the cedent. *Strakhovoe delo*. 2009;11:18-23; 2009;12:55-60. (In Russ.)
5. Drogobytsky IN., ed. Economic-Mathematical modeling. A textbook for higher education institutions. Moscow: Examen Publ.; 2004. 800 p. (In Russ.)

Информация об авторе

Максим В. Шептунов, кандидат технических наук, доцент, Российский государственный гуманитарный университет, Москва, Россия; Россия, Москва, ГСП-3, 125993, Миусская пл., д. 6; Московский государственный лингвистический университет, Москва, Россия; Россия, Москва, 119034, ул. Остоженка, д. 38, строение 1; triumph403@yandex.ru

Information about the author

Maxim V. Sheptunov, Cand. Of Sci. (Computer Science), associate professor, Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia; bld. 6, Miusskaya sq., Moscow, GSP-3, 125993, Russia; Moscow State Linguistic University, Moscow, Russia; bld. 38/1, Ostozhenka str., Moscow, 119034, Russia; triumph403@yandex.ru

Математика

УДК 620.1:51

DOI: 10.28995/2686-679X-2019-1-78-93

Оптимальный способ ЦОС в задачах оценки долговечности

Ирина В. Гадолина

*Институт машиноведения Российской академии наук,
Москва, Россия, gadolina@mail.ru*

Александр Д. Козлов

*Российский государственный гуманитарный университет,
Москва, Россия, adkozlov@mail.ru*

Ася А. Монахова

*Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, aamonah@bmstu.ru*

Ирина Л. Серебрякова

*Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, serebriakova2456@mail.ru*

Аннотация. Теорема Найквиста (Котельникова, Шеннона) широко применяется в задачах обработки случайных сигналов. Согласно данной теореме осуществляется дискретизация, позволяющая провести достоверную оценку спектральных плотностей. В статье показано, что требования, предъявляемые к анализу случайных процессов нагружения с дальнейшей целью оценки долговечности, в силу своей специфики находятся в противоречии с данным указанием. В то же время применявшиеся ранее приборы, осуществляющие аппаратное выделение локальных экстремумов, в настоящее время не используется.

Показано, что для данной задачи предпочтительной является дискретизация случайного процесса нагружения в моменты пересечений уровней квантования, что позволяет с меньшими затратами и большей точностью выделять экстремумы случайного процесса. На модельных примерах продемонстрирован выигрыш в терминах быстродействия, что в конечном счете будет способствовать увеличению достоверности информации, необходимой для оценки долговечности. Экономия на памяти и быстродействии позволит обрабатывать более длительные реализации, что также

© Гадолина И.В., Козлов А.Д., Монахова А.А., Серебрякова И.Л., 2019

будет способствовать уточнению оценки долговечности на стадии промышленной эксплуатации и для оценки остаточного ресурса.

Ключевые слова: случайный процесс нагружения, частота дискретизации, интервалы квантования, усталость металлов, экстремумы, усталость материалов

Для цитирования: Гадolina И.В., Козлов А.Д., Монахова А.А., Серебрякова И.Л. Оптимальный способ ЦОС в задачах оценки долговечности // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2019. №1 (2). С. 78-93. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-1-78-93

Optimal decision for Digital Signal Processing in the durability assessment problem

Irina V. Gadolina

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy
of Sciences, Moscow, Russia, gadolina@mail.ru*

Alexander D. Kozlov

*Russian State University for the Humanities,
Moscow, Russia, adkozlov@mail.ru*

Asya A. Monakhova

*Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia, aamonah@bmstu.ru*

Irina L. Serebryakova

*Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia, serebriakova2456@mail.ru*

Abstract. The Nyquist theorem (Kotel'nikov, Shannon) is widely used in processing of random signals. According to this theorem, the discretization is carried out, what allows to make a reliable assessment of the spectral densities. The article shows that the requirements for the analysis of random loading processes for the further purpose of assessing the loading, due to its specificity, are in contradiction with that notice. At the same time, previously used devices that perform hardware comprehension of local extremes are not currently used.

It is shown that for such task it is preferable to take to the discretization in a random process of loading to the points of intersections of quantization levels, allowing lower costs and more accurately comprehend the extremes of a random process. The model examples demonstrate the gain in terms of computing time, what ultimately will increase the reliability of the information necessary to assess the durability. The savings in memory and performance will allow longer

implementations to be processed, what will also help to refine the durability assessment during the production phase and to estimate the remaining life.

Keywords: random process of loading, discretization rate, quantization intervals, fatigue of metals, extremes, fatigue of materials

For citation: Gadolina IV., Kozlov AD., Monakhova AA., Serebryakova IL. Optimal decision for Digital Signal Processing in the durability assessment problem. *RSUH / RGGU Bulletin. "Information Science. Information Security. Mathematics" Series*. 2019;1(2):78-00. DOI:

Анализ современного состояния вопроса

В задачах транспортного машиностроения актуальным является сопоставление расчетной и эксплуатационной надежности в связи с уточнением расчетных методов оценки нагруженности и долговечности. При оценке расчетной долговечности весьма важным составляющим моментом является оценка нагруженности в эксплуатации. Данная оценка проводится на основе анализа нагруженности и с применением гипотез суммирования усталостных повреждений. При оценке долговечности решающее значение имеет оценка распределения экстремальных пиков нагрузки и значения выбросов, определяющие максимальную амплитуду напряжений процесса σ_{\max} . При использовании для схематизации метода дождя как наиболее адекватно отражающего суть рассмотрения повреждающего воздействия случайного процесса нагружения [1] максимальная амплитуда блока нагружения определяется как $\sigma_{\max} = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$, где σ_{\max} и σ_{\min} – максимальное и минимальное значения случайного процесса нагружения в реализации.

Если ранее для обработки случайного процесса нагружения применялись аналоговые приборы, позволяющие аппаратным образом зафиксировать локальные экстремумы, то в настоящее время не в последнюю очередь благодаря возросшим вычислительным возможностям подобные приборы перестали применяться. Наиболее широко применяется цифровая обработка сигналов, при которой непрерывный процесс заменяется набором дискретных значений. Процедура предполагает две операции: квантование по уровням (осуществляется аналого-цифровыми преобразователями – АЦП разной разрядности) и дискретизацию по времени [1].

Специфика обработки случайного процесса нагружения с целью последующей оценки долговечности заключается в том, что для оценки долговечности при обработке случайного процесса

важно получить распределение экстремальных значений (а в некоторых случаях и их последовательность [2]). Несущественной является оценка частотного состава процесса, так как при дальнейшей обработке процесса, а именно, схематизации по методу дождя [1] используются только экстремумы, а форма цикла и временные характеристики остаются за кадром.

Дискретизация и разбиение процесса на уровни — это лишь этап предварительной подготовки процесса. Целью обработки является схематизация. Схематизацией называется процесс замены случайного процесса набором гармоник с целью последующего расчета долговечности по линейной гипотезе накопления усталостных повреждений Майнера [3]. В идеале эти гармоники должны обеспечить эквивалентное повреждение образца или детали. В настоящее время предпочтение отдается схематизации по методу падающего дождя. Данный метод может быть применен к широкому классу процессов: синусоидальному, полигармоническому, переходному, стационарному и нестационарному процессам [1].

Способ обработки аналогового сигнала, более экономичный с точки зрения расхода ресурсов аналого-цифровой техники, обеспечивало устройство, аналогичное описанному в [4] и подобному использованному в [5], позволяющее непосредственно определять экстремумы случайного процесса минуя промежуточные стадии. Подобные устройства могли обеспечить измерение экстремумов электрического сигнала, в который преобразуется сигнал с тензометрического датчика деформаций деталей. Формирование моментов экстремума осуществляется при индикации изменения знака разности между текущим и предыдущим кодированными значениями исследуемого сигнала. Устройство KLA-2 [5] давало возможность обеспечить обработку случайного процесса по методу пересечений (квантование процесса по уровням), что позволило исследователям компактно и оперативно регистрировать экстремумы.

Следует также отметить, что частотные характеристики процесса, представленные в виде спектральной плотности случайного процесса, вспомогательную роль. Их применение в большей степени оправдано на стадии проектирования изделий машиностроения [6]. Несмотря на то, что применение теории случайных процессов к анализу надежности машин и конструкций имеет давнюю успешную историю [7] в решении задач прочности, в задачах оценки усталости, на стадии постпроцессинга (т. е. когда по крайней мере опытный образец уже существует и возможна реализация случайного процесса нагружения) предпочтительно применять методы схематизации для построения блока нагружения и для

расчетов и/или испытаний, при которых временные показатели не рассматриваются. После успешного решения задач с помощью спектрального подхода, таких как вибрации мостов и высотных зданий при порывах ветра, вибрации при землетрясениях и т. д., продолжали применять теорию случайных процессов на более поздней стадии жизненного цикла изделия, а именно постпроцессинга, данный подход не является целесообразным, так как на этой стадии уже существует возможность применять методы схематизации и как наиболее перспективный – метод дождя [1,3].

Актуальность

Вопрос экономии вычислительных ресурсов, включающих память и количество операций, тесно связан с возможностью осуществлять обработку более продолжительных реализаций, что позволит повысить состоятельность оценки нагружения [8]. АЦП широко применяются при обработке случайных сигналов нагрузок (напряжений) во времени в задачах оценки долговечности. В силу специфики указанной задачи, а именно, максимально корректного определения распределения амплитуд напряжений в интервале $[\sigma_{\text{amax}}; \sigma_{\text{amax}} - \varepsilon]$ данный способ не является ни единственно возможным, ни оптимальным.

Основная часть

Основой для применения любых методов схематизации является выделение экстремумов, а они определяются по дискретизированному случайному процессу. Метод равномерной циклической дискретизации хотя и не оптимален, но применяется наиболее широко.

В статье рассмотрены варианты обработки с АЦП. Их два:

- выделение экстремумов по последовательности случайных ординат;
- выделение экстремумов по методу пересечений.

Согласно первому варианту случайные значения считываются с аналогового сигнала через равные промежутки времени Δt , которые выбираются в зависимости от максимальной частоты процесса f_1 :

$$\Delta t = 1 / (K \cdot f_1) \text{ [с]}, \quad (1)$$

где $K \geq 2$ (согласно теореме Котельникова $K=2$). Формула (1) будет использована в ходе дальнейших рассуждений.

В [9] приведена формула для оценки Δt с учетом скорости изменения процесса $\sigma(t)$ и числа уровней квантования N :

$$\Delta t = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{N \left(\frac{d\sigma}{dt} \right)_{\max}}. \quad (2)$$

На основе (2) и с применением теории ошибок, а также законов накопления усталостных повреждений в области многоциклового нагружения получены соотношения, позволяющие выбрать такое $\max(\Delta t)$, чтоб не допустить дополнительной ошибки оценки ресурса за счет недостаточно подробной дискретизации. В качестве параметров в приведенные ниже соотношения входит коэффициент угла наклона кривой усталости m , а долговечность оценивается по линейной гипотезе накопления повреждений по кривой усталости, не имеющей горизонтального участка [3]. При выводе зависимости было сделано предположение, что существует вероятность того, что пик синусоиды расположен ровно посередине между двумя отсчетами функции при дискретизации с интервалом Δt . Второе допущение – колебание с максимальной частотой f_{\max} осуществляется с максимальной амплитудой σ_{\max} . Такой вариант нагружения наблюдается, например, в деталях подвижного состава при прохождении стрелок: большие амплитуды напряжений с малым периодом колебаний.

С этими допущениями формула для оценки максимально допустимой частоты дискретизации $\max(\Delta t)$ выразится в виде

$$\max(\Delta t) \leq \frac{1}{f_{\max} \cdot K}, \quad (3)$$

где

$$K = \frac{\pi}{\arccos \left[1 - \frac{\delta(Re)}{m} \right]}, \quad (4)$$

$\delta(Re)$ – допустимая ошибка оценки ресурса.

На рис. 1 формула (4) представлена в графическом виде (номограмма):

На рис. 2 приведены примеры осуществления дискретизации случайного процесса нагружения по методу равномерной циклической дискретизации [10]. Точками обозначены зарегистрированные

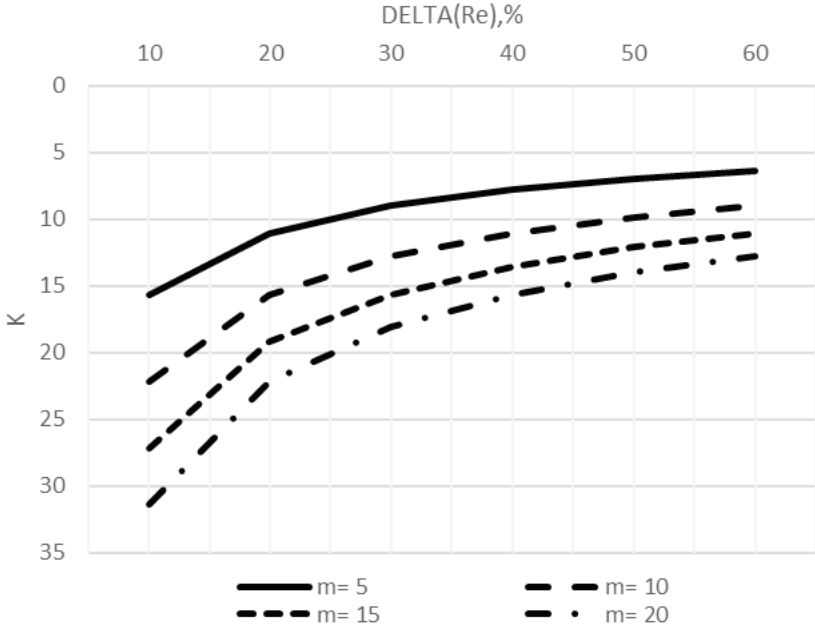


Рис. 1. График для определения необходимого K в формуле (1)

ные дискретные отсчеты. На рис. 2, б и отчасти на рис. 2, а действующие максимальные значения процессов не были зафиксированы из-за недостаточной частоты дискретизации. Например, у процесса, показанного на рис. 2, б для реализации на временных отрезках $t=0,003, \dots, 0,0035$ с и $t=0,013, \dots, 0,0135$ с весьма вероятно наличие минимумов, меньших, чем зафиксированные при дискретизации, а именно, $\sigma_{\min 1} = 107$ МПа, $\sigma_{\min 2} = 108$ МПа. В примерах на рис. 2, в и 2, г частота дискретизации достаточна, и экстремальные значения надежно определены.

Как было отмечено ранее, равномерная дискретизация по уровням не представляется оптимальным решением для задачи выделения экстремумов. Более предпочтительной является дискретизация в моменты пересечений уровней напряжений [1].

Уровни – это цифровые целочисленные аналоги физических величин. Число уровней выбирается 2^n , где $n \in \mathbb{Z}, n = 4, \dots, 7$ и более. Таким образом, число уровней составляет от 16 до 128 и более. При преобразовании к уровням случайная величина также подвергается процедуре центрирования.

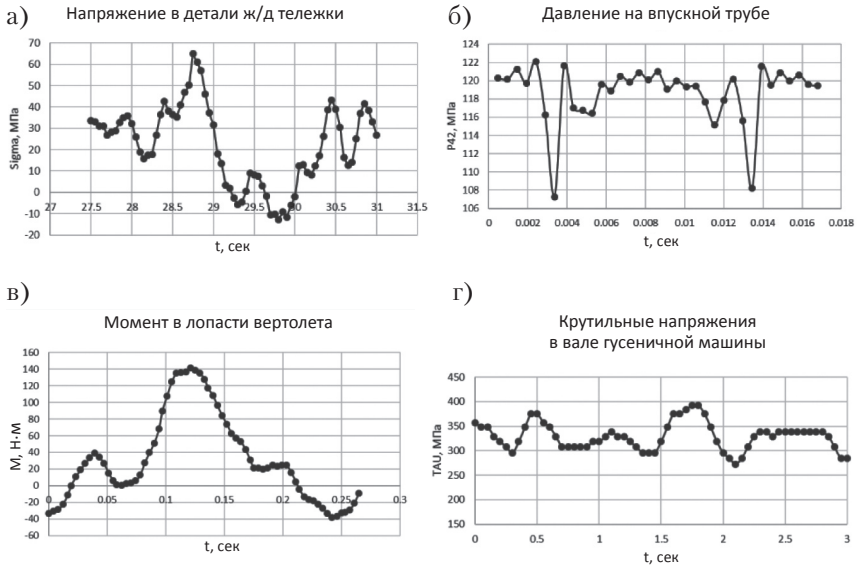


Рис. 2. Примеры дискретного представления непрерывных процессов деформаций:
 а – [11]; б – [12]; в – [13]; г – [14]

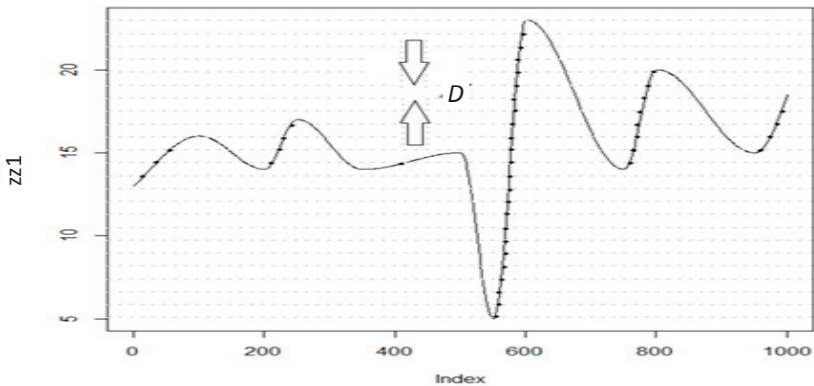


Рис. 3. Схема, поясняющая дискретизацию по пересечению уровней (точки – это дискретные отсчеты в момент пересечения уровней восходящей ветвью)

На рис. 3 приведена схема, поясняющая дискретизацию по уровням. В отличие от равномерной циклической дискретизации согласно данному методу оцифровываются значения, в которых

аналоговый сигнал (восходящие ветви) пересекает границы уровней. (D – это ширина уровней квантования). Дискретизация по пересечению уровней позволяет надежно определить локальные экстремумы, которые определяются как изменение градиента процесса. Метод также обеспечивает переход к целочисленной арифметике, что в свою очередь существенно ускоряет вычисления.

На примере модельных процессов показан выигрыш в быстродействии алгоритма (см. таблица 1). Вычисления ускоряются примерно в 40 раз при дискретизации по методу пересечений уровней и использовании целочисленной арифметики. Основным критерием оценки оптимальности методов является сходимость оценки ресурса при увеличенном быстродействии при оценке по линейной гипотезе накопления повреждений, поскольку конечной целью обработки случайных процессов нагружения является именно оценка ресурса.

| Процесс [15] | Время вычислений, потраченное на выделение 1000 экстремумов | | |
|----------------------------|---|---|--------------|
| Коэффициент нерегулярности | При дискретизации по методу случайных ординат, с | При дискретизации по пересечению уровней, с | Выигрыш, раз |
| $I=0,3$ | 18,79 | 0,526 | 35,7 |
| $I=0,7$ | 23,34 | 0,540 | 43,3 |
| $I=0,99$ | 26,07 | 0,56 | 46,30 |

Следующим после выделения экстремумов этапом является схематизация случайного процесса нагружения. Схематизацией называется метод замены нерегулярно случайного процесса набором гармоник с разной амплитудой и иногда и средними значениями цикла. Наиболее простым и интуитивно понятным является метод экстремумов. Достаточно точный результат данный метод схематизации дает лишь для узкого класса случайных процессов, а именно, процессов с простой структурой, для которых выполняется следующее условие:

$$x_{\max,i} > x_0 \cap x_{\min,i} < x_0 \quad i \in 1, 2... N_s, \tag{5}$$

где x_0 – средний уровень реализации, N_s – число экстремумов в реализации.

Условие (1) означает, что локальные максимумы процесса расположены выше среднего уровня нагрузки x_0 и локальные минимумы расположены ниже среднего уровня нагрузки x_0 . Пример процесса, удовлетворяющего данным правилам, показан на рис. 4.

Данный процесс характеризуется коэффициентом нерегулярности $I \approx 1$. Коэффициент нерегулярности I описывает структурную сложность процесса и определяется как $I = N_0/N_3$, [1], где N_0 – число пересечений процессом среднего уровня и N_3 – число экстремумов, зафиксированных на представительном участке реализации.

Если условие (5) не выполняется, метод экстремумов даст значительную ошибку в оценке долговечности.

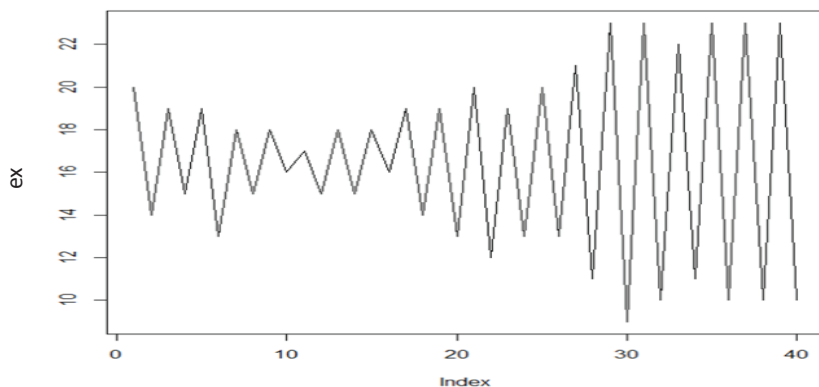


Рис. 4. Пример процесса с простой структурой ($I = 0,99$)

Наряду с методом пересечений ранее использовались прочие методы схематизации: метод экстремумов, метод размахов, метод полных циклов. В настоящее время общепринятым методом, доказавшим хорошую сопоставимость с результатом эксперимента, является метод дождя [1].

На рис. 5 показан участок реализации процесса со структурой средней сложности ($I = 0,41$). Для обработки подобных процессов целесообразно применять метод дождя.

Ввиду важности данного инструмента обработки для последующей оценки долговечности, далее излагается один из алгоритмов метода дождя [1], а именно, метод трех экстремумов.

1. Выделенные предварительно экстремумы анализируются последовательно
2. Рассматривается первая тройка экстремумов: X_A , X_B и X_C . Они образуют два размаха: R_{AB} и R_{BC} (рис. 6, а).
3. Важно различать два исхода: $R_{AB} > R_{BC}$ и $R_{BC} \geq R_{AB}$.

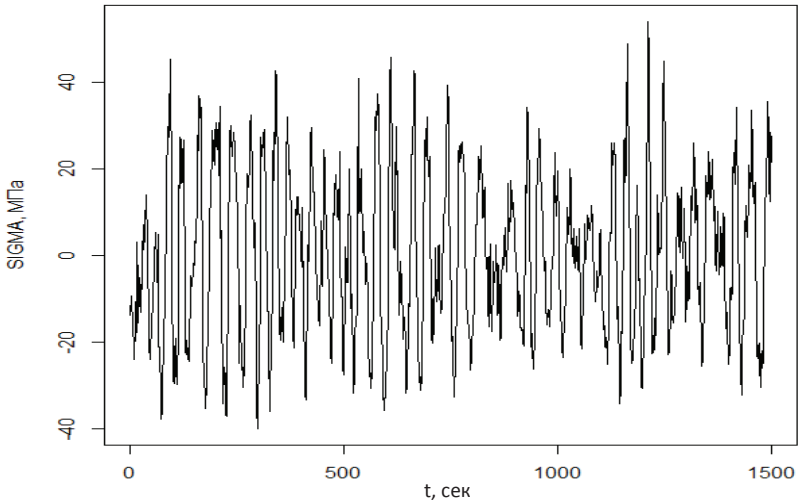


Рис. 5. Пример реализации случайного процесса напряжений в детали транспортной машины

4. Если $R_{AB} > R_{BC}$ (рис. 6, а) цикл напряжений не выделяется, поскольку следующий размах в записи может быть меньше R_{BC} . Осуществляется переход к следующей тройке по правилам: В обозначаем А, С обозначаем В, за экстремум С берем следующий по записи (рис. 6, б).
5. В случае $R_{BC} \geq R_{AB}$ (рис. 6, б) считается, что экстремумы А и В образуют цикл нагружения. Следует отметить, что размах, предшествующий R_{AB} , если он имеется, больше чем R_{AB} , иначе он был бы исключен на предыдущем шаге. Цикл заносится в память со следующими параметрами: амплитуда цикла А–В: $\sigma_a = R_{AB}/2$; среднее значение цикла: $\sigma_m = (X_A + X_B)/2$. Экстремумы исключаются из дальнейшего рассмотрения. В качестве А и В берутся два экстремума, пропущенные ранее (рис. 6, в).
6. Операция продолжается, пока не будут исчерпаны все экстремумы в реализации.

Наиболее содержательной безразмерной характеристикой спектра, получаемого в результате схематизации, является мера полноты спектра V , которая по существу является эквивалентной амплитудой спектра, отнесенной к максимальной амплитуде $\hat{\sigma}_a$. Величина V , наряду с максимальной амплитудой спектра, является весьма информативной характеристикой повреждающего действия

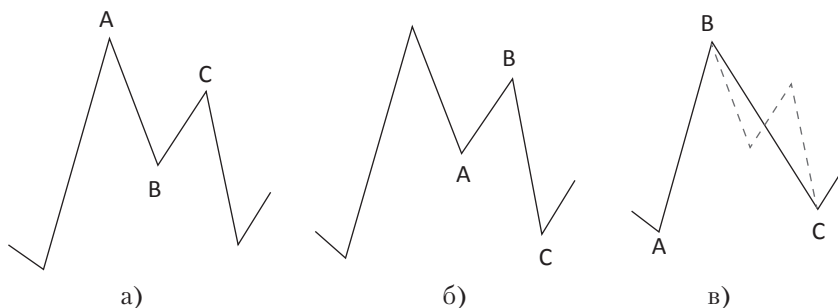


Рис. 6. Схемы, поясняющие алгоритм метода падающего дождя (алгоритм трех экстремумов)

процесса и в дальнейшем будет использоваться для сопоставления расчетных вариантов. Поскольку речь идет об усталости, для которой характерна степенная зависимость количества циклов от амплитуды напряжений, величина V вычисляется в зависимости от параметра угла наклона кривой усталости m , $V(m)$ ($m = 4, \dots, 13$ – для металлов, для композитов: $12, \dots, 20$). Для вычисления V используется формула:

$$V = \sqrt[m]{\frac{1}{n} \sum h_i \left(\frac{\sigma_{ai}}{\hat{\sigma}_a} \right)^m}, \quad (6)$$

где m – коэффициент угла наклона кривой усталости; n – суммарное число циклов в блоке; h_i – количество число на i -й ступени; σ_{ai} – значение амплитуды напряжений; $\hat{\sigma}_a$ – максимальная амплитуда в блоке.

Коэффициент полноты спектра позволяет привести переменные амплитуды спектра к некоторой эквивалентной величине. При этом ресурс в дальнейшем вычисляется с использованием имеющейся информации о характеристиках сопротивления усталости детали.

На рис. 7 приведены результаты по погрешностям вычисления ресурса за счет необоснованного выбора интервала частоты дискретизации. Сравнивались погрешности при дискретизации при $K=2$ (формула Найквиста) и $K=4$. Данные получены на основе численного моделирования для процессов с разным коэффициентом нерегулярности $\bar{I}=0,7$. Для оценки ресурса использовалась формула

$$N = \left(\frac{\sigma_{-1d}}{V \hat{\sigma}_a} \right)^m N_G, \quad (7),$$

где N_G – число циклов, соответствующее точке перелома кривой усталости.

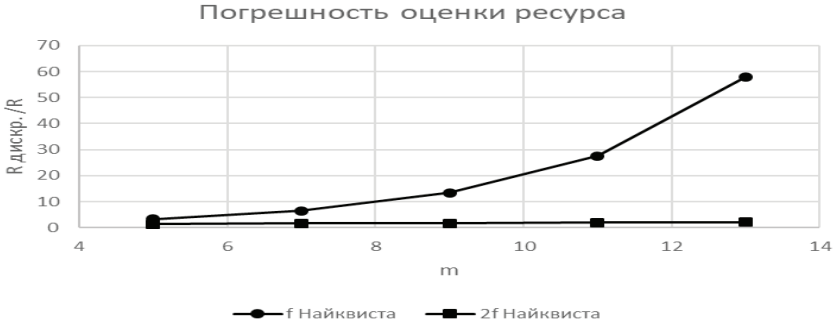


Рис. 7. Погрешность оценки ресурса из-за недостаточной частоты дискретизации для модельного примера процесса с коэффициентом нерегулярности $I = 0,7$ [15]

На примере модельных и эксплуатационных процессов показан выигрыш в памяти, быстродействии и точности. Основной критерий оценки оптимальности методов сходимость оценки ресурса при оценке по линейной гипотезе накопления повреждений, поскольку конечной целью обработки случайных процессов нагружения является именно оценка ресурса.

Заключение и выводы

1. Получена формула для заниженной оценки интервала дискретизации по методу равномерной циклической дискретизации для обеспечения требуемой точности оценки максимальной амплитуды в блоке.
2. Обоснованы преимущества применения метода пересечений уровней для дискретизации
3. При выделении экстремумов по методу пересечений уровней достигается существенный выигрыш в быстродействии (до 40 раз для некоторых процессов). При наличии соответствующих технических решений в области АЦП представляется возможным увеличить точность оценки не в последнюю очередь за счет увеличения длительности обрабатываемой реализации
4. С привлечением данных по накоплению усталостных повреждений оценена погрешность оценки ресурса из-за недостаточной частоты дискретизации.

Литература

1. ГОСТ 25.101-83. Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов. Статус: действующий. Дата последнего изменения: 10.04.2018 // База ГОСТов. URL: https://allgosts.ru/03/120/gost_25.101-83 (дата обращения 29 апр. 2019 г.)
2. *Wheeler O.E.* Spectrum loading and crack growth // Transactions of the ASME, Journal of Basic Engineering. 1972. Vol. 94. P. 181–186.
3. *Козаев В.П.* Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. М.: Машиностроение, 1993. 363 с.
4. Описание изобретения к авторскому свидетельству 1322161. Устройство для определения экстремумов электрического сигнала. Киев: Институт технической теплотехники НАН Украины, 1986.
5. *Никольский Л.Н., Коцубенко В.П., Игнатенко Ю.В.* Применение классифицирующих устройств типа KLA-2 для исследования нагруженности рам вагонных тележек // Вопросы исследования надежности и динамики. Брянск, 1974. С. 5–11.
6. *Braccesi C., Cianetti F., Tomassini L.* Random fatigue. A new frequency domain criterion for the damage evaluation of mechanical components // International Journal of Fatigue. 2015. Vol. 70. P. 417–427.
7. *Болотин В.В.* Ресурс машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1990. 445 с.
8. *Gadolina I., Zaynetdinov R.* The estimation of the sufficient random loading realization length in the problem of machine parts longevity // Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT, 24–27 May, 2018, Kiev, Ukraine. Kiev, 2018. P. 159–162.
9. *Гитис Э.И.* Преобразование информации для электронных цифровых вычислительных устройств. М.: Энергия, 1975. 240 с.
10. *Бендат Дж., Пирсол А.* Прикладной анализ случайных данных. М.: Мир, 1989. 540 с.
11. *Гадолina И.В., Петрова И.М., Шашкова Е.В., Беневоленская Е.М.* Анализ нагруженности и составление обобщенного спектра нагружения для оценки долговечности боковой рамы тележки // Материалы Международной конференции «Живучесть и конструкционное материаловедение», 22–24 октября 2012 г., Москва. М.: ИМАШ РАН, 2012. С. 67–72.
12. *Georgievskaia E.* Justification of the hydraulic turbines lifetime from the standpoint of the fracture mechanics // Power engineering: research, equipment, technology. 2018. Vol. 20 (9–10). P. 71–78.
13. *Свирский Ю.А., Стерлин А.Я.* Метод компактной регистрации параметров нагруженности при ресурсных испытаниях и в процессе эксплуатации механических конструкций // Заводская лаборатория. Серия «Диагностика материалов». 2016. № 4. Т. 82. С. 50–56.
14. *Гадолina И.В., Грызлова Т.П., Дубин Д.А., Петрова И.М., Филимонова Н.И.* Исследование нагруженности транспортных машин во временной и частотной области // Сборник трудов 4-й Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию ИМАШ РАН. Живучесть и конструкционное материаловедение ЖивКоМ – 2018. М.: ИМАШ РАН, 2018. С. 84–86.

15. *Фушер Р., Хайбах Э.* Моделирование функций нагружения в опытах по оценке материалов // Поведение стали при циклических нагрузках / Под ред. В. Даля. М.: Металлургия, 1983. С. 368–405.

References

1. GOST 25.101-83. Calculations and strength tests. Schematization methods in random processes of loading elements of machines and structures and the results statistical representation Status: valid. Last modified: 10.04.2018. Base of GOSTs. [Internet]. [data obrashcheniya 29 apr. 2019]. (In Russ.)
2. Wheeler OE. Spectrum loading and crack growth. *Transactions of the ASME, Journal of Basic Engineering*.1972; 94:181-6.
3. Kogaev VP. Strength calculations at strains variable in time. Moscow: Mechanical Engineering, 1993. 363 p. (In Russ.)
4. Description of the invention to the copyright certificate 1322161. A device for determining the extremes of the electrical signal. Kiev: Institute of Technical Heat Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine, 1986. (In Russ.)
5. Nikol'skii LN, Kotsubenko VP, Ignatenko YuV. The use of classifying devices of KLA-2 type to study the RAM bogies loading. V: Problems of Reliability and Dynamics Research. Bryansk, 1974. p. 5-11. (In Russ.)
6. Braccesi C., Cianetti F, Tomassini L. Random Fatigue. A New Frequency Domain Criterion for the Damage Evaluation of Mechanical Components. *International Journal of Fatigue*. 2015;70: 417-427.
7. Bolotin VV. The resource of machines and structures. Moscow. Mechanical Engineering, 1990. 445 p. (In Russ.)
8. Gadolina I, Zaynetdinov R. The estimation of the sufficient random loading realization length in the problem of machine parts longevity // Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT, 24–27 May, 2018, Kiev, Ukraine. Kiev, 2018. p. 159-62.
9. Gitis EI. Data transformation for electronic digital computing devices. Moscow: Energiya Publ.; 1975. 240 p. (In Russ.)
10. Bendat J., Piersol A. Applied analysis of random data. Moscow: Mir Publ.; 1989. 540 p. (In Russ.)
11. Gadolina IV, Petrova IM, Shashkova EV, Benevolenskaya EM. Load Analysis and Compilation of a Generalized Loading Spectrum to Assess the Durability of the Trolley Side Frame. V: Proceedings of the International Conference "Longevity and structural materials". October 22-24, 2012, Moscow. Moscow: IMASH RAN Publ.; 2012. p. 67-72. (In Russ.)
12. Georgievskaya E. Justification of the hydraulic turbines lifetime from the standpoint of the fracture mechanics. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2018;20(9-10):71-78.
13. Svirskii JA, Sterlin AY. Method of compact recording parameters of load in life tests and in the process of the mechanical structures operation. Works laboratory. *Diagnosis of Materials*. 2016;4:50-6. (In Russ.)
14. Gadolina IV, Gryzlova TP, Dubin DA, Petrova IM, Filimonova NI. Studies of the loading of transport vehicles in the time and frequency domain. V: Proceedings of the 4th International Scientific and Technical Conference Dedicated to the 80th

- Anniversary of IMASH. Survivability and Structural Materials ZhivKoM – 2018. Moscow: IMASH RAN Publ.; 2018. p. 84-86. (In Russ.)
15. Fisher R, Haibach E. The functions loading modeling in experiments on the evaluation of materials. V: Dal' V, ed. Behavior of Steel Under Cyclic Loads. Moscow: Metallurgiya Publ.; 1983. p. 368-405. (In Russ.)

Информация об авторах

Ирина В. Гадоллина, кандидат технических наук, доцент, Институт машиноведения Российской академии наук, Москва, Россия; Россия, Москва, 101000, Малый Харитоньевский пер. 4; gadolina@mail.ru

Александр Д. Козлов, кандидат технических наук, профессор, Российский государственный гуманитарный университет, Москва, Россия; Россия, Москва, 125993, ГСП-3, Миусская пл., д. 6; adkozlov@mail.ru

Ася А. Монахова, ассистент, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия; Россия, Москва, 105005, 2-я Бауманская ул., д. 5; aamonah@bmstu.ru

Ирина Л. Серебрякова, кандидат технических наук, доцент, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия; Россия, Москва, 105005, 2-я Бауманская ул., д. 5; serebriakova2456@mail.ru

Information about the authors

Irina V. Gadolina, Cand. of Sci. (Mechanical Engineering), associate professor; Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; bld. 4, Malyi Khariton'evskii lane, Moscow, 101990, Russia; gadolina@mail.ru

Alexander D. Kozlov, Cand. of Sci. (Computer Science), professor, Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia; bld. 6, Miusskaya sq., Moscow, 125993, GSP-3, Russia; adkozlov@mail.ru

Asya A. Monakhova, assistant professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia; bld. 5, 2nd Bauman str., Moscow, 105005, Russia; aamonah@bmstu.ru

Irina L. Serebriakova, Cand. of Sci. (Computer Engineering), associate professor, Bauman Moscow State Technical University, bld. 5, 2nd Bauman str., Moscow, 105005, Russia; serebriakova2456@mail.ru

УДК 517.5(091)

DOI: 10.28995/2686-679X-2019-1-94-109

Развитие понятия непрерывности в математическом анализе до XIX в.

Галина И. Синкевич

*Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия, galina.sinkevich@gmail.com*

Аннотация. В статье рассмотрена история тех аспектов понятий числа и непрерывности, которые послужили становлению математического анализа в период до XIX в. Внимание уделено математическим открытиям XIV, XVI, XVII, XVIII и XIX вв., приведен анализ основных концепций числа и непрерывности XIX в.

Ключевые слова. Непрерывность, действительные числа, комплексные числа, теория функций

Для цитирования: Синкевич Г.И. Развитие понятия непрерывности в математическом анализе до XIX в. // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2019. №1 (2). С. 94–109
DOI: 10.28995/2686-679X-2019-1-94-109

The development of the Continuity concept in Mathematical Analysis to the 19th century

Galina I. Sinkevich

*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Saint Petersburg, Russia, galina.sinkevich@gmail.com*

Abstract. The article describes the history of those aspects of the number and continuity concepts which served the formation of mathematical analysis in the period to the 19th century. Attention is paid to the mathematical discoveries of the 14th, 16th, 17th, 18th and 19th centuries. An analysis of the basic number and continuity concepts of the 19th century is given.

Keywords: continuity, real numbers, complex numbers, theory of functions

For citation: Sinkevich GI. The development of the Continuity concept in Mathematical Analysis. *RSUH / RGGU Bulletin. "Information Science. Information Security. Mathematics" Series.* 2019;1(2):94-109. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-1-94-109

© Синкевич Г.И., 2019

Два основных понятия математического анализа – число и непрерывность – прошли долгий путь формирования с античности до нашего времени. Понятие числа как элемента числового отрезка, связанного с понятиями непрерывности и упорядоченности, берет свое начало из античности, в методе исчерпывания Евдокса при работе с геометрическими величинами, принципе Евклида и его усилении в методах Архимеда приближения с избытком и недостатком.

В период с XII по XIV в. шел процесс освоения античного наследия, в том числе абстрагирования и математизации физических понятий континуума, непрерывности, точки, линии и поверхности. В работах Ж. Буридана, Т. Брадвардина, У. Оккама и Р. Суисета появились логические схемы, позже востребованные в построении математического анализа. Среди рассматриваемых ими утверждений были такие, как отсутствие последнего момента существования качества, но лишь возможность первого момента нового качества; между двумя примыкающими частями континуума нет ничего промежуточного; линия непрерывна лишь благодаря отрицанию чего-либо между ее частями, что могло бы стать причиной разрыва между ними; время как континуум разделяется моментом таким образом, что либо в прошлом нет последнего момента, либо его нет в будущем в зависимости от того, к будущему или прошлому мы относим момент настоящего. Новые понятия: изменение, интенсивность, мгновенная скорость, постоянная величина, непрерывная величина, последовательность, упорядоченность, хотя и без формализации, были введены схоластами, которые располагали эти величины на упорядоченных шкалах, между которыми есть соответствие. Была признана условность понятия точки в математическом смысле, признана идея самоподобия континуума, установлены первые парадоксы бесконечного. Буридан рассмотрел последовательность интервалов, в каждом из которых содержится точка континуума [1]. Еще не было понятия «направление» (возникло в математике только в XVIII в.), понятия вектора (кроме радиус-вектора точки). Впервые около 1300 г. на латыни появился термин «пространство».

Благодаря схоластам многие новые понятия стали научными конструктами. Еще не было понятий соседства, окрестности, сближения, сходимости, движения. Граница трактовалась как рубеж, ограничитель фрагмента физического материала. Как математический феномен середины XIV в. отметим описание Н. Оремом различия между переменной и постоянной, описание трех перпендикулярных осей, последовательное изменение интенсивности, представление величины линейного качества в виде площади и вычисление конечной площади бесконечной плоской фигуры [2].

Замечательным в работах схоластов XIV в. является то, что они обсуждали все гипотезы, к которым приводила их интуиция, но отвергали те из них, с которыми не согласовывался их научный опыт, к XIV в. довольно скромный. Многие из идей, высказанных, но отвергнутых после обсуждения Оремом, Брэдвардином и Буриданом, послужили конструктивной основой представления о числе XVI в., понятию бесконечно малой XVII в., в анализе XIX века – понятиям плотности, последовательности, границы, представлению о сечении, покрытии, упорядоченности, непрерывности

К чести открытий номиналистов следует отнести развитие тезиса Аверроэса о том, что математика не существует вне души, математические понятия следует отличать от соответствующих им физических понятий. Философы Средних веков обогатили анализ непрерывного и дискретного развитием логики, углублением понятий континуума, бесконечности, введением логических квантификаторов.

В XVI в. важной вехой в расширении числовой области были исследования М. Штифеля, Дж. Кардано, Р. Бомбелли. Штифель (1545) впервые стал рассматривать отрицательные числа как числа, меньшие нуля, а положительные – как большие нуля; он упорядочил целые, рациональные и иррациональные величины относительно друг друга на числовой шкале и установил, что между двумя ближайшими целыми числами находится бесконечно много как дробей, так и алгебраических иррациональных чисел [3 с. 104], [4 с. 5–12]. Его пример можно рассматривать как демонстрацию плотности этих чисел. Теоретико-множественные идеи Штифеля продолжил Галилео Галилей, создав пример соответствия бесконечных числовых множеств [5 с. 141].

Кардано (1545) открыл мнимые числа, Бомбелли (1572) ввел правила арифметических операций над отрицательными числами, указал на возможность определить отношение равенства, сумму и произведение комплексных чисел. Чтобы число стало математическим объектом, нужно было определить отношения (равенство, больше, меньше, то есть порядок) и операции над объектами. Но было неясно, всегда ли операция над комплексными числами приведет к числу такого же вида. Ни физического, ни геометрического смысла у корней из отрицательных величин еще не было. Первую попытку дать геометрическую и физическую интерпретацию отрицательным и мнимым числам сделал Дж. Валлис (1685). А. Муавр (1707, 1722) дал тригонометрическую интерпретацию комплексного числа. Л. Эйлер (1730–1740) рассматривал комплексные числа как точки на координатной плоскости, он же ввел символ i (1777), использовал трехмерную систему координат. Геометрическая интерпретация комплексных чисел была предложена

К. Весселем (1797) и Ж.Р. Арганом (1806). Строгое построение алгебры комплексных чисел было сделано К. Гауссом (1831), при этом Гаусс обратил внимание на тот факт, что теория была бы развита раньше, если бы математиков не отпугивали неудачные термины «невозможное», «мнимое», «фиктивное» число и пр. У. Гамильтон (1843) на базе комплексных чисел создал теорию кватернионов, послужившую ступенью для создания Дж. Гиббсом (1881, 1884) векторного исчисления. Появление мнимой единицы расширило множество вещественных чисел, образовав двумерное пространство – комплексную плоскость. Операции над комплексными числами стали отражать свойства движения в пространстве. Понятие комплексного числа развивалось исходя из внутренней логики математики, а также из потребностей прикладных наук.

Формировалось представление о числовой шкале, на которой положительные числа расположены вправо от нуля по возрастанию, а отрицательные числа – влево от нуля по убыванию. Так постепенно шло расширение числовой области и обогащение ее геометрической и физической интерпретации.

Методы приближенного решения алгебраических уравнений И. Ньютона были развиты Дж. Валлисом (1685), Дж. Рафсоном (1690), Т. Симпсоном (1740). В работах Ньютона постепенно расширяется понятие числа, хотя Ньютон не анализировал сходимости своих методов. Это позже сделали Ж.-Р. Мурайль (1768), Ж.-Б. Фурье (опубл. 1831), А. Кэли (1879) и Л.В. Канторович (1937–1957).

К. Маклорен в своем «Трактате о флюксиях» (1742) предпринял попытку систематически изложить метод флюксий Ньютона и дать его обоснование на базе античной геометрии. Именно у Маклорена впервые появляется термин «аксиома Архимеда» [6 с. 5], за которой он признавал важнейшую роль в обосновании непрерывности. Маклорен освободил приближенные методы от античного принципа однородности, ввел удачную метафору, расположив на отрезке последовательности, сходящиеся справа и слева к искомому числу [6 с. 6] (понятие сходимости и ряда впервые появилось у Дж. Грегори (1660)). Впоследствии этот прием Маклорена войдет в аксиоматику действительного числа.

Зарождение первых теорем о непрерывных функциях началось в алгебре XVII в. Истоком был метод каскадов М. Ролля (1690), развитый в работах И. Ньютона (1707), Г.Ф. Лопиталья (1696), Ш.-Р. Рейно (1708), Дж. Кемпбелла, К. Маклорена (1727–1729), А.К. Клеро (1746), Л. Эйлера (1755), С.Ф. Лакруа (1797), А.Г. Кестнера (1768), Ж.Л. Лагранжа (1798), Б. Больцано (1817), О.Л. Коши (1821), М.В. Дробиша (1834), К. Вейерштрасса (1861,

1886), У. Дини (1878) и Г. Кантора (1879). Анализ алгебраического уравнения привел к формулировке двух фундаментальных положений теории функций – теоремы о корневом промежутке и теоремы о корне производной – и к созданию теоремы о среднем значении.

До конца XVII в. доказательства были приняты только в геометрии, а в алгебре и зарождающемся анализе они заменялись рассуждениями и демонстрацией примеров. Отправной точкой исследования был многочлен, т. е. заведомо непрерывная функция, а необходимость формулирования свойств непрерывных функций назревает после 1822 г. (появление рядов Фурье). Понятия функции в XVII в. только начало складываться, не было представления о графике как геометрическом месте точек, поэтому не было и представления о корне как о точке пересечения графика с осью. Этот образ возник у Ролля. У Лопиталья использованы понятия абсциссы, ординаты, координат, геометрического места точек, изложен геометрический смысл производной, связь возрастания и убывания функции со знаком первой производной, необходимое условие экстремума. Самую значительную роль в теории функций сыграл Больцано, подробно исследовавший теорему Ролля и давший первое строгое ее доказательство. Это было первое доказательство в математическом анализе. Больцано использовал метод дихотомии, предположение о существовании верхней грани, сформулировал определение непрерывной функции, критерий сходимости последовательности и теорему о среднем значении, что было огромным вкладом в развитие понятий непрерывного и бесконечного. В 1821 г. Коши доказал теорему Ролля с помощью сходящихся последовательностей. С 1861 г. в лекциях Вейерштрасса теорема о корневом промежутке, теорема о среднем значении, теорема о корне производной приобрели статус теорем, описывающих свойства непрерывных функций. Если во времена Коши таких теорем было четыре, то в курсе Дини (1878) их уже одиннадцать.

В XVIII в. в работах Л. Эйлера, Ж. Даламбера (1765), С. Люилье (1786), Ж.Л. Лагранжа (1797), А. Ампера (1806) развивались понятия предела, бесконечно малой и функции. В XIX в. эти исследования продолжили Больцано (1817), Коши (1823), Вейерштрасс (1856). В работах Эйлера (1748, 1755), Лагранжа (1770), Лакруа, Коши развивались правила дифференцирования.

Второй фундаментальной теоремой в группе теорем о непрерывных функциях была теорема о среднем значении Лагранжа (1797), получившая имя благодаря Амперу (1806) и блестяще доказанная Коши (1823). В доказательстве Коши впервые использовал в качестве знака конечной погрешности символ ϵ , но сам язык « ϵ - δ » сформировался в берлинских лекциях Вейерштрасса (1856–1861).

Легенда о принадлежности языка эпсилонтики Коши была создана А. Лебегом (1904).

Теорема о сжатой переменной стала следующей в группе теорем о непрерывных функциях. Представление о точке, лежащей в последовательности вложенных отрезков, высказал Буридан. Поиск искомой величины с помощью приближения с избытком и недостатком использовали Ферма, Грегори (1668), Ньютон (1669), Маклорен (1742), Гаусс (1809). Больцано (1817) сформулировал критерий сходимости последовательности, а Коши (1821) ввел его в систематическое изложение анализа. Сейчас он носит название критерия Коши и эквивалентен методу вложенных отрезков Кантора. Коши (1821) уже неявно пользовался принципом сжатой переменной, этот принцип использовали Фурье, Дирихле, Г. Дарбу (1875). Он привел к методу сходящихся последовательностей Гейне–Кантора и стал одним из инструментов обоснования анализа.

Деятельность по упорядочению математического анализа, начатая Б. Больцано, О.Л. Коши, Ш. Мере, была продолжена Г. Ганкелем, К. Вейерштрассом, Э. Гейне, Г. Кантором и Р. Дедекиндом.

Больцано один из первых начал разрабатывать аксиоматический метод как общенаучную логическую процедуру с такими характеристиками, как полнота, непротиворечивость, независимость. Он первым обратил внимание на то, что истины арифметики не могут быть выведены из эмпирических наук, прежде всего из геометрии; основал правила арифметики на четырех аксиомах и двух правилах сложения и умножения, из которых можно вывести все правила арифметики для натуральных чисел. В 1817 г. Больцано для доказательства существования точной верхней границы использует покрытие области интервалами. У него же впервые встречается понятие точки с их перифериями, термин Menge – множество. Он же впервые определил бесконечное множество как эквивалентное своей части.

Опыту логического изложения математики и формализации алгебры были посвящены работы М. Ома. Выявлением аксиом арифметики занимался Н.И. Лобачевский (1834, 1843). Попытку построить теорию арифметики предпринял Г. Грассман (1861). Необычная терминология и абстрактное изложение делали его сочинения малодоступными, он не был понят коллегам.

Г. Ганкель в 1867 г. разъяснил сущность идей Грассмана, а позже (1869) дал свое независимое изложение теоретической арифметики. Научной особенностью математического творчества Ганкеля, ученика Римана, было сочетание историко-математического и философского методов. Ганкель был единственным среди немецких профессоров, преподававшим историю математики. Он

видел развитие идеи во времени и связь идеи с потребностями времени. В историческом отношении интересна статья Г. Ганкеля о пределе (1869) [7], подводящая итоги развития концепции предела незадолго до возникновения концепций числа и непрерывности. Ганкель констатировал процесс расширения понятия числа. Он рассмотрел действительные, комплексные и гиперкомплексные числовые системы, барицентрическое исчисление Мебиуса и построил для него алгебраическую систему, а также алгебраические системы для некоторых алгебр Грассмана и кватернионов Гамильтона. Ганкель выделил инвариантный почти для всех цивилизаций принцип записи чисел; ему принадлежат формулировка принципа постоянства формальных законов для новых концепций, предвосхищение теории меры, метод сгущения особенностей. Так как теория множеств еще не появилась, Ганкелю не хватало характеристик для описания множеств точек разрыва, но его работа стала важным продвижением к современной теории интеграла. Вопрос о необходимости аксиоматизации арифметики, поднятый Больцано и продолженный Грассманом и Ганкелем, был дополнен работами Дедекинда, Дж. Буля и завершен в 1889 г. Дж. Пеано. Из работ Ганкеля видно, насколько остро встала необходимость классификации точечных множеств и характеристики их сравнения, классификации точек разрыва; насколько нужна была новая концепция числа, как с точки зрения теоретической арифметики, так и с позиций анализа; необходимость новой концепции непрерывности и нового категориального аппарата, новых математических инструментов.

В последующие годы Кантором была создана теория множеств, Кантором и Дедекиндом – концепция непрерывности, Дедекиндом и Пеано – аксиоматика арифметики; в лекциях Вейерштрасса начинают формироваться концепция компактности, концепция метрического и топологического пространства, позже оформившиеся в работах М. Фреше (1906) и Ф. Хаусдорфа (1914). Ганкель отмечает, что если в прежние века математика изучала и описывала естественный мир, то в последний век создавался математический аппарат для технических достижений. Потребность в математических методах в приложении к теории потенциала, электротехники и другим разделам физики XIX в. давала свободу выбора адекватных математических моделей, соответствующих прикладным потребностям в областях, созданных физиками.

В 1869 и 1872 гг. вышли работы Ш. Мере с его концепцией иррационального числа, не получившие признания, но от этого не менее значимые. Он расширил понятие числа добавлением иррациональных чисел как классов эквивалентных сходящихся последовательностей и фиктивных пределов (сходящаяся последовательность есть число). Но неудачная терминология, тяжелый язык

и отказ расширить понятие функции обрекли его труды на неудачу, его работа получила признание лишь столетие спустя. Французы называют ее концепцией Мере–Кантора.

К. Вейерштрасс сделал решительный шаг в анализе – ввел язык ϵ - δ -анализа (1861). В его лекциях содержится понятие окрестности, бесконечно малой, иррационального числа как предела бесконечного ряда. Теория иррациональных чисел, использующая предельную точку, появилась у Вейерштрасса после 1872 г. и была развита Кантором. Вейерштрасс вводит в теорию иррациональных чисел понятие точной верхней грани. Изложение его теории постепенно обогащалось. Это привело к созданию Вейерштрассом своей концепции континуума. Вейерштрасс нуждался в понятиях связности и континуума для приложений в области аналитических функций (аналитическое продолжение). Множества, рассматриваемые Вейерштрассом – это, как правило, счетные множества точек, исключенных из области определения функции (особые точки функции), или их дополнения. Условие связности у Вейерштрасса более сильное, чем у Кантора.

Сравнительный анализ понятий континуума и связности у Вейерштрасса и Кантора был сделан Г. Миттаг-Леффлером (1883) и Э. Фрагменом (1884). Вейерштрасс определил понятие непрерывности функции в окрестности точки на созданном им языке ϵ - δ . Им сформулированы свойства функций, непрерывных в точке, а также на отрезке, в том числе теорема о приближении функций многочленами; разработано понятие равномерной сходимости рядов как условия интегрирования. Задолго до Фреше и Хаусдорфа в лекциях Вейерштрасса формируется аксиоматика метрического и топологического пространства. Благодаря особенностям преподавания Вейерштрасс создал школу строго обоснованного математического анализа, теории эллиптических и абелевых функций, вариационного исчисления, многие его ученики стали крупными математиками. Влияние Вейерштрасса распространилось в России, Франции, Италии и других странах.

Начиная с работ Больцано, Дирихле и Гейне развивались понятия равномерной сходимости, равномерной непрерывности и идея покрытий отрезка. К понятиям равномерной сходимости ряда обращались О. Коши (1821, 1823, 1853), Н. Абель (1826), К. Вейерштрасс (1842), Ф.Л. Зайдель (1849), Дж.Г. Стокс (1849), В. Томе (1866), Э. Гейне (1870). Метод покрытия (неразбиения) интервалами впервые использовал Больцано в 1817 г. Дирихле в своих лекциях (1854 и 1858) использовал идею покрытий как инструмент доказательства. Он сформулировал равномерную непрерывность как фундаментальное свойство непрерывных функций, но не доказал ее строго, ибо в то время еще не была доказана теорема о пределе

ограниченной монотонной функции, не было обосновано понятие точной верхней грани, которые сформулировал в своих лекциях Вейерштрасс в 1870-е; не была разработана концепция действительного числа, появившаяся в 1870-е годы в работах Кантора и Гейне. Понятие иррационального числа и вычисление функции от такого числа в 1850-е гг. еще было неясным. Не было известно, как много иррациональных чисел на отрезке, как они упорядочены. Не было понятия плотности расположения чисел. Все это ввел Кантор в 1872–1874 гг. Р. Липшиц, ученик Дирихле, продолжил исследования своего учителя относительно расширения условий сходимости рядов Фурье для случая бесконечного числа разрывов и экстремумов (1864) и впервые дал определение окрестности. Липшиц один из первых обратил внимание на различие между множествами, которые потом будут названы нигде не плотными, всюду плотными и приводимыми.

Э. Гейне, ученик Дирихле, вводя понятие равномерной сходимости (1870) писал, что на возникновение идеи повлияла работа Дирихле. Тогда же Гейне ввел понятие равномерной непрерывности для функции одной и двух переменных. Развивая эту идею в «Лекциях по теории функций» (1872) [8] на русском языке см. [4 с. 184–200], Гейне, следуя рассуждению Кантора, ввел понятие фундаментальной последовательности, на ее основе концепцию действительного числа, предела, функции, непрерывной функции, затем сформулировал теорему о равномерной непрерывности функции (теорема Гейне–Кантора) и доказал ее с помощью идеи покрытий конечным числом интервалов, каждый из которых содержит хотя бы одну точку интервала (лемма Гейне). Гейне не повторял, а развивал идею покрытий на основе своей концепции действительного числа. Его доказательство представляет собой значительный шаг вперед по сравнению с доказательством Дирихле, который рассматривал кусочно-непрерывную функцию и пользовался нестрогими геометрическими представлениями. В этой же работе Гейне первым высказал мысль, что некоторым (конечным) множеством точек разрыва можно пренебрегать, но языка теории множеств и способов оценки величины или меры такого множества еще не было. Заметим также, что «Лекции по теории функций» были первым учебным пособием по теории функций, ознаменовавшим появление нового раздела математического анализа.

Впоследствии варианты теоремы о покрытиях формулировались У. Дини (1878), К. Вейерштрассом (1880), И. Томе (1880), С. Пинкерле (1882), Э. Борелем (1895 и 1903), А. Гурвицем (1891), П. Кузеном (1895), А. Шенфлисом (1900), В.Г. Юнгом (1902), Э.Л. Линделефом (1903), А. Лебегом (1902/1903), О. Вебленом (1904).

В создании понятия равномерно непрерывной функции огромная подготовительная работа была проделана математиками середины XIX в. Больцано, Коши, Дирихле, Риманом, Липшицем, а окончательно сформулировали понятие равномерно непрерывной функции и ее свойства Кантор и Гейне. К этому времени была создана теория множеств, зарождалась теория меры. Использование понятия производного множества стимулировало ее развитие. Борель выделял те области, к которым применимо мероопределение. Лебег ввел внутреннюю меру области. Появилась классификация точек на внешние и внутренние, классификация предельных точек. Развивалось исследование числовых областей и позже построение областей по заданным свойствам. Это привело к появлению конструктивной и дескриптивной ветвей теории функций. Метод покрытий, будучи сначала вспомогательным инструментом деления отрезка на части и суммирования тех из них, где функция имеет ограниченное колебание, превратился за сотню лет в важный инструмент анализа свойств функции. Постепенное обогащение смыслами сопутствовало методу покрытий в истории анализа.

Р. Дедекин, ученик Гаусса и Дирихле, занимался вопросами алгебры. В 1871 г. он, обобщив теорию многочленов и алгебраических чисел, ввел в математику абстрактные алгебраические структуры: кольца, идеалы и модули. Совместно с Л. Кронекером он разработал общую теорию делимости. Знакомство с Г. Кантором способствовало его интересу к проблемам теории множеств. Идея Дедекинда о постепенном восхождении человечества по лестнице смыслов была высказана им в работе «Что такое числа и для чего они служат?» (1888) [9]. Это было его собственное построение теории множеств (систем), где Дедекин применил аксиоматический метод построения системы натуральных чисел. Термин «вещь» он употребляет как элемент множества, рассматривая принадлежность вещей к одному множеству через их связанность в нашем сознании и возникновение нового объекта в сознании. Последовательность таких этапов образует лестницу смыслов, согласованную с предшествующим построением математики и образующую новые понятия, новое представление о непрерывности числовой области. Понятие о числе независимо от представлений о физическом и геометрическом пространстве является продуктом нашей мысли.

Система аксиом арифметики, сформулированная Дедекиндо для натуральных чисел, год спустя была развита и упрощена Пеано, чье имя за ней и закрепилось, но еще до него Дедекин показал, как основные теоремы арифметики получаются из его аксиом. В начале XX в. аксиоматический метод был окончательно принят школой Гильберта как основной в математике.

В учебных курсах XIX в. по теории функций понятие числа пополнилось анализом иррационального числа, понятиями непрерывной и равномерно непрерывной функции, что было вызвано потребностями анализа числового интервала и совокупностей точек разрыва. В лекциях Дирихле, Вейерштрасса, Гейне шло дидактическое совершенствование изложения этих понятий.

С 1872–1884 гг. Г. Кантор написал основные работы по теории множеств. В 1872 г. действительное число было определено им как предел сходящихся последовательностей, для которого определены отношение порядка и арифметические операции. Кантор развил эту идею, образуя новые последовательности из иррациональных чисел (иерархию предельных точек). Основополагающими для определения числа Кантор сделал понятия взаимно-однозначного соответствия между множествами, иерархии производных множеств, а впоследствии сравнения их по мощности. Кантор принял как аксиому взаимно-однозначное соответствие точек оси и чисел: всякой точке оси соответствует некоторое число, которое он назвал действительным, оценил алгебраические иррациональные числа как счетное множество, а все иррациональные числа как несчетное множество и пришел к понятию мощности множеств, что позволило ему создать первую часть теории множеств – теорию точечных множеств. Гейне придерживался концепции Кантора, методически изложил ее в курсе лекций, впервые сформулировал принцип пренебрежения некоторым множеством точек, то есть степень общности утверждения.

Концепция Вейерштрасса основана на понятии функции как ряда, а числа как агрегата (конечной или «обозримой» числовой совокупности), каждая неизмеримая числовая величина по Вейерштрассу есть граница ранее определенных измеримых величин. Вейерштрасс определяет действительное число как предел частичных сумм абсолютно сходящегося ряда, обращая внимание на необходимость арифметизации понятия предела. Вводит упорядоченность, замкнутость относительно арифметических операций. В отличие от Кантора, отвергающего прикладные аспекты, и Дедекинда, направленного на арифметическую сторону понятия числа, Вейерштрасс предназначал свою концепцию для обоснования теории аналитических функций. Те понятия, которые он вводит, не носят глобального характера, но необходимы лишь для его построений. Он вводит собственные понятия континуума и связности, которые отличаются от таковых же понятий у Кантора; для аналитического продолжения по пути строит цепочку открытых дисков, что эквивалентно лемме Гейне о покрытиях. При этом если функция представлена в виде ряда, то это не сужает, а расширяет возможности исследования этой функции, но ряд должен обладать равномерной сходимостью.

Дедекинд основал свою концепцию действительного числа на понятии сечения как для чисел, так и для точек на прямой. Особенностью определения Дедекинда был алгебраический подход к числу. Он стремился дать арифметическое определение понятия непрерывности, свободное от геометрической интерпретации. Причем Дедекинд утверждает, что это наш мысленный акт, который производится независимо от того, является ли реальное пространство непрерывным или разрывным, это мысленное заполнение новыми точками не влияет на реальное бытие пространства. Он определяет вычисления с вещественными числами. При этом он доказывает теорему о непрерывности арифметических операций. Дедекинд устанавливает связь введенных им понятий с основными положениями анализа бесконечных, доказывает теорему о пределе ограниченной монотонной величины. Работы Дедекинда легли в основу фундамента общей алгебры. Определение понятий непрерывности и действительного числа у Дедекинда безупречно с логической точки зрения, но представление об объеме и структуре понятия из него не следует. В создающихся на основе этих работ учебных курсах математического анализа и теории функций число определялось по Дедекинду, а затем в построениях переходили к более практичному определению числа Кантора, используя понятие фундаментальной последовательности и предельной точки.

На рубеже XIX–XX вв. самым совершенным был признан «Курс теории действительной переменной» Улисса Дини (1878) [10]. Дини читал его почти 50 лет. Курс был основан на исследованиях П. Дирихле, Н. Абеля, П. Дюбуа-Реймона, К. Вейерштрасса и Г. Миттаг-Леффлера и с годами обогащался результатами Г. Кантора, Э. Гейне, Р. Дедекинда, Г. Ганкеля и Г. Шварца. Во многих случаях Дини вводил более общие формулы и методы. Так, например, в области непрерывности и равномерной непрерывности функций он продемонстрировал получение результатов Вейерштрасса и Миттаг-Леффлера с помощью метода Э. Бетти и подобным же образом обогатил новыми методами теорию степенных и тригонометрических рядов, а также и теорию функций комплексной переменной. Методологическая база Дини, обусловленная опытом дифференциальной геометрии, в анализе бесконечно малых очень сильна и отличает его курс от курсов других аналитиков. Дини принадлежит определение непрерывности функции через односторонние пределы, а также собственная классификация разрывов. Как отмечал позже Лузин, это привело к появлению дескриптивного и конструктивного направлений в математическом анализе. Исследования Дини легли в основу современного анализа.

Теория действительного числа и понятие непрерывности числового континуума получили дальнейшее развитие в работах фран-

цузской школы теории функций (Р. Бэр, Э. Борель, А. Лебег и другие), московской школы теории функций (Д.Ф. Егоров, Н.Н. Лузин и его ученики), польской школы теории множеств и теории меры (В. Серпинский и его ученики) и других математиков XX в. Системы аксиом арифметики и геометрии требовали обобщения на едином основании. В 1899 г. Д. Гильберт создал новую систему аксиом, в которую ввел аксиому Архимеда и аксиому полноты. В XX в. А.Н. Колмогоров построил аксиоматическую концепцию действительных чисел как совокупности, являющейся полным линейным упорядоченным полем. Аксиому полноты Колмогоров назвал аксиомой непрерывности. Приведя аксиомы концепций XIX в., (аксиому Дедекинда о сечении, аксиому Больцано о существовании верхней (нижней) грани, аксиому Вейерштрасса о предельной точке, аксиому о сходящейся подпоследовательности, аксиому Больцано о монотонной последовательности, аксиому Кантора о вложенных отрезках), Колмогоров доказал их эквивалентность. Исследования Колмогорова показали, что аксиома полноты может быть заменена принципом вложенных отрезков (фундаментальных последовательностей Коши–Кантора) вместе с аксиомой Архимеда.

К началу XX в. сформировалось понятие числовой прямой. Развитие этого понятия шло от античного представления о телесной прямой как фрагмента физического материала. В античности числа представлялись как совокупность натуральных и рациональных положительных чисел, образующих шкалу. Иррациональные величины традиционно от Евклида понимались как неизвлекаемые корни. В состав чисел очень долго не входил ноль. Впервые отрицательные числа как числа, меньшие нуля, и положительные числа, как числа, большие нуля, определил Штифель (1544). У него же ноль, а также дробные и иррациональные величины названы числами. Людольф ван Цейлен (1596) вычислил число π с 35 десятичными знаками; Галилей (1630) понимал линию как результат движения. Только в XVII в. на шкале появились ноль и отрицательные числа, а с ними шкалы термометров с отрицательной температурой и отсчет времени до и после Р. Х. Геометрическая прямая, или ось, как понятие в математическом анализе формируется в период XVI–XVIII вв. Понятие прямой или кривой как геометрического места точек обобщается в XVII веке в первых работах по математическому анализу. Л. Эйлер (1748) высказал предположение о существовании кроме иррациональных алгебраических чисел еще и трансцендентных иррациональных чисел, получаемых в результате трансцендентных вычислений, например, логарифмирования, и дал обозначения π и e ; И. Ламберт (1766) доказал иррациональность чисел π и e ; Лагранж определил иррациональные числа через бесконечные непрерывные дроби; Коши (1821), определил ирраци-

ональные числа как пределы сходящихся последовательностей, но не определил отношения порядка и операции над ними; Больцано (1830) сделал попытку построить теорию действительного числа (его передовая работа была опубликована лишь столетие спустя); Ж. Лиувилль (1840-е гг.), начал строить теорию трансцендентных чисел; Ш. Эрмит (1873) доказал трансцендентность числа e ; Ф. Линдеман (1882) доказал трансцендентность числа π ; К. Вейерштрасс (1885) упростил его доказательство.

Но теория действительного числа еще не была создана. Нельзя было строго определить ноль, больше, меньше или равно нулю. Поэтому Вейерштрасс в своих лекциях по дифференциальному исчислению (1861) доказывал теорему «Непрерывная функция, у которой производная внутри определенных интервалов аргументов всюду равна нулю, сводится к константе». В 1869 г. теорию действительного числа построил французский математик Ш. Мере. Мере ввел понятие неизмеримого числа как фиктивного предела, его теория эквивалентна теории Кантора, но ее не приняли современники.

Числовая прямая как концепт сформировалась в работах Кантора и Дедекинда 1872 г. Дедекиндрассмотрел точки на прямой линии и установил для них те же свойства, что и для рациональных чисел, постулируя, что каждому рациональному числу соответствует точка на прямой линии. Это свойство прямой Дедекиндрассматривает аксиомой, принимая которую мы придаем прямой непрерывность. Кантор постулировал взаимно однозначное соответствие между числами и точками на прямой он утверждал, что доказать это невозможно. Вейерштрасс полагал, что каждому числу соответствует точка на геометрической прямой; но неизвестно, каждой ли точке соответствует число.

Привычный нам образ числовой прямой формировался в течение более чем двух тысячелетий от телесного отрезка до шкалы положительных целых, затем рациональных чисел; в XVII в. на шкале появились ноль и отрицательные числа; были добавлены иррациональные числа; концепция Кантора завершила представление о числовой прямой как о совершенном связном множестве.

Новые концепции соответствовали потребностям науки и преподавания XIX в., благодаря им пополнился инструментарий исследований. Дальнейшее направление развития этих концепций привело к появлению таких теорий XX в., как дескриптивная теория множеств, теория функций, топология и функциональный анализ.

Литература

1. *Буридан Ж.* Трактат «О точке» // Зубов В.П. Из истории мировой науки. Избранные труды 1921–1963. СПб.: Алетея, 2006. С. 311–347.
2. *Орем Н.* Трактат о конфигурации качеств // Историко-математические исследования. М.: Наука, 1958. Вып. XI. С. 636–719.
3. *Stifelio M.* Arithmetica Integra. Norimbergae: apud Johan. Petreum, 1544. 327 p.
4. *Синкевич Г.И.* История понятия числа и непрерывности в математическом анализе XVII–XIX вв. СПб.: СПбГАСУ, 2016. 312 с.
5. *Галилей Г.* Избранные труды: В 2 т. Т. 2. М.: Наука, 1964. С. 141.
6. *MacLaurin C.* A Treatise of Fluxions in two books by Colin MacLaurin, A.M., Professor of Mathematics in the University of Edinburg and Fellow of the Royal Society. Edinburg: T.W. and T. Ruddmans, 1742.
7. *Hankel H.* Grenze // Allgemeine Enzyklopädie der Wissenschaften und Künste. 167 bd. Leipzig: Brockhaus-Verlag, 1870. Bd. 90. S. 185–211.
8. *Heine E.* Die Elemente der Functionenlehre // Journal für die reine und angewandte Mathematik. 1872. Vol. 74. S. 172–188.
9. *Дедекинд Р.* Что такое числа и для чего они служат? / общ. ред. и пред. Г.И. Синкевич. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2015. 98 с.
10. *Dini U.* Fondamenti per la teoria delle funzioni di variabili reali. Pisa: tip. Nistri, 1878. VIII+407 p.

References

1. Buridan J. Treatise “On the Point”. V: Zubov VP. From the history of world science. Selected works 1921–1963. Saint Petersburg: Aleteya Publ.; 2006. p. 311-47. (In Russ.)
2. Orem N. Treatise on Qualities configuration // Historical and mathematical research. Moscow: Nauka Publ.; 1958. Vol. 11. p. 636-719. (In Russ.)
3. Stifelio M. Arithmetica Integra. Norimbergae: apud Johan. Petreum, 1544. 327 p.
4. Sinkevich GI. The history of the number and continuity concepts in mathematical analysis in 17th–19th centuries. St. Petersburg: SPbGASU Publ.; 2016. 312 p.
5. Galilei G. Selected works. In 2 Vols. Moscow: Nauka Publ.; 1964. Vol. 2. p. 141. (In Russ.)
6. MacLaurin C. A treatise of fluxions in two books by Colin MacLaurin, A.M., professor of Mathematics in the University of Edinburg and Fellow of the Royal Society. Edinburg: T.W. and T. Ruddmans, 1742.
7. Hankel H. Grenze. *Allgemeine Enzyklopädie der Wissenschaften und Künste*. 167 bd. Leipzig: Brockhaus-Verlag, 1870. Bd. 90. p. 185-211.
8. Heine E. Die Elemente der Functionenlehre. *Journal für die reine und angewandte Mathematik*. Berlin, 1872. Vol. 74. S. 172-88.
9. Dedekind R. What are numbers and what are they for? Sinkevich GI., ed., preface. Izhevsk: NITs “Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika” Publ.; 2015. 98 p. (In Russ.)
10. Dini U. Fondamenti per la teoria delle funzioni di variabili reali. Pisa: tip. Nistri, 1878. VIII+407 p.

Информация об авторе

Галина И. Синкевич, кандидат физико-математических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия; Россия, Санкт-Петербург, 190005, 2-я Красноармейская ул., д. 4; galina.sinkevich@gmail.com

Information about the author

Galina I. Sinkevich, Cand. of Sci. (Physics and Mathematics), associate professor, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia; bld.4, 2-nd Krasnoarmeiskaya str., Saint Petersburg, 190005, Russia; galina.sinkevich@gmail.com

Дизайн обложки

Е.В. Амосова

Корректор

Т.В. Рютина

Компьютерная верстка

М.Е. Заболотникова

Подписано в печать 17.07.2019.

Формат 60 × 90¹/₁₆.

Усл. печ. л. 6,9. Уч.-изд. л. 7,2.

Тираж 1050 экз. Заказ № 528

Издательский центр
Российского государственного
гуманитарного университета
125993, Москва, Миусская пл., 6

www.rgggu.ru

www.knigirgggu.ru