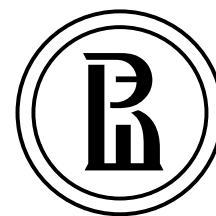


БИЗНЕС- ИНФОРМАТИКА

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ НИУ ВШЭ



Издатель:

Национальный
исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

Подписной индекс
в каталоге агентства
«Роспечать» – 72315

Выпускается ежеквартально

Журнал включен в Перечень
российских рецензируемых
научных журналов,
в которых должны быть
опубликованы основные научные
результаты диссертаций
на соискание ученых степеней
доктора и кандидата наук

Главный редактор
А.О. Голосов

Заместители главного редактора
С.В. Мальцева
Е.А. Кучерявый

Компьютерная верстка
О.А. Богданович

Администратор веб-сайта
И.И. Хрусталева

Адрес редакции:

119049, г. Москва,
ул. Шаболовка, д. 28/11, стр. 4
Тел./факс: +7 (495) 772-9590 *26311
<http://bijournal.hse.ru>
E-mail: bijournal@hse.ru

За точность приведенных сведений
и содержание данных,
не подлежащих открытой публикации,
несут ответственность авторы

При перепечатке ссылка на журнал
«Бизнес-информатика» обязательна

Тираж:

русскаяязычная версия – 300 экз.,
английская версия – 300 экз.,
онлайн-версии на русском и английском –
свободный доступ

Отпечатано в типографии НИУ ВШЭ
г. Москва, Кочновский проезд, 3

© Национальный
исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

СОДЕРЖАНИЕ

Автоматизация процессов управления и производства

В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин, Г.Л. Бекларян

Разработка цифровых двойников
для производственных предприятий..... 7

Моделирование и анализ бизнес-процессов

М.В. Белов, М.А. Шахмурадян

Совершенствование бизнес-процессов фармацевтического
предприятия на этапе доклинической разработки
лекарственного средства..... 17

Моделирование социальных и экономических систем

Р.А. Караев

Когнитивный анализ и выбор стратегических
целей предприятия..... 28

Информационная безопасность

А.И. Бородин, Р.Р. Вейнберг, Д.В. Писарев, О.В. Литвишко

Исследование остаточных артефактов Viber и Telegram
в операционной системе Windows..... 39

Анализ данных и интеллектуальные системы

В.В. Алексеев, Д.В. Лакомов, А.А. Шишкин, Г. Аль Маамари

Обработка графических изображений
сосредоточенных и площадных объектов..... 49

В.Б. Барахнин, О.Ю. Кожемякина, Р.И. Мухамедиев,
Ю.С. Борзилова, К.О. Якунин

Проектирование структуры программной системы
обработки корпусов текстовых документов..... 60

Н.П. Чернавин

Применение метода комитетов к анализу технических
индикаторов фондового рынка..... 73

О ЖУРНАЛЕ

«Бизнес-информатика» — рецензируемый междисциплинарный научный журнал, выпускаемый с 2007 года Национальным исследовательским университетом «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ). Администрирование журнала осуществляется школой бизнес-информатики НИУ ВШЭ. Журнал выпускается ежеквартально.

Миссия журнала — развитие бизнес-информатики как новой области информационных технологий и менеджмента. Журнал осуществляет распространение последних разработок технологического и методологического характера, способствует развитию соответствующих компетенций, а также обеспечивает возможности для дискуссий в области применения современных информационно-технологических решений в бизнесе, менеджменте и экономике.

Журнал публикует статьи по следующей тематике:

- ◆ автоматизация процессов управления и производства
- ◆ анализ данных и интеллектуальные системы
- ◆ информационные системы и технологии в бизнесе
- ◆ математические методы и алгоритмы бизнес-информатики
- ◆ программная инженерия
- ◆ интернет-технологии
- ◆ моделирование и анализ бизнес-процессов
- ◆ стандартизация, сертификация, качество, инновации
- ◆ правовые вопросы бизнес-информатики
- ◆ принятие решений и бизнес-интеллект
- ◆ моделирование социальных и экономических систем
- ◆ информационная безопасность.

В соответствии с решением президиума Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации журнал включен в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, по следующим группам научных специальностей: 05.13.00 — информатика, вычислительная техника и управление; 05.25.00 — документальная информация; 08.00.00 — экономические науки.

Журнал входит в базы Web of Science Emerging Sources Citation Index (WoS ESCI) и Russian Science Citation Index на платформе Web of Science (RSCI).

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), свидетельство ПИ № ФС77-66609 от 08 августа 2016 г.

Международный стандартный серийный номер (ISSN): 1998-0663 (на русском), 2587-814X (на английском).

Главный редактор: Голосов Алексей Олегович, кандидат технических наук, Президент компании «ФОРС — Центр разработки».

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Голосов Алексей Олегович

Компания «ФОРС – Центр разработки», Москва, Россия

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Мальцева Светлана Валентиновна

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Кучерявый Евгений Андреевич

Технологический университет Тампере, Тампере, Финляндия

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

Абдулраб Абиб

Национальный институт прикладных наук, Руан, Франция

Авдошин Сергей Михайлович

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Акопов Андраник Сумбатович

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Алескерев Фуад Тагиевич

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Афанасьев Александр Петрович

Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН,
Москва, Россия

Афанасьев Антон Александрович

Центральный экономико-математический институт РАН,
Москва, Россия

Бабкин Эдуард Александрович

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Нижний Новгород, Россия

Баландин Сергей Игоревич

Ассоциация FRUCT, Хельсинки, Финляндия

Баранов Александр Павлович

Главный научно-исследовательский вычислительный центр
Федеральной налоговой службы, Москва, Россия

Барахнин Владимир Борисович

Институт вычислительных технологий СО РАН,
Новосибирск, Россия

Беккер Йорг

Университет Мюнстера, Мюнстер, Германия

Белов Владимир Викторович

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Рязань, Россия

Вестнер Маркус

Регенбургский университет прикладных наук, Регенбург, Германия

Гаврилова Татьяна Альбертовна

Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия

Глотен Эрве

Тулонский университет, Ла-Гард, Франция

Грибов Андрей Юрьевич

Компания «КиберПлат», Москва, Россия

Гурвич Владимир Александрович

Раттерский университет (Университет Нью-Джерси),
Раттерс, США

Демидова Лилия Анатольевна

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Рязань, Россия

Джейкобс Лоренц

Университет Цюриха, Цюрих, Швейцария

Дискин Иосиф Евгеньевич

Всероссийский центр изучения общественного мнения,
Москва, Россия

Ефимушкин Владимир Александрович

Центральный научно-исследовательский институт связи,
Москва, Россия

Зандкуль Курт

Университет Росток, Росток, Германия

Иванников Александр Дмитриевич

Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН,
Москва, Россия

Ильин Николай Иванович

Федеральная служба охраны Российской Федерации,
Москва, Россия

Исаев Дмитрий Валентинович

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Калягин Валерий Александрович

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Нижний Новгород, Россия

Кравченко Татьяна Константиновна

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Кузнецов Сергей Олегович

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Лугачев Михаил Иванович

Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Лин Квей-Жей

Технологический институт Нагои, Нагоя, Япония

Мейор Питер

Комиссия ООН по науке и технологиям, Женева, Швейцария

Миркин Борис Григорьевич

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Моттль Вадим Вячеславович

Тульский государственный университет, Тула, Россия

Назаров Дмитрий Михайлович

Уральский государственный экономический университет,
Екатеринбург, Россия

Пальчунов Дмитрий Евгеньевич

Новосибирский государственный университет,
Новосибирск, Россия

Пардалос Панайот (Панос)

Университет Флориды, Гейнсвилл, США

Пастор Оскар

Политехнический университет Валенсии, Валенсия, Испания

Посегга Йоахим

Университет Пассау, Пассау, Германия

Самуйлов Константин Евгеньевич

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Сюняев Али Рашидович

Технологический институт Карлсруэ, Карлсруэ, Германия

Таратухин Виктор Владимирович

Университет Мюнстера, Мюнстер, Германия

Триболе Жозе

Университет Лиссабона, Лиссабон, Португалия

Ульянов Михаил Васильевич

Институт проблем управления им В.А. Трапезникова РАН,
Москва, Россия

Ускенбаева Раиса Кабиевна

Международный университет информационных технологий,
Алматы, Казахстан

Цуканова Ольга Анатольевна

Санкт-Петербургский национальный исследовательский
университет информационных технологий, механики и оптики,
Санкт-Петербург, Россия

Чхартишвили Александр Гедеванович

Институт проблем управления им В.А. Трапезникова РАН,
Москва, Россия

Шмидт Юрий Давыдович

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

Штраус Кристина

Университет Вены, Вена, Австрия

ISSN 1998-0663 (print), ISSN 2587-8166 (online)

English version: ISSN 2587-814X (print), ISSN 2587-8158 (online)

BUSINESS INFORMATICS

HSE SCIENTIFIC JOURNAL

CONTENTS

Automation of management and production processes

V.L. Makarov, A.R. Bakhtizin, G.L. Beklaryan

Developing digital twins for production enterprises 7

Business processes modeling and analysis

M.V. Belov, M.A. Shakhmuradyan

Improvement of a pharmaceutical enterprise's
business processes at the stage of preclinical
development of new drugs 17

Modeling of social and economic systems

R.A. Karayev

Cognitive analysis and choice of an enterprise's strategic goals 28

Information security

A.I. Borodin, R.R. Veynberg, D.V. Pisarev, O.V. Litvishko

Simulation of artefact detection in Viber and Telegram
instant messengers in Windows operating systems 39

Data analysis and intelligence systems

V.V. Alekseev, D.V. Lakomov, A.A. Shishkin, G. Al Maamari

Image processing of concentrated and scattered objects 49

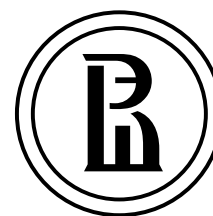
*V.B. Barakhnin, O.Yu. Kozhemyakina, R.I. Mukhamediev,
Yu.S. Borzilova, K.O. Yakunin*

The design of the structure of the software system
for processing text document corpus 60

N.P. Chernavin

Application of the committee machine method
to analysis of stock market technical indicators 73

Vol. 13 No 4 – 2019



Publisher:
National Research University
Higher School of Economics

**Subscription index
in the Rospechat catalog –
72315**

The journal is published quarterly

The journal is included
into the list of peer reviewed
scientific editions established
by the Supreme Certification
Commission of the Russian Federation

Editor-in-Chief:
A. Golosov

Deputy Editor-in-Chief
**S. Maltseva
Y. Koucheryavy**

Computer Making-up:
O. Bogdanovich

Website Administration:
I. Khrustaleva

Address:
28/11, build. 4, Shablovka Street
Moscow 119049, Russia

Tel./fax: +7 (495) 772-9590 *26311
<http://bijournal.hse.ru>
E-mail: bijournal@hse.ru

Circulation:
English version – 300 copies,
Russian version – 300 copies,
online versions in English and Russian –
open access

Printed in HSE Printing House
3, Kochnovsky Proezd, Moscow,
Russia

© National Research University
Higher School of Economics

ABOUT THE JOURNAL

Business Informatics is a peer reviewed interdisciplinary academic journal published since 2007 by National Research University Higher School of Economics (HSE), Moscow, Russian Federation. The journal is administered by School of Business Informatics. The journal is published quarterly.

The mission of the journal is to develop business informatics as a new field within both information technologies and management. It provides dissemination of latest technical and methodological developments, promotes new competences and provides a framework for discussion in the field of application of modern IT solutions in business, management and economics.

The journal publishes papers in the areas of, but not limited to:

- ◆ automation of management and production processes
- ◆ data analysis and intelligence systems
- ◆ information systems and technologies in business
- ◆ mathematical methods and algorithms of business informatics
- ◆ software engineering
- ◆ internet technologies
- ◆ business processes modeling and analysis
- ◆ standardization, certification, quality, innovations
- ◆ legal aspects of business informatics
- ◆ decision making and business intelligence
- ◆ modeling of social and economic systems
- ◆ information security.

The journal is included into the list of peer reviewed scientific editions established by the Supreme Certification Commission of the Russian Federation.

The journal is included into Web of Science Emerging Sources Citation Index (WoS ESCI) and Russian Science Citation Index on the Web of Science platform (RSCI).

International Standard Serial Number (ISSN): 2587-814X (in English), 1998-0663 (in Russian).

Editor-in-Chief: Dr. Alexey Golosov – President of FORS Development Center, Moscow, Russia.

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF

Alexey O. Golosov

FORS Development Center, Moscow, Russia

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Svetlana V. Maltseva

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Yevgeni A. Koucheryav

Tampere University of Technology, Tampere, Finland

EDITORIAL BOARD

Habib Abdulrab

National Institute of Applied Sciences, Rouen, France

Sergey M. Avdoshin

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Andranik S. Akopov

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Fuad T. Aleskerov

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Alexander P. Afanasyev

Institute for Information Transmission Problems (Kharkevich Institute), Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Anton A. Afanasyev

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Eduard A. Babkin

National Research University Higher School of Economics, Nizhny Novgorod, Russia

Sergey I. Balandin

Finnish-Russian University Cooperation in Telecommunications (FRUCT), Helsinki, Finland

Vladimir B. Barakhnin

Institute of Computational Technologies, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Alexander P. Baranov

Federal Tax Service, Moscow, Russia

Jörg Becker

University of Munster, Munster, Germany

Vladimir V. Belov

Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, Russia

Alexander G. Chkhartishvili

V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Vladimir A. Efimushkin

Central Research Institute of Communications, Moscow, Russia

Tatiana A. Gavrilova

Saint-Petersburg University, St. Petersburg, Russia

Hervé Glotin

University of Toulon, La Garde, France

Andrey Yu. Gribov

CyberPlat Company, Moscow, Russia

Vladimir A. Gurvich

Rutgers, The State University of New Jersey, Rutgers, USA

Laurence Jacobs

University of Zurich, Zurich, Switzerland

Liliya A. Demidova

Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, Russia

Iosif E. Diskin

Russian Public Opinion Research Center, Moscow, Russia

Nikolay I. Ilyin

Federal Security Guard of the Russian Federation, Moscow, Russia

Dmitry V. Isaev

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Alexander D. Ivannikov

Institute for Design Problems in Microelectronics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Valery A. Kalyagin

National Research University Higher School of Economics, Nizhny Novgorod, Russia

Tatiana K. Kravchenko

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Sergei O. Kuznetsov

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Kwei-Jay Lin

Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Japan

Mikhail I. Lugachev

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Peter Major

UN Commission on Science and Technology for Development, Geneva, Switzerland

Boris G. Mirkin

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Vadim V. Mottl

Tula State University, Tula, Russia

Dmitry M. Nazarov

Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

Dmitry E. Palchunov

Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Panagote (Panos) M. Pardalos

University of Florida, Gainesville, USA

Óscar Pastor

Polytechnic University of Valencia, Valencia, Spain

Joachim Posegga

University of Passau, Passau, Germany

Konstantin E. Samouylov

Peoples' Friendship University, Moscow, Russia

Kurt Sandkuhl

University of Rostock, Rostock, Germany

Yuriy D. Shmidt

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Christine Strauss

University of Vienna, Vienna, Austria

Ali R. Sunyaev

Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany

Victor V. Taratukhin

University of Munster, Munster, Germany

José M. Tribolet

Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal

Olga A. Tsukanova

Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, Russia

Mikhail V. Ulyanov

V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Raissa K. Uskenbayeva

International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

Markus Westner

Regensburg University of Applied Sciences, Regensburg, Germany

Разработка цифровых двойников для производственных предприятий

В.Л. Макаров 

E-mail: makarov@cemi.rssi.ru

А.Р. Бахтизин 

E-mail: albert@cemi.rssi.ru

Г.Л. Бекларян 

E-mail: glbeklaryan@gmail.com

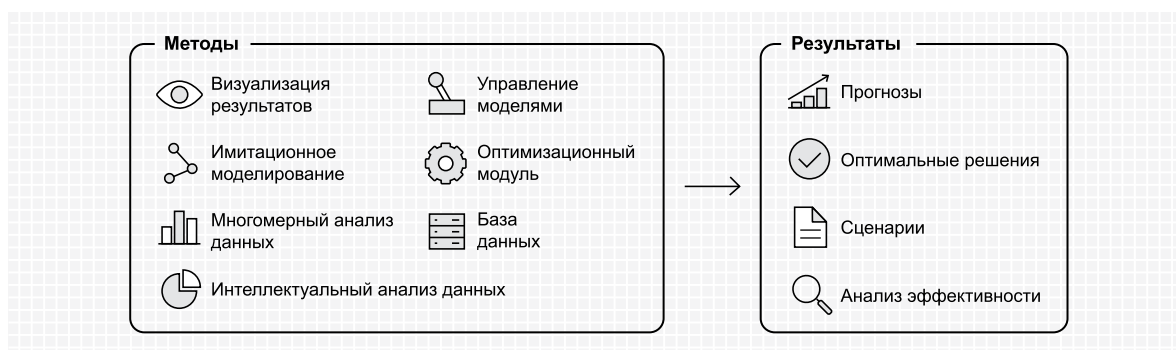
Центральный экономико-математический институт, Российская академия наук

Адрес: 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47

Аннотация

В статье представлен новый подход к разработке цифровых двойников производственных предприятий на основе методов имитационного моделирования. Описана концепция цифрового двойника как интегрированной системы, агрегирующей имитационные модели, базы данных, интеллектуальные программные модули класса генетических оптимизационных алгоритмов, подсистемы интеллектуального анализа данных (data mining) и др. Представлены примеры имитационных моделей различных производственных предприятий, в частности, типового сборочного цеха и типового добывающего предприятия. Первое предприятие осуществляет деятельность по сбору продукции из отдельных комплектующих со своими индивидуальными характеристиками. Для описания поведения подобного предприятия используются методы агентного и дискретно-событийного моделирования. Второе предприятие осуществляет добычу углеводородного сырья на имеющихся месторождениях с индивидуальными характеристиками. Разработанные укрупненные имитационные модели интегрированы с предметно-ориентированной базой данных и оптимизационными модулями, позволяющими управлять технологическими и ресурсными характеристиками соответствующих производственных предприятий. Разработка данных моделей была выполнена с использованием систем имитационного моделирования AnyLogic и Powersim, поддерживающих методы агентного моделирования и системной динамики. Продемонстрирована возможность создания цифровых двойников для производственных предприятий с использованием современных средств имитационного моделирования.

Графическая аннотация



Ключевые слова: цифровые двойники; агентное моделирование; системная динамика; дискретно-событийное моделирование; цифровая экономика; производственные предприятия.

Цитирование: Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л. Разработка цифровых двойников для производственных предприятий // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 4. С. 7–16.
DOI: 10.17323/1998-0663.2019.4.7.16

Введение

В настоящее время в связи с переходом к цифровой экономике развивается новое научное направление, относящееся к созданию так называемых «цифровых двойников» — цифровых копий реальных физических объектов (например, производственных предприятий, финансовых корпораций и др.), помогающих оптимизировать эффективность всех ключевых процессов. Важнейшей характеристикой цифровых двойников является наличие некоторой виртуальной (компьютерной) модели и обеспечение ее поддержания в актуальном состоянии, главным образом, за счет механизма непрерывного обновления данных, используемых для оценки множественных характеристик исследуемого физического объекта.

Концепция цифровых двойников (digital twins) предложена относительно недавно [1, 2]. Тем не менее, исследователи отмечают, что проектирование цифровых двойников должно быть основано, в первую очередь, на использовании методов имитационного моделирования, обеспечивающих максимально реалистичное представление физического объекта в виртуальном мире [3]. При этом компьютерная модель должна поддерживать возможности решения задач по оптимизации множественных характеристик моделируемого объекта с использованием данных, обновляемых в режиме реального времени. Подобный подход применим ко многим объектам живой и неживой природы. Известны примеры разработки имитационных моделей для моделирования сложных социально-экономических систем [4, 5], вертикально-интегрированных нефтяных компаний и финансовых корпораций [6], эколого-экономических систем [7, 8], моделирования поведения толпы при чрезвычайных ситуациях [9, 10] и др. При этом используются различные методы имитационного моделирования, в частности, методы системной динамики, агентного и дискретно-событийного моделирования, поддерживаемые в системах Powersim, AnyLogic и др. [6].

Существенный вклад в развитие методов системной динамики сделан в работах [11–16]. Среди тру-

дов по агентному моделированию следует выделить работы [17–20]. Важные исследования в области дискретно-событийного моделирования представлены в работах [21, 22].

Особенностью современных систем имитационного моделирования является возможность интеграции разрабатываемых моделей с базами данных и хранилищами данных (например, MS SQL Server, Oracle, SAP HANA), а также возможность интеграции с внешними программными модулями, как правило, посредством специального API (application programming interface). Например, имитационные модели, создаваемые в AnyLogic и написанные на языке программирования Java, могут быть интегрированы с приложениями, разработанными на C++ и использующими MPI (message passing interface) для распараллеливания соответствующих вычислительных процедур. В результате можно агрегировать имитационные модели с генетическими оптимизационными алгоритмами по целевым функционалам, что дает возможность оптимизации характеристик моделируемого объекта в режиме реального времени [23–25]. Для обеспечения программного управления имеющимся пулом цифровых двойников возможно использование подхода на основе сервисно-ориентированной архитектуры (service-oriented architecture, SOA).

Цель данной статьи — разработка подхода к проектированию цифровых двойников для различных производственных предприятий с использованием методов имитационного моделирования, баз данных, оптимизационных модулей и др. для реализации концепции рационального управления производством в режиме реального времени и поддержки принятия стратегических и оперативных решений.

1. Концепция создания цифровых двойников

Предлагаемая концепция создания цифровых двойников основана на использовании интегрированного подхода, объединяющего методы имитационного моделирования, оптимизационные моду-

ли (класса генетических алгоритмов), базу данных (хранилище данных), подсистему многомерного анализа данных класса (online analytical processing, OLAP) и др. (рисунк 1).

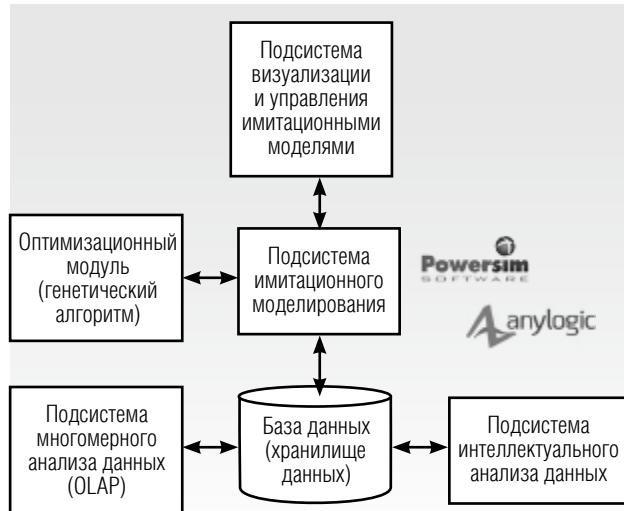


Рис. 1. Укрупненная системная архитектура цифрового двойника производственного предприятия

Важной особенностью предложенного подхода является обеспечение бесшовной интеграции рассматриваемых подсистем с поддержкой механизма функционирования всех программных модулей в режиме реального времени.

Таким образом, предлагается следующий состав взаимодействующих подсистем:

- ♦ **подсистема имитационного моделирования**, предназначенная для вычисления значений множественных характеристик предприятия при заданных сценарных условиях;

- ♦ **оптимизационный модуль**, агрегированный по целевым функционалам с имитационными моделями предприятия и обеспечивающий возможность формирования наилучших (рациональных, субоптимальных) управленческих решений при имеющихся ограничениях;

- ♦ **база данных (хранилище данных)**, обеспечивающая сбор и обработку актуальных данных по предприятию, а также предоставление исходных данных для имитационных моделей и хранение результатов моделирования;

- ♦ **подсистема визуализации и управления имитационными моделями**, интегрированная с имитационными моделями предприятия (посредством специального API, либо с использованием технологий

веб-сервисов – SOA) и позволяющая обращаться к различным функциям имитационных моделей, например, чтобы инициировать выполнение оптимизационных экспериментов, сохранение результатов сценарного моделирования в базу данных и др.;

- ♦ **подсистема многомерного анализа данных (OLAP)**, позволяющая анализировать результаты моделирования и оптимизации с различной степенью детализации и агрегации соответствующих данных (например, по предприятию в целом, по отдельным бизнес-направлениям, продуктам, клиентам и т.д.);

- ♦ **подсистема интеллектуального анализа данных**, обеспечивающая анализ взаимосвязей между важнейшими характеристиками информационной модели предприятия и актуализацию значений всех влияющих факторов и коэффициентов значимости с последующим сохранением результатов в базу данных системы. Подобный подход обеспечивает непрерывную актуализацию имеющихся взаимозависимостей в имитационных моделях предприятия.

Далее будут рассмотрены некоторые примеры имитационных моделей, разработанные для предприятий различного класса, в частности, типового сборочного цеха и типового добывающего предприятия.

2. Имитационная модель сборочного цеха

Рассмотрим укрупненную имитационную модель типового сборочного цеха, реализованную в системе AnyLogic (рисунк 2).

Данный сборочный цех производит некоторый продукт с использованием двух технологических линий. Первая производственная линия обеспечивает формирование промежуточного изделия с использованием пяти отдельных комплектующих, поставляемых в соответствии с заданным расписанием в систему сборки (элемент «Сборка 1»). Вторая производственная линия обеспечивает формирование конечного изделия (элемент «Сборка 2») с использованием двух комплектующих, одно из которых собрано на первой технологической линии.

В данной модели каждая продуктовая компонента (комплектующее) является агентом со своими индивидуальными характеристиками. Например, если это каркас изделия, то он имеет определенные размеры и другие заданные технические характе-

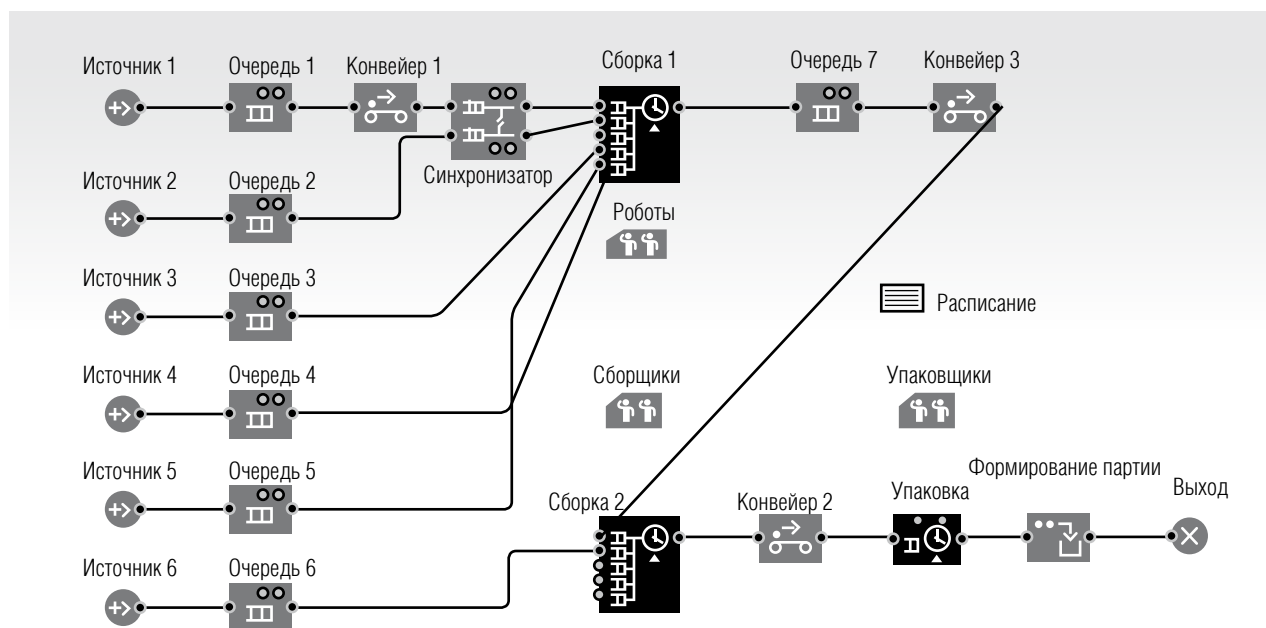


Рис. 2. Имитационная модель сборочного цеха в AnyLogic

ристики. На основе варьирования набора поступающих на вход модели агентов-комплектующих обеспечивается производство различных типов изделий на выходе системы (элемент «Выход»). При этом для комплектующих отдельных типов со своими индивидуальными характеристиками выполняется динамическая синхронизация с использованием специального элемента, обеспечивающего размещение агентов-комплектующих в очереди и нахождение пар агентов, удовлетворяющих заданному критерию соответствия (элемент «Синхрони-

затар»).

В результате агенты-комплектующие, соответствующие некоторым заданным критериям, отправляются на сборку, при этом остальные агенты-комплектующие остаются в очереди, либо вытесняются из нее (на хранение).

Одним из возможных примеров анализа устойчивости производственного процесса с помощью разработанной имитационной модели является зависимость общего количества собираемых изделий от динамики поставок агентов-комплектующих (рисунк 3).

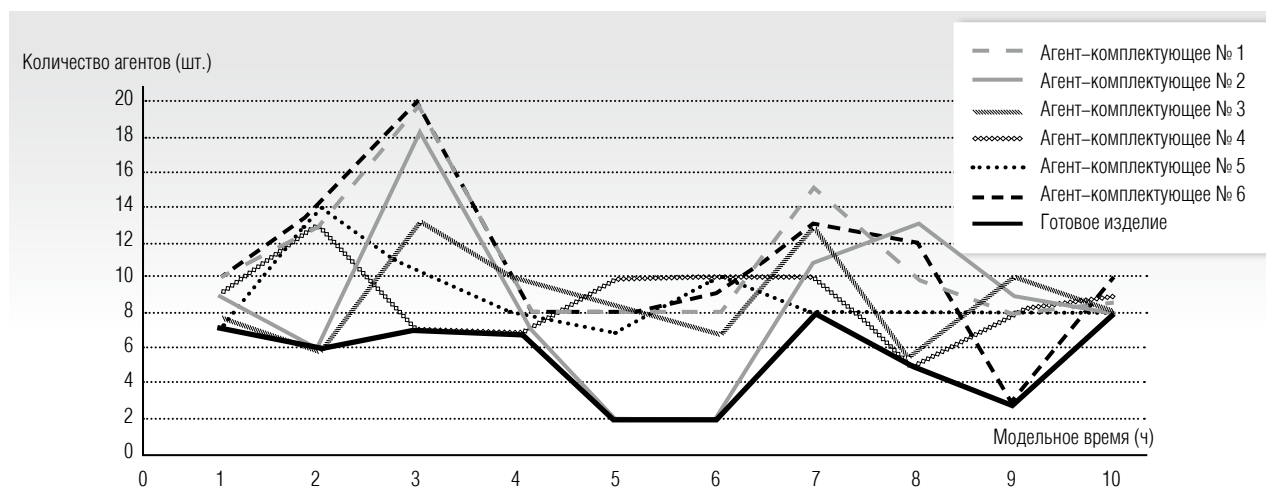


Рис. 3. Зависимость общего количества собираемых изделий от динамики поставок агентов-комплектующих

На рисунке 3 видно, что в условиях количественного дефицита комплектующего № 2, возникающего на временном интервале с 5 до 6 часов, происходит сокращение темпов сборки готовой продукции до минимального уровня (двух изделий в час), равного значению темпа поставок самого дефицитного (второго) комплектующего.

Таким образом, скорость сборки конечной продукции ограничена темпами поставок наиболее дефицитного комплектующего, необходимого на соответствующем этапе сборки. Темпы сборки и поставки конечной продукции также существенно зависят от задействованных в соответствующих производственных процессах ресурсов (элементы «Роботы», «Сборщики», «Рабочие» на рисунке 2). В случае количественного дефицита ресурсов, необходимых для производства единицы продукции, время выполнения соответствующей задачи (сборки изделия) будет увеличено пропорционально значению коэффициента доступности соответствующего ресурса.

3. Имитационная модель добывающего предприятия

Далее рассмотрим укрупненную имитационную модель типового добывающего предприятия, реализованную в системе Powersim (рисунк 4).

В отличие от предыдущей дискретно-событийной агент-ориентированной модели сборочного цеха, данная модель оперирует непрерывными сырьевыми и финансовыми потоками и поэтому разрабатывается с использованием методов системной динамики [6]. При этом важными ресурсными характеристиками являются основные фонды предприятия, в частности, новый фонд скважин и старый фонд скважин, дифференцируемые по месторождениям. Переход скважин из нового фонда в старый осуществляется по истечении некоторого временного интервала (как правило, пяти лет), с соответствующим изменением объема добычи, что отражено в производственной функции, учитыва-

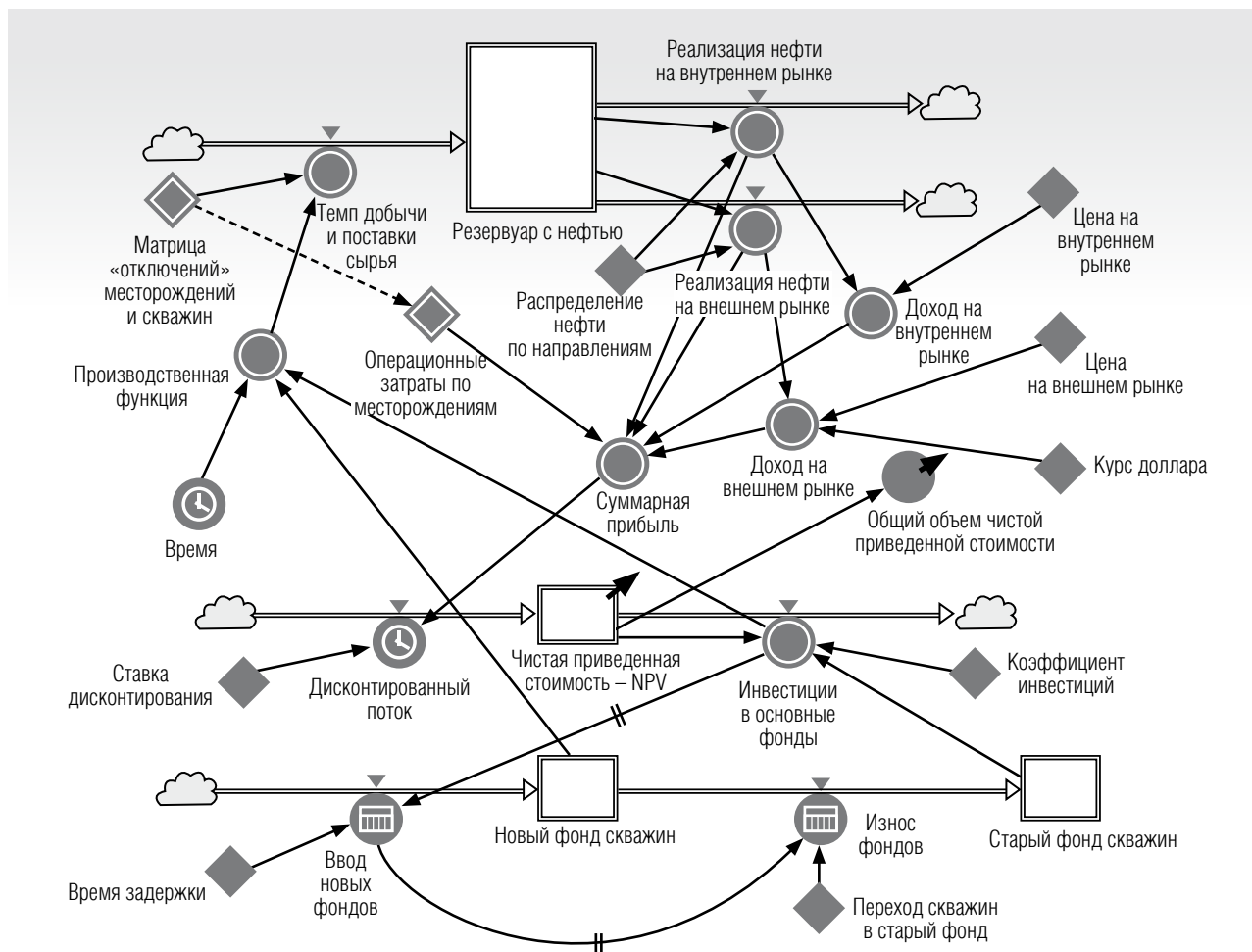


Рис. 4. Имитационная модель добывающего предприятия в Powersim

ющей различный вклад новых и старых скважин соответственно.

В свою очередь, показатели экономической эффективности эксплуатируемых месторождений и скважин зависят не только от объема добываемого сырья, но также от операционных и инвестиционных затрат, дифференцируемых по соответствующим месторождениям. В случае, если некоторое месторождение в определенный момент времени не эксплуатируется (например, вследствие приостановки соответствующих скважин), то по нему перестают формироваться материальные и финансовые потоки, а также доходные и расходные характеристики. Приведем наиболее важные соотношения предложенной модели.

Введем следующие обозначения:

♦ $t = 1, 2, \dots, T$ – модельное время (по годам), T – горизонт стратегического планирования;

♦ $i = 1, 2, \dots, I$ – индексы месторождений, I – максимальное количество имеющихся месторождений;

♦ $a_i(t)$ – количество новых скважин (основные фонды добывающего предприятия) на i -м месторождении ($i = 1, 2, \dots, I$) в момент времени t ($t = 1, 2, \dots, T$);

♦ $\{b_i(t), b_i(1)\}$ – количество старых скважин на i -м месторождении ($i = 1, 2, \dots, I$) в момент времени t ($t = 1, 2, \dots, T$) и исходное количество старых скважин в начальный момент времени $t = 1$;

♦ $\chi_i(t) \in \{0, 1\}$ – матрица «отключений» i -х месторождений ($i = 1, 2, \dots, I$) в момент времени t ($t = 1, 2, \dots, T$): при $\chi_i(t) = 0$ i -е месторождение не эксплуатируется, при $\chi_i(t) = 1$ i -ое месторождение эксплуатируется;

♦ $c_i(t)$ – темп добычи и поставки сырья (тонн в сутки) от i -го месторождения ($i = 1, 2, \dots, I$) в момент времени t ($t = 1, 2, \dots, T$);

♦ μ – коэффициент падения добычи для старых скважин;

♦ $\{v(t), \tilde{v}(t)\}$ – среднегодовой объем добычи на новых и старых скважинах соответственно в момент времени t ($t = 1, 2, \dots, T$);

♦ $\{p_1(t), p_2(1)\}$ – цена поставляемого сырья на внутреннем и внешнем рынках соответственно в момент времени t ($t = 1, 2, \dots, T$);

♦ $\{P_{1i}(t), P_{2i}(t)\}$ – выручка от реализации сырья по i -м месторождениям ($i = 1, 2, \dots, I$) на внутреннем и внешнем рынках соответственно в момент времени t ($t = 1, 2, \dots, T$);

♦ $\{\tilde{O}_i(t), \tilde{I}_i(t)\}$ – операционные и инвестиционные

расходы по i -м месторождениям ($i = 1, 2, \dots, I$) соответственно в момент времени t ($t = 1, 2, \dots, T$);

♦ $s(t)$ – курс доллара в момент времени t ($t = 1, 2, \dots, T$);

♦ $\lambda(t)$ – доля поставок нефти на внутренний рынок в момент времени t ($t = 1, 2, \dots, T$), $0 \leq \lambda(t) \leq 1$;

♦ τ – временной интервал, в течение которого скважины являются новыми (как правило, пять лет);

♦ r – ставка дисконтирования.

Количество новых и старых скважин соответственно:

$$a_i(t) = \sum_{t=1}^T (\tilde{a}_i(t) - \tilde{a}_i(t - \tau)), \quad (1)$$

$$b_i(t) = b_i(1) + \sum_{t=1}^T \tilde{a}_i(t - \tau), \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, I; t = 1, 2, \dots, T.$$

Темп добычи (поставки) сырья:

$$c_i(t) = \chi_i(t) (a_i(t)v(t) + b_i(t)\tilde{v}(t)e^{-\mu t}), \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, I; t = 1, 2, \dots, T.$$

Выручка от реализации сырья на внутреннем и внешнем рынке соответственно:

$$P_{1i}(t) = p_1(t)c_i(t)\lambda(t), \quad (4)$$

$$P_{2i}(t) = p_2(t)s(t)c_i(t)(1 - \lambda(t)), \quad (5)$$

$$i = 1, 2, \dots, I; t = 1, 2, \dots, T.$$

Прибыль добывающего предприятия:

$$\pi_i(t) = P_{1i}(t) + P_{2i}(t) - \chi_i(t)\tilde{O}_i(t), \quad (6)$$

$$i = 1, 2, \dots, I; t = 1, 2, \dots, T.$$

Дисконтированный денежный поток добывающего предприятия:

$$DCF_i(t) = \frac{\pi_i(t) - \chi_i(t)\tilde{I}_i(t)}{(1+t)^r}. \quad (7)$$

Чистый накопленный дисконтированный финансовый поток добывающего предприятия и суммарный финансовый поток по всем месторождениям соответственно:

$$NPV_i = \sum_{t=1}^T DCF_i(t), \quad (8)$$

$$NPV^* = \sum_{i=1}^I NPV_i. \quad (9)$$

Отметим, что для прогнозирования динамики среднегодового объема добычи (дебита) на новых и старых скважинах $\{v(t), \tilde{v}(t)\}$, влияющей на темп добычи и поставки сырья (3), в настоящее время применяются методы интеллектуального анализа данных, в частности, искусственные нейронные сети (ИНС). Подобная ИНС оценивает множественные входные характеристики (например, уровень запасов, данные о фактически проведенных и плановых геолого-технических мероприятиях, выбранную технологию добычи и др.) для прогнозирования среднегодового дебита скважин. Таким образом, значения наиболее важных базовых характеристик предложенной имитационной модели обновляются в режиме реального времени с учетом физических особенностей эксплуатируемых месторождений.

Одним из возможных примеров анализа эффективности портфеля инвестиционных проектов по набору (портфелю) эксплуатируемых месторождений является зависимость дисконтированного финансового потока $DCF_i(t)$ от значений элементов матрицы «отключений» месторождений $\chi_i(t) \in \{0, 1\}$ ($i = 1, 2, \dots, I$) (рисунок 5).

На рисунке 5 видно, что «отключение» второго месторождения приводит к двукратному увеличению суммарного финансового потока (по всем месторождениям) – NPV^* . Подобный положительный эффект обусловлен тем, что уровень операционных затрат по второму месторождению (на единицу продукции)

существенно превышает уровень затрат по другим месторождениям при сопоставимом уровне добычи. Тем не менее, если имеется жесткое ограничение на минимально необходимый суммарный объем добычи и поставок сырья, то исключение второго месторождения из эксплуатации невозможно. При этом, если количество одновременно оцениваемых сырьевых активов достаточно велико (например, несколько тысяч), то для выявления и «отключения» подобных месторождений следует применять генетические оптимизационные алгоритмы [23–25], агрегируемые с имитационной моделью предприятия.

Заключение

В статье представлен новый подход к разработке цифровых двойников для производственных предприятий, в основе которого лежит концепция бесшовной интеграции ряда ключевых подсистем, в частности, подсистемы имитационного моделирования, оптимизационного модуля, базы данных, подсистемы интеллектуального анализа данных и др. Важной особенностью цифровых двойников является актуализация исходных данных и значений влияющих параметров в режиме реального времени. Таким образом, цифровые двойники существенно расширяют функциональность традиционных имитационных моделей предприятия, в основном, за счет большей реалистичности и интерактивности соответствующей технологии.

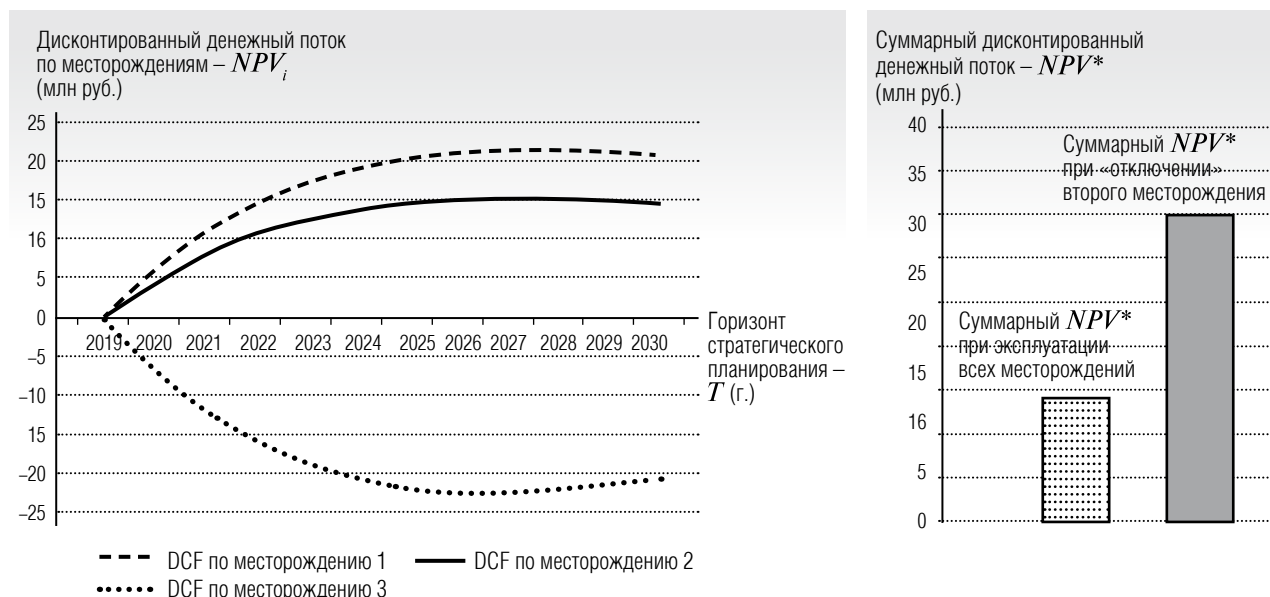


Рис. 5. Зависимость дисконтированного финансового потока от значений элементов матрицы «отключений» месторождений

Представлены примеры цифровых двойников, разработанных для производственных предприятий различных типов, в частности, типового сборочного цеха и типового добывающего предприятия. Первая модель, в частности, позволяет исследовать зависимость общего количества собираемых изделий от динамики поставок комплектующих с учетом их индивидуальных характеристик. Вторая модель позволяет оценивать влияние матрицы «отключений» месторождений на динамику дисконтированного финансового потока. Показано, что в условиях отсутствия жестких ограничений на минимально необходимый суммарный объем добычи сырья (план по добыче), возможно существенное увеличение чистой приведенной стоимости по портфелю месторождений за счет исключения из эксплуатации малодобитных скважин и месторождений с относительно высоким уровнем операционных затрат.

Если необходима оценка влияния множественных управляющих параметров (например, моделируются тысячи месторождений и скважин, сотни комплектующих, десятки производственных линий и т.д.), то возможно применение специальных оптимизационных модулей, агрегированных с имитационными моделями по целевым функционалам. Подобный интегрированный подход является наиболее перспективным в части развития концепции цифровых двойников и может быть использован в дальнейшем на более детализированном уровне. ■

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), в рамках научного проекта № 18-29-03139.

Литература

1. Saddik A.E. Digital twins: the convergence of multimedia technologies // IEEE MultiMedia. 2018. Vol. 25. No 2. P. 87–92.
2. Yan X., Yanming S., Xiaolong L., Yonghua Z. A digital-twin-assisted fault diagnosis using deep transfer learning // IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 19990–19999. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2890566.
3. An architecture of an intelligent digital twin in a cyber-physical production system / B.A. Talkhestani [et al.] // Automatisierungstechnik. 2019. Vol. 67. No 9. P. 762–782. DOI: 10.1515/auto-2019-0039.
4. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С. Разработка программной платформы для крупномасштабного агент-ориентированного моделирования сложных социальных систем // Программная инженерия. 2019. Т. 10. № 4. С. 167–177. DOI: 10.17587/prin.10.167-177.
5. Укрупненная агент-ориентированная имитационная модель миграционных потоков стран Европейского Союза / В.Л. Макаров и [др.] // Экономика и математические методы. 2019. Т. 55. № 1. С. 3–15. DOI: 10.31857/S042473880004044-7.
6. Акопов А.С. Имитационное моделирование. М.: Юрайт, 2017.
7. Akopov A.S., Beklaryan L.A., Saghatlyan A.K. Agent-based modelling of interactions between air pollutants and greenery using a case study of Yerevan, Armenia // Environmental Modelling and Software. 2019. Vol. 116. P. 7–25. DOI: 10.1016/j.envsoft.2019.02.003.
8. Akopov A.S., Beklaryan L.A., Saghatlyan A.K. Agent-based modelling for ecological economics: A case study of the Republic of Armenia // Ecological Modelling. 2017. Vol. 346. P. 99–118. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2016.11.012.
9. Akopov A.S., Beklaryan L.A. An agent model of crowd behavior in emergencies // Automation and Remote Control. 2015. Vol. 76. No 10. P. 1817–1827. DOI: 10.1134/S0005117915100094.
10. Beklaryan A.L., Akopov A.S. Simulation of agent-rescuer behaviour in emergency based on modified fuzzy clustering // Proceedings of the 2016 International Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems (AAMAS 2016). Singapore, 9–13 May 2016. P. 1275–1276.
11. Forrester J. Urban dynamics. Waltham, MT, USA: Pegasus Communications, 1969.
12. Forrester J. Industrial dynamics: A major breakthrough for decision makers // Harvard Business Review. 1959. Vol. 36. No 4. P. 37–66.
13. Meadows D.H., Randers J. Meadows D.L. Limits to growth: The 30-year update. London: Earthscan, 2005.
14. Meadows D.H. Limits to growth: A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind. New York: Universe Books, 1972.
15. Сидоренко В.Н. Системная динамика. М.: МГУ, ТЕИС, 1998.
16. Акопов А.С., Хачатрян Н.К. Системная динамика. М.: ЦЭМИ РАН, 2014.
17. Schelling T.C. Dynamic models of segregation // Journal of Mathematical Sociology. 1971. Vol. 1. No 2. P. 143–186.
18. Axelrod R. The complexity of cooperation: Agent-based models of competition and collaboration. Princeton: Princeton University Press, 1997.
19. Бахтизин А.Р. Агент-ориентированные модели экономики. М.: Экономика, 2008.
20. Акопов А.С., Хачатрян Н.К. Агентное моделирование. М.: ЦЭМИ РАН, 2016.
21. MacDougall M.H. Simulating computer systems: Techniques and tools. MIT Press, 1987.
22. Delaney W., Vaccari E. Dynamic models and discrete event simulation. New York: Marcel Dekker, 1989.
23. Akopov A.S., Beklaryan L.A., Thakur M., Verma B.D. Parallel multi-agent real-coded genetic algorithm for large-scale black-box single-objective optimisation // Knowledge-Based Systems. 2019. Vol. 174. P. 103–122. DOI: 10.1016/j.knsys.2019.03.003.
24. Акопов А.С., Бекларян А.Л., Тхакур М., Верма Б.Д. Разработка параллельных генетических алгоритмов вещественного кодирования для систем поддержки принятия решений социально-экономического и экологического планирования // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 1. С. 33–44. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.1.33.44.
25. Beklaryan G.L., Akopov A.S., Khachatryan N.K. Optimisation of system dynamics models using a real-coded genetic algorithm with fuzzy control // Cybernetics and Information Technologies. 2019. Vol. 19. No 2. P. 87–103. DOI: 10.2478/cait-2019-0017.

Об авторах

Макаров Валерий Леонидович

доктор физико-математических наук; академик Российской академии наук;
 научный руководитель, Центральный экономико-математический институт, Российская академия наук,
 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47;
 E-mail: makarov@cemi.rssi.ru
 ORCID: 0000-0002-2802-2100

Бахтизин Альберт Рауфович

доктор экономических наук; член-корреспондент Российской академии наук;
 директор, Центральный экономико-математический институт, Российская академия наук,
 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47;
 E-mail: albert@cemi.rssi.ru
 ORCID: 0000-0002-9649-0168

Бекларян Гаянэ Левоновна

кандидат экономических наук;
 старший научный сотрудник, лаборатория компьютерного моделирования социально-экономических процессов,
 Центральный экономико-математический институт, Российская академия наук,
 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47;
 E-mail: glbeklaryan@gmail.com
 ORCID: 0000-0002-1286-0345

Developing digital twins for production enterprises

Valery L. Makarov

E-mail: makarov@cemi.rssi.ru

Albert R. Bakhtizin

E-mail: albert@cemi.rssi.ru

Gayane L. Beklaryan

E-mail: glbeklaryan@gmail.com

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences
 Address: 47, Nakhimovsky Prospect, Moscow 117418, Russia

Abstract

This article presents a new approach to developing digital twins of production companies with the use of simulation methods. It describes the concept of digital twins as an integrated system that aggregates simulation models, databases and intelligent software modules of the class of genetic optimization algorithms, subsystems of data mining, etc. The article presents examples of simulation models of different production companies, in particular, a typical assembly plant and a typical oil production enterprise. The first company carries out activities to assemble products from individual components with its own individual characteristics. To describe the behavior of such an enterprise, methods of agent and discrete-event modeling are used. The second enterprise produces raw carbohydrate materials at existing fields with individual characteristics. The integrated simulation models thus developed are integrated with a subject-oriented database and optimization modules that facilitate providing a control of the technological and resource characteristics of the respective production enterprises. The development of these models was performed using AnyLogic and Powersim simulation systems that support agent-based modeling and system dynamics methods. We demonstrate here the possibility of creating 'digital twins' for production companies using modern simulation tools.

Key words: digital twins; agent-based modeling; system dynamics; discrete-event simulation; digital economy; production companies.

Citation: Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L. (2019) Developing digital twins for production enterprises. *Business Informatics*, vol. 13, no 4, pp. 7–16. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.4.7.16

References

1. Saddik A.E. (2018) Digital twins: the convergence of multimedia technologies. *IEEE MultiMedia*, vol. 25, no 2, pp. 87–92.
2. Yan X., Yanming S., Xiaolong L., Yonghua Z. (2019) A digital-twin-assisted fault diagnosis using deep transfer learning. *IEEE Access*, vol. 7, pp. 19990–19999. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2890566.
3. Talkhestani B.A., Jung T., Lindemann B., Sahlab N., Jazdi N., Schloegl W., Weyrich M. (2019) An architecture of an intelligent digital twin in a cyber-physical production system. *Automatisierungstechnik*, vol. 67, no 9, pp. 762–782. DOI: 10.1515/auto-2019-0039.
4. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S. (2019) Development of a software platform for large-scale agent-based modeling of complex social systems. *Program Engineering*, vol. 10, no 4, pp. 167–177 (in Russian). DOI: 10.17587/prin.10.167-177.
5. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S., Rovenskaya E.A., Strelkovsky N.V. (2019) Aggregated agent-based simulation model of migration flows of the European Union countries. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 55, no 1, pp. 3–15 (in Russian). DOI: 10.31857/S042473880004044-7.
6. Akopov A.S. (2017) *Simulation modeling*. Moscow: Urait (in Russian).
7. Akopov A.S., Beklaryan L.A., Saghatelian A.K. (2019) Agent-based modelling of interactions between air pollutants and greenery using a case study of Yerevan, Armenia. *Environmental Modelling and Software*, vol. 116, pp. 7–25. DOI: 10.1016/j.envsoft.2019.02.003.
8. Akopov A.S., Beklaryan L.A., Saghatelian A.K. (2017) Agent-based modelling for ecological economics: A case study of the Republic of Armenia. *Ecological Modelling*, vol. 346, pp. 99–118. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2016.11.012.
9. Akopov A.S., Beklaryan L.A. (2015) An agent model of crowd behavior in emergencies. *Automation and Remote Control*, vol. 76, no 10, pp. 1817–1827. DOI: 10.1134/S0005117915100094.
10. Beklaryan A.L., Akopov A.S. (2016) Simulation of agent-rescuer behaviour in emergency based on modified fuzzy clustering. Proceedings of the 2016 International Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems (AAMAS 2016), Singapore, 9–13 May 2016, pp. 1275–1276.
11. Forrester J. (1969) *Urban dynamics*. Waltham, MA, USA: Pegasus Communications.
12. Forrester J. (1959) Industrial dynamics: A major breakthrough for decision makers. *Harvard Business Review*, vol. 36, no 4, pp. 37–66.
13. Meadows D.H., Randers J., Meadows D.L. (2005) *Limits to growth: The 30-year update*. London: Earthscan.
14. Meadows D.H. (1972) *Limits to growth: A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York: Universe Books.
15. Sidorenko V.N. (1998) *System dynamics*. Moscow: MSU, TEIS (in Russian).
16. Akopov A.S., Khachatryan N.K. (2014) *System dynamics*. Moscow: CEMI RAS (in Russian).
17. Schelling T.C. (1971) Dynamic models of segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, vol. 1, no 2, pp. 143–186.
18. Axelrod R. (1997) *The complexity of cooperation: Agent-based models of competition and collaboration*. Princeton: Princeton University Press.
19. Bakhtizin A.R. (2008) *Agent-based models of economy*. Moscow: Economics (in Russian).
20. Akopov A.S., Khachatryan N.K. (2016) *Agent-based modeling*. Moscow: CEMI RAS (in Russian).
21. MacDougall M.H. (1987) *Simulating computer systems: Techniques and tools*. MIT Press.
22. Delaney W., Vaccari E. (1989) *Dynamic models and discrete event simulation*. New York: Marcel Dekker.
23. Akopov A.S., Beklaryan L.A., Thakur M., Verma B.D. (2019) Parallel multi-agent real-coded genetic algorithm for large-scale black-box single-objective optimization. *Knowledge-Based Systems*, vol. 174, pp. 103–122. DOI: 10.1016/j.knsys.2019.03.003.
24. Akopov A.S., Beklaryan A.L., Thakur M., Verma B.D. (2019) Developing parallel real-coded genetic algorithms for decision-making systems of socio-ecological and economic planning. *Business Informatics*, vol. 13, no 1, pp. 33–44. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.1.33.44.
25. Beklaryan G.L., Akopov A.S., Khachatryan N.K. (2019) Optimisation of system dynamics models using a real-coded genetic algorithm with fuzzy control. *Cybernetics and Information Technologies*, vol. 19, no 2, pp. 87–103. DOI: 10.2478/cait-2019-0017.

About the authors

Valery L. Makarov

Dr. Sci. (Phys.-Math.); Academician of Russian Academy of Sciences;
 Academic Supervisor, Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences,
 47, Nakhimovsky Prospect, Moscow 117418, Russia;
 E-mail: makarov@cemi.rssi.ru
 ORCID: 0000-0002-2802-2100

Albert R. Bakhtizin

Dr. Sci. (Econ.); Corresponding Member of Russian Academy of Sciences;
 Director, Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences,
 47, Nakhimovsky Prospect, Moscow 117418, Russia;
 E-mail: albert@cemi.rssi.ru
 ORCID: 0000-0002-9649-0168

Gayane L. Beklaryan

Cand. Sci. (Econ.);
 Senior Researcher, Laboratory of Computer Modeling of Social and Economic Processes;
 Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences,
 47, Nakhimovsky Prospect, Moscow 117418, Russia;
 E-mail: glbeklaryan@gmail.com
 ORCID: 0000-0002-1286-0345

Совершенствование бизнес-процессов фармацевтического предприятия на этапе доклинической разработки лекарственного средства

М.В. Белов^a

E-mail: mbelov@ibs.ru

М.А. Шахмурадян^b

E-mail: mshakhmuradyan@econ.msu.ru

^a Группа компаний IBS

Адрес: 127018, г. Москва, ул. Складочная, д. 3, стр. 1

^b Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Адрес: 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 46

Аннотация

Стремительное увеличение численности населения, а также высокие темпы урбанизации приводят к возрастанию потребности в обеспечении медикаментами, а также необходимости более быстрого вывода лекарственных средств на рынок. В статье проанализирована и обобщена деятельность ряда фармацевтических компаний на доклинической стадии разработки препаратов, для выявления модели управления на этапе каждой операционной итерации. В основе работы лежит эмпирическое исследование, основанное на двух последовательных этапах — качественном анализе бизнес-процессов фармацевтических предприятий, отраженных в нормативных документах и отчетах компаний, а также глубинных интервью с представителями коммерческих организаций отрасли. На основе результатов, полученных по окончании первого этапа, выявлена проблема отсутствия унифицированного представления стандартизированных операционных процедур, а также сформировано агрегированное представление стадии научно-исследовательских работ, связанных с производством лекарственного средства. При рассмотрении каждого бизнес-процесса на данной стадии была представлена модель минимальной единицы комплексной деятельности. Данная модель адекватно описывает локальные операционные бизнес-процессы, имеющие место при разработке препарата, и может служить инструментальным фреймворком для руководителей доклинических исследований при формировании документа по стандартизации операционных процедур. Результаты этапа эмпирического анализа были верифицированы в ходе второго этапа — глубинных интервью с представителями отрасли. Выводы, сделанные по результатам исследования, могут быть использованы руководителями проектов на этапе доклинических испытаний для сокращения времени, затрачиваемого на операционные процедуры.

Графическая аннотация



Ключевые слова: бизнес-процесс; фармацевтика; фармацевтическое предприятие; цифровизация; управление проектами.

Цитирование: Белов М.В., Шахмурадян М.А. Совершенствование бизнес-процессов фармацевтического предприятия на этапе доклинической разработки лекарственного средства // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 4. С. 17–27. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.4.17.27

Введение

В настоящее время международная фармацевтическая отрасль претерпевает значительные изменения. Благодаря росту количества трудоспособного населения, повышению общего финансового благосостояния, а также усилению политики здравоохранения развитых стран поступательно увеличивается спрос на фармакологические препараты, в то время как издержки на производство лекарственных средств (ЛС) только растут [1]. Потенциальное снижение финансовых результатов современного фармацевтического предприятия объясняется не только высоким инвестиционным порогом входа на данный рынок, но и общей конкуренцией, требующей постоянного внедрения комплексных инновационных управленческих стратегий, позволяющих максимизировать жизненную ценность продукта на основе совершенствования текущей операционной деятельности предприятия. Сегодня на мировом рынке принято выделять несколько типов фармацевтических организаций. Основные виды фармацевтических компаний, классифицированные по основному типу деятельности [2], представлены в *таблице 1*.

Рассмотрим бизнес-процессы фармацевтического предприятия первого типа, включающие полный цикл создания, тестирования и реализации продукта. Целью исследования является анализ бизнес-процессов фармацевтической компании на этапе доклинических исследований, с последующим

Таблица 1.

Основные виды фармацевтических компаний, классифицированных по основному типу деятельности

№	Тип фармацевтической компании	Примеры
1	Компании-производители, деятельность которых включает весь жизненный цикл продукта, начиная от разработки и исследования молекулы, и заканчивая сбытом	ГК «ХимПаp», Roche Holding, Novartis International AG, Pfizer Inc., GlaxoSmithKline plc, Sanofi и т.д.
2	Компании, которые занимаются клиническими исследованиями (R&D)	НИИ «ХимПаp», АО «ИИХР», Insilico Medicine Inc. и т.д.
3	Компании, деятельность которых заключается в производстве ЛС	ИИХР ГК «ХимПаp», ООО «БиоИнтегратор», ЗАО «Санофи-Авентис Восток» и т.д.
4	Компании-дистрибьютеры, реализующие ЛС	АО «Рош-Москва», ООО «МФК «Биоритм», ООО «ДИЛЕО Фарма», PHARMA Distribution Group и т.д.

предложением обоснованного решения в части их совершенствования.

Статья имеет следующую структуру. Прежде всего, рассмотрены теоретические положения, описывающие полный жизненный цикл разработки и произ-

водства ЛС. Далее представлены результаты анализа бизнес-процессов на стадии доклинических испытаний препарата, с выявлением потенциальной области управления операционными процессами. Наконец, сформулированы результаты обобщения системных процессов научно-исследовательских работ фармацевтического предприятия и представлена модель, верифицированная посредством интервью с менеджерами фармацевтических компаний.

1. Жизненный цикл разработки и производства лекарственного средства

Для рассмотрения основных бизнес-процессов современного фармацевтического предприятия полного цикла необходимо определить предмет деятельности по производству лекарственного средства (ЛС). Здесь в качестве предмета деятельности выступает разработка лекарственного средства (drug development) — процесс, посредством которого потенциальные лекарственные средства обнаруживаются или разрабатываются. На сегодняшний день процесс обнаружения ЛС имеет сформировавшуюся теоретическую и методологическую базу и включает две основные фазы — доклинические исследования и научно-исследовательские работы (в среднем, 3 года) и клинические испытания (от 6 лет и более) [3–4].

Поскольку спрос на новые методы фармакологического лечения остается высоким, а время, необходимое для вывода новых лекарств на рынок, составляет около 10 лет, компании-производители ищут различные способы сокращения жизненного цикла лекарственных продуктов на разных этапах. В среднем, чтобы разработать и получить одобрение на новый препарат, коммерческому предприятию полного цикла требуется около \$2,6 миллиарда долларов [5]. Если рассматривать финансовые аспекты (рисунк 1), то можно отметить, что бизнес-процессы по производству ЛС на этапе НИР в предварительной фазе, в совокупности со средними затратами на доклинические исследования характеризуют период, наиболее неблагоприятный для инвестора. В целях совершенствования операционной деятельности и сокращения жизненного цикла разработки ЛС авторами проведен комплексный анализ бизнес-процессов фармацевтических предприятий, отраженных в нормативных документах и отчетах ряда международных фармацевтических компаний.

Бизнес-процесс в данной работе определяется как набор задач, включающий в себя системы и методы,

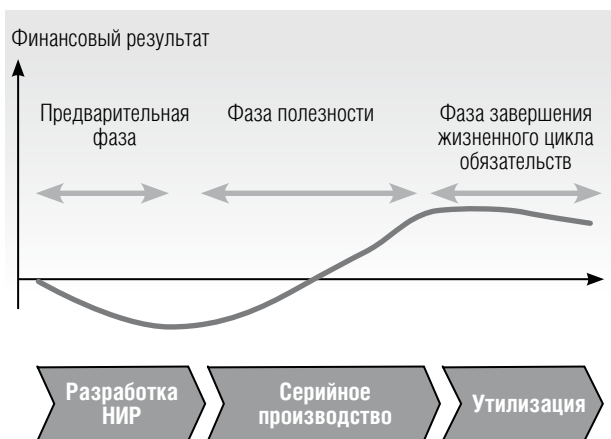


Рис.1. Финансовая результативность этапов жизненного цикла ЛС

выстроенные для создания и развития конечного продукта или услуги, предоставляемых покупателю [6]. Соответственно, для возможного совершенствования бизнес-процессов необходимо выполнить декомпозицию всего жизненного цикла производства препарата и определить процессы, которые могли бы быть систематизированы для сокращения затрат времени.

Жизненный цикл производства и разработки ЛС на ранних этапах предусматривает маркетинговый анализ, который проводится соответствующим подразделением компании. В ходе такого анализа учитывается текущий и будущий спрос, а также формулируется предложение по созданию конкретного препарата или лечению определенного заболевания. Перед принятием решения руководством компании может быть проведен анализ текущих производственных и исследовательских мощностей, для оценки возможности работы над предложенными в плане проектами.

При утверждении конечной цели разработки ЛС назначаются руководители исследования, которые организуют и контролируют стадии доклинических (поиск мишени, поиск агента, оптимизация прототипа, тестирование кандидатов в ЛС) и клинических испытаний (рисунк 2). Клинические испытания лекарственного средства занимают наибольшую часть времени разработки препарата. При этом по причинам нормативного регулирования ускорить данный этап силами компании не представляется возможным.

Процесс перехода от доклинических испытаний к клиническим (на людях) выглядит следующим образом. Фармацевтическая компания подает заявку на

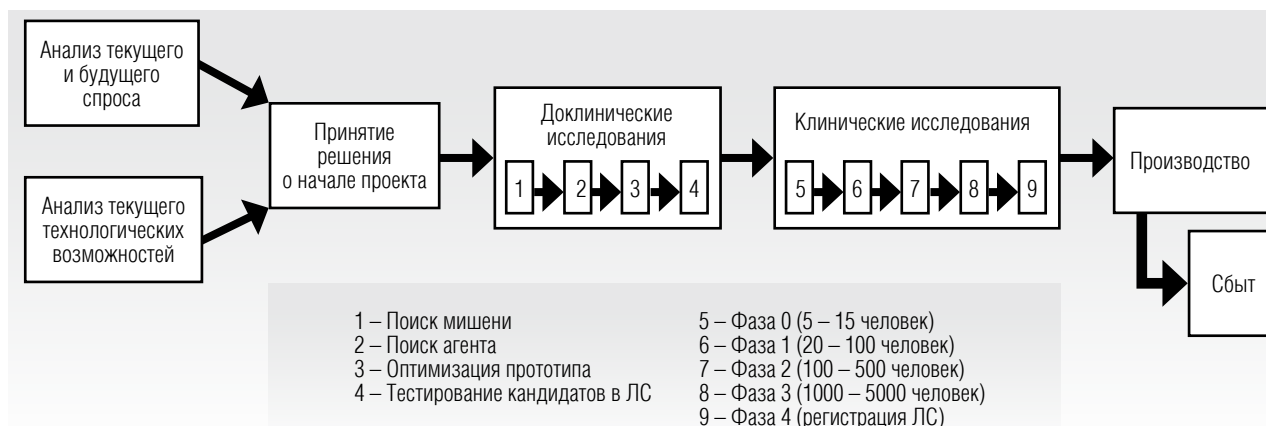


Рис. 2. Основные этапы жизненного цикла ЛС фармацевтического предприятия полного цикла

клиническое испытание (clinical trial authorization, СТА), которая рассматривается рядом экспертов. После этого принимается решение о возможности проведения испытаний на людях.

На фазе 1 испытания безопасность и фармакология препарата-кандидата тестируются на небольшой группе здоровых добровольцев (от 20 до 100 человек), которым вводятся малые дозы соединения. Иногда проводится фаза 0 или “proof-of-concept” (PoC), когда кандидат в ЛС проверяется на малой группе пациентов (от 5 до 15) для определения «механизма действия» препарата в организме человека.

На фазе 2 исследования изучается эффективность соединения на группе добровольцев, у которых присутствует состояние, на лечение которого направлен препарат. Обычно такая группа включает от 100 до 500 пациентов, жизненно важные показатели которых постоянно отслеживаются и оцениваются. Цель фазы 2 – определить наиболее эффективную дозу и способ доставки ЛС (например, перорально или внутривенно). Большинство лекарств, которые терпят неудачу во время клинических испытаний вследствие их неэффективности и небезопасности, определяются именно на этой фазе.

На фазе 3 потенциальные ЛС тестируются на существенно большей популяции (от 1000 до 5000 человек), в нескольких международных центрах. При этом фармацевтической компании необходимо собрать достаточные данные о безопасности и эффективности ЛС, чтобы подать заявку на лицензирование в регулирующий орган (например, в Великобритании это The Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency, MHRA, а в США – Food and Drug Administration, FDA).

На фазе 4 происходит финальное одобрение лекарственного средства надзорным органом и запуск производства, с одновременным определением каналов сбыта.

Перечисленные этапы являются нормативно определенными и обязательными процедурами, необходимыми для выявления безопасности препарата. В современных условиях фармацевтическая промышленность вынуждена преобразовывать и совершенствовать именно стадию доклинической разработки, чтобы компенсировать более длительное ожидание испытания на людях и одобрения регулирующих органов. Следовательно, учитывая нормативные требования соответствующих регулирующих органов, представляется важным рассмотрение процесса разработки лекарственного средства именно на этапе научно-исследовательских работ.

2. Бизнес-процессы на доклинической стадии разработки лекарственных средств

Значительная часть работ по выявлению и разработке лекарств на ранних этапах проводится университетами и исследовательскими институтами, деятельность которых курируют и контролируют руководители проектов компаний-производителей [7]. Например, в университетской лаборатории ученые при поддержке грантов исследовательских учреждений или фармацевтического предприятия проводят фундаментальные исследования для определения причины заболевания. Взаимодействие нескольких субъектов при разработке ЛС является неотъемлемой частью бизнес-процессов современной

международной фармацевтической компании. В этих условиях существенное влияние на ход исследования оказывают не только технологический или квалификационный уровень исполнителей, но и координация и регулирование их взаимодействия.

Деятельность менеджеров проектов на доклинической стадии определяется не только корпоративными нормами, но и внешними стандартами [8]. В частности, внутренние процессы доклинических испытаний регулируются такими стандартами, как созданная в США система «надлежащей лабораторной практики» (good laboratory practice, GLP), российский ГОСТ 33647-2015, а также GAMP (good automated manufacturing practice) и ISO/IEC 17025:2005 (в РФ – ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009) [9]. На базе «принципов надлежащей лабораторной практики» осуществляется планирование и проведение ключевых этапов научно-исследовательских работ, а также регламентируется форма отчетности по каждой итерации. Основной целью данных мероприятий является исследование безопасности химического вещества. Каждый иерархический уровень регулируется рядом норм, однако существует область операционных процедур, разработка которой находится в ведении руководителей исследования. Так, в соответствии со стандартом ГОСТ 33647-2015 собственные стандартные операционные процедуры (СОП) по регламентированному администрацией роду деятельности должно иметь каждое подразделение испытательного центра, однако унифицированное представление документа в виде нормативного акта отсутствует [10]. Кроме того, ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 обязывает административную единицу, организующую или нанятую для проведения исследований, разработать и обеспечить систему менеджмента в соответствии с областью своей деятельности. Эта система менеджмента должна быть документально оформлена в виде подробного описания системы, программы, процедур и инструкций в объеме, необходимом для качественного отражения результатов исследования [9]. В дополнение менеджер проекта должен контролировать не только организацию безопасности операционных процессов, но и документирование безопасности соединения – кандидата в ЛС. В соответствии с документом ICH Guideline M3(R2), утвержденным международным Советом по согласованию технических требований к фармацевтическим препаратам для человека, доклинические исследования безопасности должны быть достаточными для характеристики потенциальных

побочных эффектов, которые могут возникнуть в условиях поддерживаемого клинического испытания.

Исходя из вышеизложенного, авторами сделан вывод о наличии большой нагрузки на менеджеров проектов на стадии доклинической разработки ЛС. Тем не менее, одним из наиболее важных аспектов, определяющих увеличение времени на операционные процедуры, может быть отсутствие унифицированного по содержанию СОП [11–12]. Исходя из этого, далее рассматривается задача нахождения усовершенствованного способа организации операционной деятельности в рамках доклинических испытаний.

На основе качественного исследования нормативных документов (в частности, ГОСТ 33647-2015 и ISO/IEC 17025:2005), а также бизнес-процессов ряда фармацевтических компаний авторами описан ряд операционных процедур, имеющих место на этапе обнаружения и разработки ЛС (*рисунок 3*). Следует отметить, что современные исследования всецело ведутся на молекулярном уровне. Именно благодаря лучшему пониманию источников заболевания определяются цели для новых методов лечения. Этап поиска мишени является первоочередным для доклинических исследований. Мишенью может быть ген, белок или белок-белковое взаимодействие (ББВ), либо способствующие заболеванию, либо способные помешать лечению, например, блокируя необходимый рецептор.

Поскольку некоторые заболевания связаны с дисфункцией не только одной молекулы, а, например, 5–10 связанных белков, научной группе необходимо исследовать, как минимум, в пять раз больше мишеней. Как только потенциальная цель будет определена, исследователи перейдут к поиску соединения, которое подействует на эту цель и, следовательно, сможет повлиять на заболевание. Может быть рассмотрено от 10 000 и более соединений, обычно сокращаемые до 10–20, которые, по прогнозам рабочей группы, могут повлиять на заболевание. В настоящее время процесс поиска нового лекарства против выбранной мишени для конкретного заболевания обычно включает молекулярный докинг (молекулярное моделирование для поиска оптимальной архитектуры в центре связывания белка-мишени), виртуальный скрининг (автоматизированный отбор необходимых химических соединений из специализированных баз данных), а также высокопроизводительный скрининг (high-throughput screening, HTS), при котором большие комбинаторные библиотеки химикатов проверяются на их способность ингибировать мишень.

После определения релевантных соединений производится их фармакокинетическая проверка (ADME-свойства). Далее следует этап оптимизации прототипов, который параллельно проводится группой молекулярных биологов, а также коллективом специалистов в области медицинской химии. Деятельность этих двух групп также курируется менеджером проекта. После успешного отбора и проверки ряда соединений проводятся эксперименты “in vitro” (в пробирке) и “in vivo” (на живых организмах). Чтобы получить доступ к клиническому этапу, команде проекта необходимо провести следующие исследования: фармакологические (первичная фармакодинамика, вторичная фармакодинамика, безопасность фармакологии, фармакодинамические лекарственные взаимодействия) и фармакокинетические (поглощение, распределение, метаболизм, экскреция и токсикологические свойства препарата, фармакокинетическое лекарственное взаимодействие).

В ходе изучения общетоксических свойств (оценка острой и хронической токсичности), с одной стороны, выявляют токсические дозы, которые могут вызвать гибель животных, и тем самым определяют дозовые границы, за которые нельзя выходить. С другой стороны, оценивается безопасность терапевтических доз при длительном воздействии на организм животных. Для этого препарат вводят ежедневно как в терапевтических дозах, так и в дозах, в десятки раз превышающих терапевтические. Длительность эксперимента зависит от продолжительности предполагаемого курса в клинической практике. В ходе эксперимента анализируют функциональное состояние всех систем организма, вес и поведение животных. После завершения курса

проводят гистологическое исследование всех органов и тканей. Также в рамках оценки безопасности на доклинической стадии проводятся эксперименты по так называемой специфической токсичности (например, изучается мутагенность, канцерогенность, аллергенность, эмбриотоксичность и др.). В целом данные исследования позволяют оценить возможное влияние исследуемого препарата на иммунный статус организма, репродуктивную систему и потомство, генетический аппарат, а также возможность проявления аллергических реакций и провокации злокачественных образований.

Однако перечисленные исследования не могут дать достоверную информацию о влиянии изучаемых препаратов на человека, поскольку организм лабораторных животных отличается от человеческого и по фармакокинетическим характеристикам, и по реакции органов и систем на лекарства. Именно поэтому необходимо проведение клинических испытаний лекарственных средств. Таким образом, основным результатом доклинических исследований нового лекарственного препарата является прогноз его безопасности для человека.

3. Модель минимальной единицы комплексной деятельности

Рассмотренные аспекты объясняют важность детального анализа процессов на всех этапах научно-исследовательских работ. Как уже было отмечено, акторы индустрии ищут более эффективные подходы к выводу новых продуктов на рынок, способные ускорить разработку продукта при одновременном снижении эксплуатационных расходов. Детальный анализ процессов доклинических исследований по-

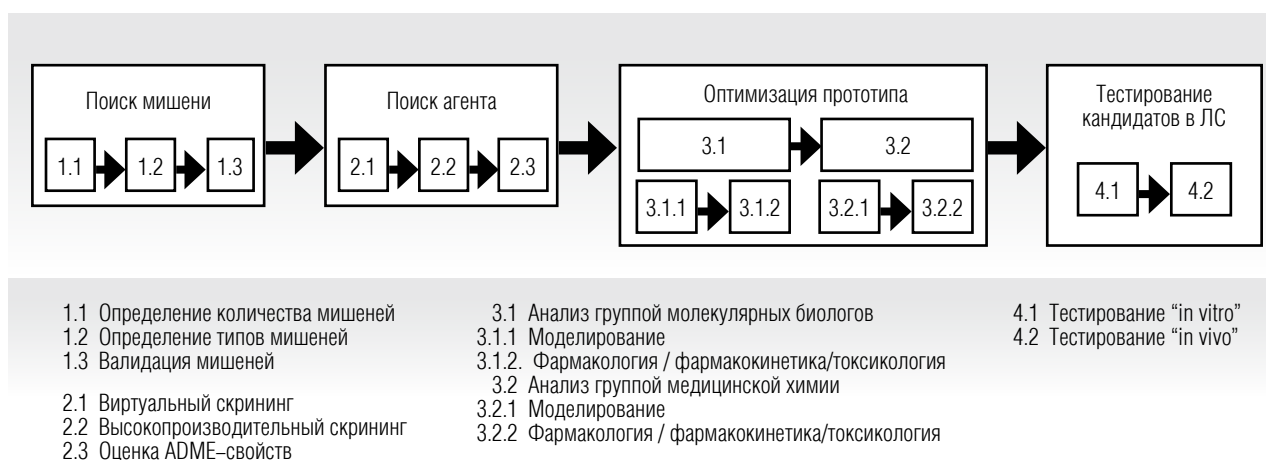


Рис. 3. Агрегированное представление этапа научно-исследовательских работ

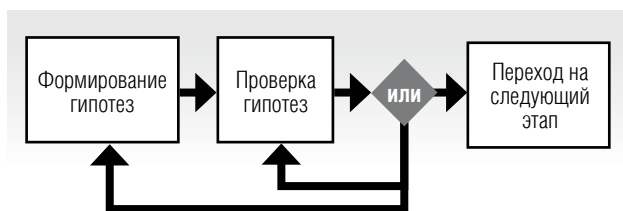


Рис. 4. Схема минимальной единицы комплексной деятельности (МЕКоД)

звolyет сделать вывод о возможности унифицированного и усовершенствованного представления бизнес-процессов, посредством введения понятия минимальной единицы комплексной деятельности (МЕКоД). Подобное отображение МЕКоД в контексте анализа бизнес-процессов фармацевтических предприятий отражает цикличность выполнения соответствующих работ (рисунок 4).

Любой операционный процесс на доклинической стадии начинается с формирования множества гипотетических конструкций, которые нуждаются в проверке. Верификация сформированных гипотез — это обязательное и логичное продолжение систематического процесса операционной деятельности. При невозможности перехода от одного этапа к другому проводится валидация на этапе проверки гипотез (малый цикл), а в случае повторной неудачи перехода осуществляется возврат к стадии формирования множества гипотез для повторной проверки (большой цикл). Данная циклическая конструкция не только отражает минимальный системный процесс комплексной научно-исследовательской деятельности по созданию и разработке лекарственных средств, но и связывает сущности с добавленной стоимостью, которая может ухудшить или иным образом предотвратить выполнение предполагаемой функции бизнес-процесса. Основным алгоритмом работы с минимальной единицей комплексной деятельности является полная декомпозиция бизнес-процессов конкретного этапа НИР до соответствующего масштаба, определение места текущей деятельности в модели, рационализация этапа и последующее совершенствование (адаптация к циклам МЕКоД).

Для демонстрации применимости МЕКоД была смоделирована работа фреймворка на примере комплекса доклинических этапов разработки препарата. Так, на рисунке 5 схематично представлена каждая итерация этапа научно-исследовательских работ, в соответствии с подробной декомпозицией и апробацией модели. Основной методологии по верифика-

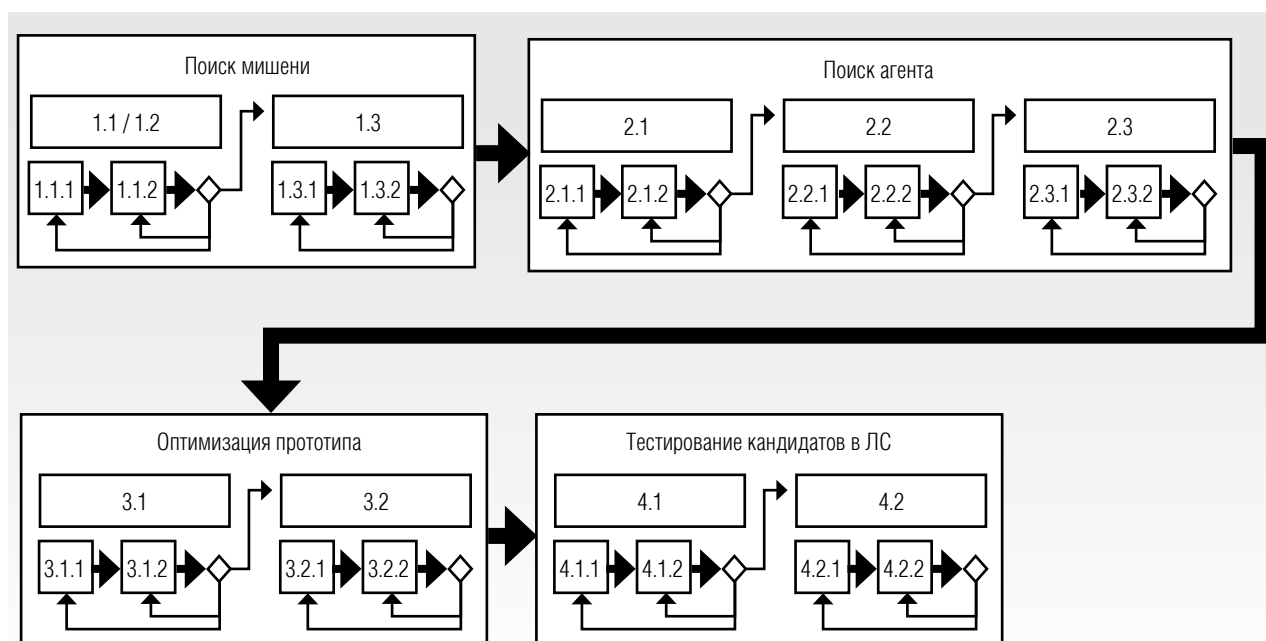
ции применимости МЕКоД послужили глубинные интервью с представителями фармацевтической отрасли. При этом под глубинным интервью понимается неформальная личная беседа с респондентами, в рамках предварительно оговоренных тематики и структуры.

При формировании выборки компаний использовались следующие критерии. Во-первых, предприятие должно заниматься исследованиями и разработкой лекарственных средств. Во-вторых, предприятие должно являться международным и при этом работать на территории России. В-третьих, число сотрудников компании должно быть не менее 1000 человек. Таким образом, в выборку исследования вошли четыре компании. Дизайн исследования предполагал участие от одного до трех менеджеров от каждого предприятия.

Глубинные интервью по вопросам верификации модели и ее применения были проведены с пятью менеджерами российских фармацевтических компаний. Респонденты отбирались с учетом их наибольшей информированности об исследовательской деятельности организации. Интервьюирование осуществлялось 1 августа 2019 года по 14 октября 2019 года. Длительность каждого интервью составляла от 20 минут до одного часа, среднее время интервью составило 35 минут. Каждому респонденту было задано 12 вопросов с определенными вариантами ответа («да», «скорее да, чем нет», «скорее нет, чем да», «нет») и два открытых вопроса. Первые пять вопросов уточняли деятельность и операционные процессы фармацевтической компании. Следующие три вопроса служили для верификации основных этапов жизненного цикла разработки ЛС. Последние четыре вопроса уточняли концепт предлагаемой модели и возможность ее использования в операционном процессе, а именно: «описывает ли модель МЕКоД минимальную систему жизнедеятельности в рамках доклинических исследований?», «возможна ли оптимизация операционных процедур доклинических испытаний посредством модели МЕКоД?», «возможна ли имплементация модели МЕКоД при составлении СОП?», «возможна ли имплементация модели МЕКоД в содержание СОП Вашей компании?». Два открытых вопроса были заданы для определения направлений по доработке подхода к анализу бизнес-процессов в целом и модели: «что еще следует учесть в данном подходе к анализу бизнес-процессов?» и «как модель МЕКоД может быть инструментально встроена в текущую информационную экосистему фармацевтического предприятия?».

положений о потенциальных типах и количестве кандидатов в мишени, с применением соответствующего программного инструментария. При успешной валидации происходит переход от процессов 1.1/1.2 (определение количества мишеней / определение типов мишеней) к процессу 1.3 (валидация мишеней). При отрицательном исходе исследование пересматривается в рамках операции 1.1.2 (проверка методов белкового взаимодействия), в рамках малого цикла модели МЕКоД. В случае неоднократного отрицательного исхода происходит перенаправление анализа по большому циклу к процессу 1.1.1, где происходит формирование нового множества гипотез для дальнейшей проверки.

Подобная апробация модели возможна на любом из подэтапов доклинических испытаний. Таким образом, МЕКОД является управленческим фреймворком, который может не только влиять на основные



- 4.2.2. Проверка гипотез.

Рис. 5. Операционные процедуры на доклиническом этапе, в соответствии с МЕКОД

операционные и промежуточные процедуры, но и обеспечивать систематизацию при контроле текущей деятельности разработки лекарственного продукта со стороны менеджеров проектов. В целом респонденты подтвердили возможность использования модели МЕКоД для управления и совершенствования доклинической стадии исследования, а также возможность использования приведенной схемы в качестве рекомендации к унифицированному представлению СОП.

Заключение

В статье проанализирован комплекс бизнес-процессов ряда фармацевтических предприятий полного цикла на этапе доклинических исследований, с целью их дальнейшего совершенствования. Качественный анализ основан на данных, представленных в отраслевых нормативных актах, открытой информации ряда коммерческих фармацевтических компаний, а также глубинных интервью с представителями индустрии. Авторами были агрегированы и схематично представлены основные

бизнес-процессы фармацевтического предприятия указанного типа. На основе составления, описания и последующей декомпозиции жизненного цикла лекарственного средства выявлена проблема отсутствия стандартной унифицированной формы представления процессов на каждой операционной итерации доклинических испытаний, что является потенциальным источником увеличения времени на производство продукта. Предложена модель минимальной единицы комплексной деятельности (МЕКоД), которая может рассматриваться в качестве основополагающей единицы стандартных операционных процедур, описывающих последовательность действий по разработке ЛС. Модель может быть использована как руководителями исследований по обнаружению ЛС, так и менеджерами проектов.

Таким образом, приоритетными направлениями дальнейших исследований могут стать количественное подтверждение дееспособности МЕКоД на доклиническом этапе, а также анализ вариантов потенциального масштабирования модели на другие этапы жизненного цикла производства лекарственных средств. ■

Литература

1. Lichtenberg F.R. Have newer cardiovascular drugs reduced hospitalization? Evidence from longitudinal country-level data on 20 OECD Countries, 1995–2003 // The National Bureau of Economic Research, 2008. [Электронный ресурс]: <https://www.nber.org/papers/w14008> (дата обращения: 30.06.2019).
2. Пильникова Е.Г. Особенности деятельности фармацевтических компаний-производителей в современных условиях // Бизнес-образование в экономике знаний. 2016. № 1. С. 61–64.
3. Головкин А.С., Головкин Ю.С., Ивашкевич О.А. Современные методы поиска новых лекарственных средств // Вестник БГУ. Серия 2: Химия, биология, география. 2012. № 1. С. 7–15.
4. Biopharmaceutical research & development: The process behind new medicines / PhRMA, 2015. [Электронный ресурс]: http://phrma-docs.phrma.org/sites/default/files/pdf/rd_brochure_022307.pdf (дата обращения: 23.06.2019).
5. Outlook 2016. Tufts Center for the Study of Drug Development / Tufts University. [Электронный ресурс]: <https://static1.squarespace.com/static/5a9eb0c8e2ccd1158288d8dc/t/5aa2fc9d0852297555747051/1520630944033/Outlook-2016.pdf> (дата обращения: 23.06.2019).
6. Locuson C. Project management in drug discovery: Current practices and opportunities // Project Management, 26 May 2016. [Электронный ресурс]: <https://www.projectmanagement.com/articles/331399/Project-Management-in-Drug-Discovery--Current-Practices-and-Opportunities> (дата обращения: 23.06.2019).
7. Frearson J., Wyatt P. Drug discovery in academia – the third way? // Expert Opinion on Drug Discovery. 2010. Vol. 5. No 10. P. 909–919. DOI: 10.1517/17460441.2010.506508.
8. Raman A., Tok W.H. A developer's guide to building AI applications. Create your first intelligent bot with Microsoft AI. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2018.
9. ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. Межгосударственный стандарт. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/gost-iso-mek-17025-2009> (дата обращения: 31.07.2019).
10. ГОСТ 33647-2015. Принципы надлежащей лабораторной практики (GLP). Термины и определения. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200129061> (дата обращения: 31.07.2019).
11. Drug discovery and drug marketing with the critical roles of modern administration / J. Chen [et al.] // American Journal of Translational Research. 2018. Vol. 10. No 12. P. 4302–4312.
12. Pattanaik A. Complexity of project management in the pharmaceutical industry // Proceedings of the PMI Global Congress 2014, Dubai, United Arab Emirates, 5–7 May 2014. [Электронный ресурс]: <https://www.pmi.org/learning/library/project-management-complexity-pharmaceutical-industry-1487> (дата обращения: 23.06.2019).

Об авторах

Белов Михаил Валентинович

кандидат технических наук;

заместитель генерального директора компании IBS, 127018, г. Москва, ул. Складочная, д. 3, стр. 1;

заведующий кафедрой «Информационные бизнес-системы»,

Национальный исследовательский технический университет «МИСиС»,
119017, г. Москва, Малый Толмачевский пер., д. 8/11, стр. 3, офис 101;

E-mail: mbelov@ibs.ru

Шахмурдян Михаил Андреевич

аспирант кафедры экономики инноваций, экономический факультет,

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,

119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 46;

E-mail: mshakhmuradyan@econ.msu.ru

Improvement of a pharmaceutical enterprise's business processes at the stage of preclinical development of new drugs

Mikhail V. Belov^a

E-mail: mbelov@ibs.ru

Mikhail A. Shakhmuradyan^b

E-mail: mshakhmuradyan@econ.msu.ru

^a IBS Group Holding Ltd.

Address: 3 build. 1, Skladochnaya Street, Moscow 127018, Russia

^b Lomonosov Moscow State University

Address: 1 build. 46, GSP-1, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia

Abstract

The rapid increase of the population, as well as the high rate of urbanization, are leading to an increased need for medical supplies, as well as the need for faster release of new drugs to the market. In this article, the authors analyze and aggregate the activities of a number of pharmaceutical companies at the preclinical stage of drug development to identify optimal management models at the stage of each operational iteration. The work methodology is based on an empirical study based on two progressive stages: a qualitative analysis of the business processes of pharmaceutical enterprises, reflected in regulatory rules and company reports, as well as in-depth interviews with representatives of these commercial organizations. Based on the results obtained at the end of the first stage, the authors established the problem of the lack of a unified presentation of standardized operating procedures, as well as an aggregated representation of the stage of research work on the production of the drug. When considering each business process of this stage, the authors presented a model of the minimum unit of integrated activity (MUnIA). This model most optimally describes local operational business processes during drug development, and can also serve as an instrumental framework for guiding preclinical studies in the formation of a document on standardization of operational procedures. The results of the first stage of the empirical analysis were verified during the second part of the work – in-depth interviews with industry representatives. The findings of this study can be used by project managers at the preclinical testing stage to reduce the time spent on operating procedures.

Key words: business process; pharmaceuticals; pharmaceutical company; digitalization; project management.

Citation: Belov M.V., Shakhmuradyan M.A. (2019) Improvement of a pharmaceutical enterprise's business processes at the stage of preclinical development of new drugs. *Business Informatics*, vol. 13, no 4, pp. 17–27.
DOI: 10.17323/1998-0663.2019.4.17.27

References

1. Lichtenberg F.R. (2008) Have newer cardiovascular drugs reduced hospitalization? Evidence from longitudinal country-level data on 20 OECD Countries, 1995–2003. *The National Bureau of Economic Research*. Available at: <https://www.nber.org/papers/w14008> (accessed 30 June 2019).
2. Pilnikova E.G. (2016) Features of the activities of pharmaceutical manufacturing companies in modern conditions. *Business Education in the Knowledge Economy*, no 1, pp. 61–64 (in Russian).
3. Golovko A.S., Golovko Yu.S., Ivashkevich O.A. (2012) Modern methods of searching for new drugs. *Bulletin of BSU. Series 2: Chemistry, Biology, Geography*, no 1, pp. 7–15 (in Russian).
4. PhRMA (2015) *Biopharmaceutical research & development: The process behind new medicines*. Available at: http://phrma-docs.phrma.org/sites/default/files/pdf/rd_brochure_022307.pdf (accessed 23 June 2019).
5. Tufts University (2016) *Outlook 2016. Tufts Center for the Study of Drug Development*. Available at: <https://static1.squarespace.com/static/5a9eb0c8e2ccd1158288d8dc/t/5aa2fc9d0852297555747051/1520630944033/Outlook-2016.pdf> (accessed 23 June 2019).
6. Locuson C. (2016) Project management in drug discovery: Current practices and opportunities. *Project Management*. Available at: <https://www.projectmanagement.com/articles/331399/Project-Management-in-Drug-Discovery--Current-Practices-and-Opportunities> (accessed 23.06.2019).
7. Frearson J., Wyatt P. (2019) Drug discovery in academia – the third way? *Expert Opinion on Drug Discovery*, vol. 5, no 10, pp. 909–919. DOI: 10.1517/17460441.2010.506508.
8. Raman A., Tok W.H. (2018) *A developer's guide to building AI applications. Create your first intelligent bot with Microsoft AI*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media.
9. GOST ISO/IEC 17025-2009. *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/gost-iso-mek-17025-2009> (accessed 31 July 2019) (in Russian).
10. GOST 33647-2015. *Principles of good laboratory practice (GLP). Terms and definitions*. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200129061> (accessed 31 July 2019) (in Russian).
11. Chen J., Luo X., Qiu H., Mackey V., Sun L., Ouyang X. (2018) Drug discovery and drug marketing with the critical roles of modern administration. *American Journal of Translational Research*, vol. 10, no 12, pp. 4302–4312.
12. Pattanaik A. (2014) Complexity of project management in the pharmaceutical industry. Proceedings of the *PMI Global Congress 2014, Dubai, United Arab Emirates, 5–7 May 2014*. Available at: <https://www.pmi.org/learning/library/project-management-complexity-pharmaceutical-industry-1487> (accessed 23 June 2019).

About the authors

Mikhail V. Belov

Cand. Sci. (Tech.);
Deputy CEO, IBS Group Holding Ltd., 3 build. 1, Skladochnaya Street, Moscow 127018, Russia;
Head of the Department of Information Business Systems, NUST MISIS,
8/11, Maly Tolmachevsky Lane, Moscow 119017, Russia;
E-mail: mbelov@ibs.ru

Mikhail A. Shakhmuradyan

Doctoral Student, Department of Economics of Innovation, Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University,
1 build. 46, GSP-1, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia;
E-mail: mshakhmuradyan@econ.msu.ru

Когнитивный анализ и выбор стратегических целей предприятия

Р.А. Караев

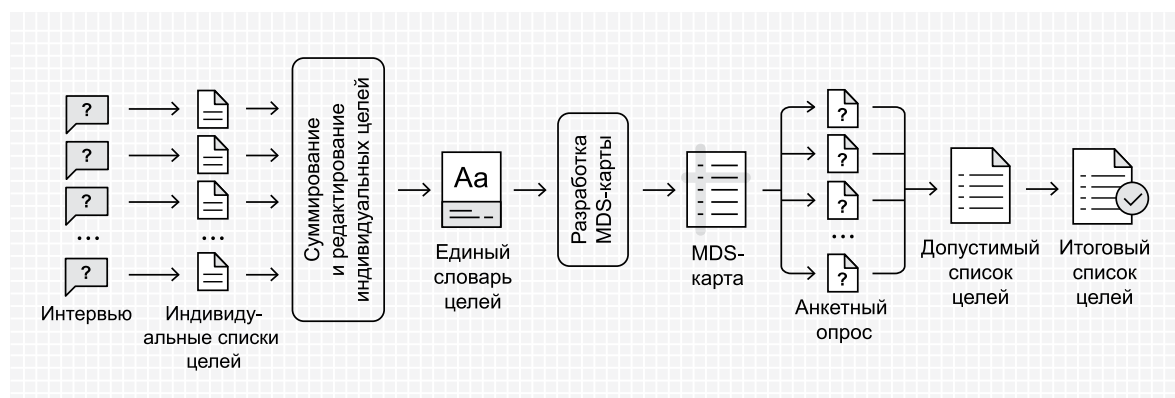
E-mail: karayevr@rambler.ru

Институт систем управления, Национальная академия наук Азербайджанской Республики
Адрес: Азербайджанская Республика, AZ1141, г. Баку, ул. Б. Вагабзаде, д. 9

Аннотация

Одним из наиболее ответственных и уязвимых этапов стратегического менеджмента является когнитивный этап, связанный с трансформацией стратегического видения и миссии предприятия в его стратегические цели. На этом этапе менеджмент сталкивается с проблемой выработки согласованного коллективного мнения относительно состава формируемых целей и объективной оценки их эффективности. Трудности, возникающие в этой области, обусловлены феноменологическими особенностями этапа — неформальным характером процедур трансформации, многокритериальным характером целей, многочисленными факторами неопределенности и рисками, усугубляемыми возросшей изменчивостью бизнес-среды, а также когнитивными барьерами, возникающими из-за лингвистических разночтений и различий в профессиональном опыте разработчиков стратегии. Такого рода особенности этапа в итоге приводят к неоднозначным решениям относительно состава целей и неоднозначным оценкам их эффективности. В этих условиях традиционные инструменты поддержки (многочисленные версии экспертных методов, метод «мозгового штурма», BSC-карты Каплана—Нортон, SMART-технология и др.) сталкиваются с серьезными ограничениями. В статье предлагается когнитивная технология формирования согласованного комплекса целей предприятия, в значительной степени учитывающая особенности данного этапа. Технология представляет собой единую процедуру, интегрирующую возможности традиционных инструментов поддержки и расширяющую ее креативный потенциал на основе моделей экспериментальной психосемантики и методов неметрического многомерного шкалирования. В ходе реального обследования ряда предприятий получены результаты, показывающие, что когнитивные технологии открывают новые перспективы целевого анализа. Они могут служить полезным дополнением к существующим инструментам поддержки и способствовать конструированию более эффективных и реалистических стратегий предприятий.

Графическая аннотация



Ключевые слова: стратегические цели предприятия; технология анализа и выбора; когнитивный подход.

Цитирование: Караев Р.А. Когнитивный анализ и выбор стратегических целей предприятия // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 4. С. 28–38. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.4.28.38

Введение

Задача формирования стратегических целей предприятия (далее — целей) является одной из критических задач стратегического менеджмента [1–3]. От ее решения в значительной степени зависит успех стратегического проекта. Сложный, неформальный, эвристический характер задачи уже длительное время ставит перед исследователями вопрос создания эффективных инструментов поддержки, адекватно отражающих феноменологию самой задачи, накопленный положительный опыт применения традиционных инструментов поддержки, а также новые возможности современных интеллектуальных технологий.

Ниже приводится перечень наиболее популярных инструментов поддержки, дается краткий критический анализ этих инструментов. В результате анализа сформулированы основные принципы, которые могут быть положены в основу усовершенствованной технологии поддержки, а также обоснованы перспективы, которые открывает в этом плане использование когнитивного подхода. Рассмотрены трудности, которые возникают на пути реализации когнитивного подхода. Рассмотрены пути их преодоления с помощью моделей экспериментальной психосемантики.

Приводятся основные положения, блок-схема и алгоритмы работы предлагаемой технологии поддержки. Приводится демонстрационный пример использования технологии. Обсуждаются возможности и перспективы ее применения.

1. Краткая характеристика традиционных методов

В настоящее время в практике стратегического менеджмента при выборе стратегических целей предприятия к наиболее популярным могут быть отнесены такие инструменты поддержки, как экспертные методы (анкетирование, интервьюирование, *метод Дельфи*), метод «мозгового штурма», SMART-технология, стратегические карты Каплана–Нортона (balanced scorecard, BSC) и другие.

Экспертные методы [4]. Концептуальной основой этих методов является предложенная в работе

[4] «общая схема экспертизы»:

$$E = \langle \Omega, \Omega_e, L, Q, \varphi \rangle,$$

где Ω — исходное множество допустимых оценок цели по принятому критерию;

Ω_e — множество допустимых оценок цели, сделанные различными экспертами ($\Omega_e \subseteq \Omega$);

L — правила взаимодействия между экспертами;

Q — обратная связь в экспертизе;

φ — способ обработки оценок различных экспертов с целью определения результирующей оценки.

Широко применяемые для формирования целей экспертные методы являются, по сути, различными модификациями этой общей схемы.

Метод «мозгового штурма» [5]. Широко разрекламированный в свое время метод «мозгового штурма» рассматривается как способ «усиления» креативных возможностей команды аналитиков при решении слабо структурированных проблем. Это метод группового творчества, с помощью которого предпринимаются усилия, чтобы найти решение конкретной проблемы путем формирования списка идей, спонтанно представленных его участниками.

SMART-технология [6]. Декларативный подход, позиционирующий выбираемые цели по следующим критериям: конкретность (specific), измеримость (measurable), достижимость (achievable), значимость (relevant), ограниченность во времени (time bound).

Стратегические карты BSC (сбалансированная система показателей) [7]. Концепция BSC, предложенная Р. Капланом и Д. Нортоном, предусматривает иерархическую структуризацию показателей работы предприятия. Сбалансированная система показателей оперирует стратегией на четырех связанных друг с другом уровнях — финансовом, клиентском, процессном и обучения и развития. Такая структуризация, фокусируя внимание на группах целей, позволяет бороться с известной «проблемой размерности» [7]. При этом количество целей в каждом из слоев обычно принимается равным 5–7, что связано с ограниченными психофизиологическими возможностями человека [8].

2. Критический анализ традиционных методов

Анализ перечисленных методов и практика их применения позволяют сформулировать ряд существенных ограничений, возникающих при их практическом применении, и наметить основные пути совершенствования процедуры поддержки.

Как уже отмечалось, первоочередной задачей, решаемой на когнитивном этапе, является формирование набора целей предприятия. Они могут быть определены при помощи следующих методов:

1) метода анкетирования [9], предполагающего использование заранее определенного экспертами набора целей;

2) метода интервьюирования [10], когда каждый из экспертов предлагает свое индивидуальное мнение относительно набора целей;

3) метода Дельфи [11], являющегося по сути методом группового анкетирования. Процедуры, используемые в данном методе, характеризуются такими основными чертами, как анонимность, регулируемая обратная связь и групповой ответ. Обратная связь выполняется путем проведения нескольких туров опроса, при этом результаты каждого из туров обрабатываются статистическими методами и сообщаются экспертам. Во втором и во всех последующих турах эксперты аргументируют свои ответы. Таким образом, в последующих турах эксперты могут пересмотреть ответы, данные ранее. От тура к туру ответы экспертов приобретают все более устойчивый характер и в итоге перестают изменяться, что служит основанием для остановки опросного процесса. На практике оценки обычно перестают изменяться после трех–четырёх туров опроса.

Общим у перечисленных выше экспертных методов является то, что они основаны на опросниках. Разница в том, что в одних случаях их реализация выполняется в закрытой форме (экспертам предлагаются опросники, составленные заранее), а в других — в открытой форме (эксперты сами формируют опросники и дают ответы на них в процессе интервьюирования). В зависимости от формы опросников могут возникать различные сложности. Так, использование открытой формы опросников может приводить к различным наборам целей, предлагаемых каждым из экспертов, и к неоднозначному толкованию целей, поскольку одинаковые цели могут быть названы разными экспертами различными терминами, или цели с одинаковыми названиями могут иметь разную семантику и прагматику. Использование же закрытой формы опросников

может существенно ограничивать возможности экспертов для высказывания своего мнения о наборе целей и их словесной формулировке.

Наиболее ярко эта проблема проявляется в другом популярном методе — методе «мозгового штурма». Уже на заре использования этого метода появились публикации, ставящие под сомнение утверждение о том, что данный метод является эффективным способом генерации идей [12]. Исследования метода «мозгового штурма» позволили выявить три группы процессов, которые уменьшают его эффективность. К ним относятся [13]:

- ♦ социальная безответственность, позволяющая менеджерам «прятаться за спины коллег»;
- ♦ боязнь высказать идею, которая коллегам покажется глупой;
- ♦ блокировка продуктивности за счет пониженной критичности, так как по условию технологии любой член группы может поддержать любую идею в любой момент.

Работы последнего десятилетия показывают, что индивидуальные способы генерации целей все же эффективнее коллективных [14].

Особого внимания среди инструментов поддержки заслуживает BSC-подход. Структурная организация этого подхода, помимо выделения целей предприятия, предполагает задание их взаимовлияний как в рамках каждого из слоев, так и между слоями. Например, персонал предприятия, даже при идеальном качестве его сотрудников, может достигать результатов во взаимоотношениях с клиентами только при правильной организации бизнес-процессов управления (влияние целей слоя «бизнес-процессы» на цели слоя «клиенты»). Правильно организованные (эффективные и рациональные) бизнес-процессы позволяют достигать максимальных показателей, определяемых в клиентском слое (доля рынка, удовлетворенность услугой), что, в свою очередь, позволяет достигать желаемых финансовых результатов.

Однако вся привлекательность BSC-подхода сохраняется до того момента, как менеджмент сталкивается с вопросом: откуда можно взять необходимый и достаточный набор бизнес-целей конкретного предприятия? Очевидно, что ответ здесь однозначен: только из голов менеджеров, осуществляющих разработку стратегии предприятия. Однако задача экспликации этих знаний и их прикладного использования далеко не тривиальна. Ее простота без использования специальных инструментов поддержки иллюзорна и обманчива.

3. Когнитивная технология генерации и анализа целей

3.1. Основные положения

Приведенные выше соображения позволяют сформулировать основные принципы, которые могут быть положены в основу усовершенствованной технологии формирования целей. Во-первых, технология должна основываться на индивидуальном, а не на групповом способе экспертизы. Во-вторых, в технологии должны быть предусмотрены инструменты для решения неизбежно возникающей проблемы, связанной с экспликацией внутренних представлений менеджеров, анализом и согласованием их индивидуальных представлений, и формированием единого коллективного мнения. Особенность этой проблемы состоит в том, что процедура экспликации носит неформальный характер, а сами оценки целей носят многокритериальный характер (например, SMART-технология позиционирует цели по пяти критериям) и зачастую — неметрический (качественный, лингвистический) характер, исключающий возможность количественной обработки исходного экспертного материала.

Для решения такого рода проблем уже в течение длительного времени предпринимаются попытки использования когнитивного подхода [15–17].

Одним из ведущих положений когнитивного подхода является тезис о том, что поведение человека, формирующееся в ответ на внешний стимул, определяется его внутренней «ментальной моделью» предметной области, к которой принадлежит этот стимул [18]. Ментальные модели основаны на человеческом опыте. Они являются внутренним представлением причинно-следственных отношений конкретной предметной области, которое позволяет человеку понимать и решать практические задачи этой области. Ментальные модели управляют поведением человека в различных ситуациях и являются динамическими конструкциями, изменяющимися под воздействием обучения, новой информации или состояния человека. Человек мысленно может манипулировать ментальными моделями, производя их «запуск» в виде внутреннего эксперимента и оценивая его результаты при разных условиях и разной последовательности шагов, формирующих такую модель. Описанные манипуляции являются внутренней основой формирования всех основных компонентов стратегии предприятия.

Так, менеджеры предприятий используют свои внутренние ментальные модели конкуренции [19],

а предприниматели — ментальные модели отрасли [20]. И тем, и другим ментальные модели помогают оценивать сложившуюся бизнес-ситуацию и принимать мотивированные решения.

Однако использование когнитивного подхода при формировании целей предприятия затруднено по ряду причин, основными из которых являются следующие.

Во-первых, все цели предприятия являются продуктом размышлений менеджеров, находятся у них в головах в виде ментальных моделей и должны быть извлечены оттуда в максимально четкой форме. Однако форма внутренних представлений человека препятствует решению этой задачи. «Языки мозга» [21] и «недизъюнктивная» логика человека [22] не могут быть непосредственно транслированы с помощью традиционных дизъюнктивных средств современной математики.

Во-вторых, сложность трансляции усугубляется тем, что цели предприятия являются продуктом размышления множества лиц — владельца предприятия, а также команды менеджеров высшего и среднего звена, принимающих участие в разработке стратегии. Это порождает проблему согласования множества целей и перехода от индивидуальных ментальных моделей к коллективному, командному знанию.

В-третьих, трудности применения когнитивного подхода заключаются еще и в том, что эффективность этого подхода ограничена психофизиологическими возможностями человека [23].

Соответственно, количество целей должно быть ограничено этими возможностями. Но, с другой стороны, анализируемое множество целей должно покрывать практически все аспекты функционирования предприятия. Для решения возникающей при этом «проблемы размерности» лучше других подходит BSC-подход. Однако трудности экспликации, о которых упоминалось выше, ставят серьезные ограничения при его практическом использовании. Неизбежными при этом оказываются вопрос, связанный с разумной детализацией проблемного поля задачи, и вопрос редукции целей, связанный с исключением из рассмотрения мало-значимых целей.

Анализ показал, что перечисленные трудности применения когнитивного подхода могут быть преодолены. Хорошие перспективы для преодоления этих трудностей открывают модели экспериментальной психосемантики [24, 25], которые в послед-

ние годы находят все более широкое применение в социальных и экономических исследованиях.

Экспериментальная психосемантика — это одно из направлений когнитивной науки, изучающее различные формы представления объектов окружающего мира в индивидуальном сознании человека (образы, символы, вербальные формы). Основным методом экспериментальной психосемантики является построение так называемых «субъективных семантических пространств» (модельных представлений индивида об объектах мира) путем неметрического многомерного шкалирования [26–28]. Это метод вынесения субъективных оценок, когда испытуемому (эксперту) предлагается оценить какой-либо объект по набору признаков с использованием шкал, образованных с помощью словесных градаций. Шкалирование в этом контексте отличается от единичного измерения тем, что позволяет по отдельным наблюдениям воссоздать целостный образ анализируемого объекта. Важным достоинством метода является то, что он позволяет выявлять наличие у экспертов разных точек зрения на анализируемый объект и согласовать их мнения на синтаксическом и семантическом уровнях. При этом различия между оценками экспертов не рассматриваются как ошибки эксперимента, а важны сами по себе.

Использование моделей психосемантики дает важное преимущество. Появляется возможность применять смешанный подход к формированию целей, в котором эффективно сочетаются положительные стороны метода интервьюирования (максимально расширяющего пространство поиска целей), метода анкетирования (предполагающего описание целей в единых терминах), SMART-технологии (учитывающей многокритериальный характер целей) и концепции BSC (структурирующей проблемное поле целевого анализа).

Разработанная нами технология генерации и анализа целей учитывает эти ключевые моменты. Ниже дается общее описание технологии и приводится демонстрационный пример ее практического применения. Обсуждаются возможности и перспективы когнитивного выбора целей.

3.2. Блок-схема технологии генерации и анализа целей

Блок-схема технологии генерации и анализа целей, представленная на *рисунке 1*, показывает последовательность шагов, реализующих процесс формирования целей.

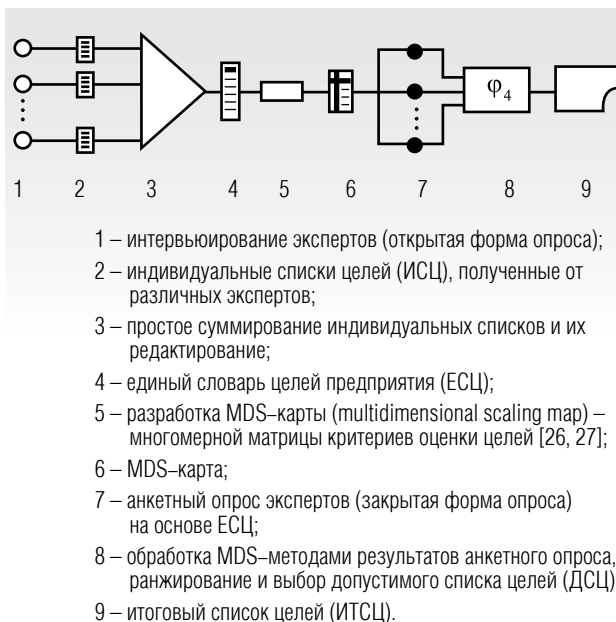


Рис. 1. Блок-схема технологии генерации и анализа целей

3.3. Метод согласования целей

Основу метода согласования целей составляют дистанционные модели неметрического многомерного шкалирования на основе евклидовой метрики [27, 28], отвечающие условиям рассматриваемой нами задачи. Схема согласования целей в этом случае выглядит следующим образом:

$$C = \langle I, P, Z, E, \Phi \rangle,$$

где **I** — наименование цели;

P — множество признаков (мерностей) цели;

Z — неметрические шкалы оценки признаков;

E — индивидуальные оценки целей по каждому из признаков, сделанные различными экспертами;

Φ — MDS-алгоритм обработки индивидуальных оценок и определения степени согласованности целей.

Алгоритм работы метода может быть проиллюстрирован на следующем примере.

Пусть имеется опросная карта (MDS-карта), представляющая собой (для наглядности и простоты изложения) матрицу двумерного шкалирования целей по признакам: «Значимость бизнес-цели» и «Возможность достижения бизнес-цели» с точки зрения менеджмента. Каждый из признаков оценивается по лингвистической шкале: «высокая», «средняя», «низкая». Пусть число экспертов

равно M . Каждый из экспертов помещает цели из единого словаря целей (ЕСЦ) в ту или иную ячейку матрицы в соответствии с его представлениями о значимости и возможности достижения цели. Очевидно, что в некоторые ячейки матрицы могут попасть несколько целей, а в некоторые – ни одной. Будем обозначать через m_{ij} число экспертов, поместивших одну и ту же цель в ячейку (i, j) . При этом $\sum m_{ij} = M$.

После заполнения каждым из экспертов матрицы проводится агрегирование полученных оценок. Для этого каждой клетке относительно каждой цели ($c \in C$) приписывается вес $\lambda_{ij}^c = m_{ij} / M$, $\lambda_{ij}^c = [0, 1]$, который, по сути, является двумерной функцией плотности распределения мнений экспертов. Для учета рассогласованности мнений вводится мера, называемая коэффициентом рассогласованности (K^c), которая характеризует степень рассогласованности мнений менеджмента по поводу цели c .

Если бы мнения экспертов относительно цели c совпадали бы, и все они заполнили бы, например, ячейку $(2, 3)$, то коэффициент K^c оказался бы равен нулю, а координаты этого мнения были бы равны $(2, 3)$. Но поскольку мнения экспертов «размыты» по матрице, для оценки степени рассогласованности надо найти среднюю абсциссу I^c , среднюю ординату J^c и коэффициент рассогласованности K^c . Так как функция плотности распределения мнений уже определена, эти величины находятся по следующим формулам:

Средняя абсцисса рассогласованности:

$$I^c = \sum_{ij} \lambda_{ij}^c \cdot i;$$

Средняя ордината рассогласованности:

$$J^c = \sum_{ij} \lambda_{ij}^c \cdot j;$$

Коэффициент рассогласованности:

$$K^c = \sum_{ij} \lambda_{ij}^c \cdot \sqrt{(i - I)^2 + (j - J)^2}.$$

3.4. Правила ранжирования целей

На основе коэффициента K^c могут быть установлены следующие правила ранжирования целей.

Правило 1. Если $K^c < 0,5$, то степень рассогласованности мнений менеджмента по данной цели c является низкой, и цель c может быть включена в ИТСЦ;

Правило 2. Если $K^c = [0,5; 0,75]$, то имеет место неопределенность и требуется дополнительная проработка вопроса о включении цели c в ИТСЦ;

Правило 3. Если $K^c > 0,75$, то степень рассогласованности мнений по данной цели c высокая, и цель не может быть включена в ИТСЦ (менеджмент не воспринимает данную цель как цель и в любом случае фактически исключит ее из формируемой стратегии).

4. Пример применения технологии

Представленная технология была использована в ряде реальных проектов. В *таблице 1* приведены результаты применения технологии при выборе бизнес-целей птицеводческого предприятия одного из агрохолдингов г. Баку. При этом в качестве бизнес-целей предприятия рассматривались следующие (в скобках указаны соответствующие коэффициенты рассогласованности K^c):

1. Увеличение объемов производства бройлерной продукции до 4500 т/г, инкубационных яиц до 10 млн шт./г ($K^c = 0,3$);
2. Увеличение рыночной доли предприятия в 2013–2017 годах на внутреннем рынке до 15 % ($K^c = 0,32$);
3. Достижение годового объема реализации продукции до 17,5 млн манат ($K^c = 0,33$);
4. Внедрение новой маркетинговой стратегии и создание широкой сети реализации продукции ($K^c = 0,58$);
5. Повышение квалификации производственного персонала ($K^c = 0,32$);
6. Модернизация технологического оборудования ($K^c = 0,59$);
7. Использование новых продуктивных пород птицы ($K^c = 0,69$);
8. Привлечение международных экспертов по стратегическому менеджменту ($K^c = 0,53$);
9. Разработка и внедрение новых кормовых рационов ($K^c = 0,67$).

Условные обозначения в таблице: $X(Y)$, где X – номер цели, Y – число экспертов, расположивших цель в той или иной ячейке.

Из таблицы видно, что тестирование единого словаря целей позволило на основе анализа коэффициентов K^c , выявить наличие согласованного мнения только относительно части целей (четырёх из

Таблица 1.

**Оценка и ранжирование бизнес-целей
птицеводческого предприятия**

		Значимость бизнес-цели		
		Высокая	Средняя	Низкая
Возможность достижения бизнес-цели	Высокая	1 (4); 5 (4); 6 (2); 7 (2); 8 (2); 9 (1)	4 (1); 6 (1); 9 (2)	
	Средняя	1 (1); 2 (4); 3 (4); 4 (3); 5 (1); 6 (1); 8 (1); 9 (2)	3 (1); 4 (1); 7 (2)	
	Низкая	2 (1); 6 (1)		

девятой), а именно — целей с номерами 1, 2, 3 и 5 (у всех этих целей значения коэффициента рассогласованности K^c составляют от 0,3 до 0,33, что позволяет считать степень рассогласованности мнений менеджеров низкой). Относительно оставшихся целей менеджмент не может определиться ни с их значимостью, ни с возможностью их реализации. Следовательно, их включение в бизнес-стратегию либо неэффективно, либо процедура анализа целей требует дополнительной итерации.

5. Обсуждение

5.1. Степень рассогласованности мнений менеджеров

Практика применения предложенной технологии показала, что при оценке степени рассогласованности мнений менеджмента могут иметь место различные исходы:

1) мнения менеджеров полностью рассогласованы, и нельзя выделить группы менеджеров, имеющих близкие мнения. В этом случае результаты целевого анализа, очевидно, не пригодны для принятия решения. В зависимости от конкретной ситуации следует признать попытку анализа неудачной или провести повторный анализ. Повторный анализ целесообразно проводить с учетом возможных причин неудачи, например, таких, как недостаточно корректно сформулированные цели, неудачно выбранные шкалы оценки целей, неудачная попытка создания подходящей психологической и материальной обстановки, наличие у менеджеров скрытых личных и групповых интересов и др.;

2) оценки менеджеров разбиваются на несколько групп, внутри каждой из которых согласованность достаточно высока, но в целом по команде менед-

жеров она низкая. Логично предположить, что это обусловлено различными методологическими подходами или различными социальными группами. В этом случае мнения менеджеров обычно не всегда удается согласовать даже в ходе длительных обсуждений. Лицу, принимающему решение, могут быть представлены сформированные групповые оценки с соответствующими комментариями;

3) групповая оценка характеризуется высокой согласованностью. Такую оценку можно представить лицу, принимающему решение, но при этом имеет смысл проанализировать возникшие крайние мнения (какой процент менеджеров их придерживается, как они обосновывают свои мнения, какой будет оценка степени рассогласованности, если их не учитывать).

Таким образом, ситуации, с которыми сталкивается менеджмент при формировании набора целей предприятия, достаточно разнообразны. Поэтому в зависимости от конкретной ситуации описанная выше технология поддержки может дополняться всеми доступными источниками теоретической и справочной информации для расчетов и дополнительного анализа.

5.2. Выбор целей

Проблемное поле задачи выбора целей является весьма обширным. Достаточно взглянуть на структуру BSC-карты, чтобы убедиться, что решить задачу «в целом» практически невозможно. Здесь разработчики стратегии сталкиваются с известной проблемой, о которой повествует древнеиндийская притча о семи слепых монахах, встретивших слона, — проблемой, которая является неизбежной спутницей всех сложных проектов. Для решения проблемы в идеологии когнитивного подхода предложена «метафора кинокамеры» [29], которая скользит по «картине мира» и по воле оператора избирательно фиксирует фрагменты этого мира, увеличивая или уменьшая масштаб того фрагмента, который его интересует. Данная метафора, безусловно, продуктивна, но она должна быть дополнена весьма важным элементом. Исследуя фрагмент мира, аналитик (и только он) может осуществлять одновременный интуитивный контроль всего проблемного поля в целом — исследовать все аспекты проблемы и понять, как они соотносятся с задачей, решаемой в рамках выделенного фрагмента. Это обстоятельство носит принципиальный характер и указывает

на то, что когнитивный подход должен носить интерактивный характер, а его использование в качестве локальной компьютерной программы (как это происходит в экспертных системах [30] и в многочисленных исследованиях по когнитивному моделированию¹) некорректно.

Когнитивные модели должны использоваться в качестве исследовательского инструмента и быть открытыми для контекстного анализа человеком.

5.3. Слои BSC-карты

Предложенная технология выбора целей может проводиться для всех четырех слоев BSC-карты. Однако всякий раз при решении каждой отдельной локальной задачи менеджеры должны контролировать изменения ее параметров в контексте возможных изменений в других «связанных» фрагментах проблемного поля.

5.4. Контекстный анализ

Сегодня, в условиях растущей сложности экономических отношений, принято говорить о возрастании роли контекста [31]. Именно контекстный анализ в ходе формирования целей и является вызовом и требованием сегодняшней управленческой практики. Умение правильно учитывать контекст на базе знания когнитивных технологий предъявляет повышенные требования не только к базовой подготовке менеджеров, но и к их интуиции. Если овладение технологиями когнитивного анализа выдвигает особые требования к профессиональной подготовке разработчиков стратегии, то умение «встраивать» эти технологии в конкретный контекст требует развитой интуиции. Это — уже некое

новое качество разработчиков стратегии, достичь которого на базе традиционной системы профессиональной подготовки затруднительно. По сути, речь идет о широко обсуждаемом в последнее время вопросе пересмотра программ бизнес образования.

Заключение

Практика показывает, что при разработке стратегии предприятия наиболее уязвимым, с точки зрения потери эффективности, часто оказывается этап, связанный с переходом от стратегического видения и миссии предприятия к формулированию его бизнес-целей.

Наибольшие трудности здесь возникают при переходе от индивидуальных мнений топ-менеджеров к согласованному (командному) мнению.

Этот вопрос в стратегическом менеджменте в настоящее время не имеет достаточно эффективных инструментов поддержки принятия коллективных и согласованных решений. Предлагаемая в статье технология поддержки, основанная на моделях психосемантики и методе неметрического многомерного шкалирования, реализует сквозную процедуру объективизации субъективных мнений менеджмента о целях предприятия и позволяет перейти от индивидуальных знаний к согласованному командному знанию. В реальных условиях (разный профессиональный опыт, разный уровень квалификации, противоречивость мнений, наличие личных и групповых интересов) технология может служить эффективным комби-инструментом, дополняющим известные инструменты поддержки, и, соответственно, быть весьма полезной для правильного выбора стратегии предприятия в современных сложных экономических условиях. ■

Литература

1. Drucker P.F. Management challenges for the 21st century. N.Y.: Harper Business, 2001.
2. Клейнер Г.Б. Стратегия предприятия. М.: Дело, 2008.
3. Исаев Д.В. Рациональная модель стратегического управления // Финансовая газета. 2008. № 25 (861). С. 14–15; № 26 (862) С. 12.
4. Макаров И.М., Виноградская Т.М., Рубчинский А.А., Соколов В.Б. Теория выбора и принятия решений. М.: Наука, 1982.
5. Лесков С.Л. Мозговой штурм. М.: МГУ, 2012.
6. Bogue R.L. Use S.M.A.R.T. goals to launch management by objectives plan // Tech. Republic, 2005. [Электронный ресурс]: <https://www.techrepublic.com/article/use-smart-goals-to-launch-management-by-objectives-plan/> (дата обращения: 20.11.2013).
7. Kaplan R.S., Norton D.P. The balanced scorecard: Translating strategy into action. Boston: Harvard Business School Press, 1996.
8. Miller G. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information // Psychological Review. 1955. Vol. 101. No 2. P. 343–352.
9. Walsh J. Selectivity and selective perception: An investigation of managers' belief structures and information processing // Academy of Management Journal. 1988. Vol. 31. No 4. P. 873–893. DOI: 10.5465/256343.

¹ International Conference on Cognitive Modelling (<https://iccm-conference.github.io/previous.html>)

10. Markiczy L., Goldberg J. A method for eliciting and comparing causal maps // *Journal of Management*. 1995. Vol. 21. No 2. P. 305–333. DOI: 10.1177/014920639502100207.
11. Loo R. The Delphi method: a powerful tool for strategic management // *Policing: An International Journal of Police Strategies & Management*. 2002. Vol. 25. No 4. P. 762–769. DOI: 10.1108/13639510210450677.
12. Isaksen S.G. (1988) A review of brainstorming research: Six critical issues for inquiry // *Creative Problem Solving Group*, Buffalo, 1988. [Электронный ресурс]: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Review-of-Brainstorming-Research%3A-Six-Critical-Isaksen/4abc961cb62e8b230f9683125e984eec3550caa4> (дата обращения: 22.06.2016).
13. Furnham A. The brainstorming myth // *Business Strategy Review*. 2000. Vol. 11. No 4. P. 21–28. DOI: 10.1111/1467-8616.00154.
14. Paulus P., Dzindolet M. Social influence processes in group brainstorming // *Journal Personality and Social Psychology*. 1993. Vol. 64. No 4. P. 575–586. DOI: 10.1037/0022-3514.64.4.575.
15. Schwenk C.R. The cognitive perspective on strategic decision making // *Journal of Management Studies*. 1988. Vol. 25. No 1. P. 41–55. DOI: 10.1111/j.1467-6486.1988.tb00021.x.
16. Narayanan V.K., Zane L.K., Kemmerer B. The cognitive perspective in strategy: An integrative review // *Journal of Management*. 2011. Vol. 37. No 1. P. 305–323. DOI: 10.1177/0149206310383986.
17. Karayev R.A. Cognitive approach and its application to the modeling of strategic management of enterprises // *Knowledge engineering: Principles, methods and applications* (Ed. Alfonso Perez Gama). N.Y.: Nova Science, 2015. P. 79–101.
18. Johnson-Laird P.N. Mental models in cognitive science // *Cognitive Science*. 1980. Vol. 4. No 1. P. 71–115. DOI: 10.1207/s15516709cog0401_4.
19. Johnson P., Daniels K., Asch R. Mental models of competition // *Managerial and organizational cognition: Theory, methods and research* (Eds. C. Eden, J.-C. Spender). London: SAGE Publishing, 1998. P. 130–146.
20. Gary M.S., Prietula M.J., Feltovich P. Mental models as the interface between the business environment and strategic decisions // *Academy of Management Proceedings*. 2017. No 1. DOI: 10.5465/AMBPP.2017.14588abstract.
21. Pribram K.H. *Languages of the brain. Experimental paradoxes and principles in neuropsychology*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1971.
22. Брушлинский А.В. Мышление и прогнозирование. Москва: Мысль, 1979.
23. Bays P.M., Husain M. Dynamic shifts of limited working memory resources in human vision // *Science*. 2008. Vol. 321. No 5890. P. 851–854. DOI: 10.1126/science.1158023.
24. Петренко В.Ф. Основы психосемантики. СПб.: Питер, 2005.
25. Петренко В.Ф. Многомерное сознание: психосемантическая парадигма. М.: Эксмо, 2013.
26. Young F.W. Nonmetric multidimensional scaling: Recovery of metric information // *Psychometrika*. 1970. Vol. 35. No 4. P. 455–473.
27. Green P.E., Carmone F.J., Smith S.M. *Multidimensional scaling: Concepts and applications*. London: Allyn and Bacon, 1989.
28. Толстова Ю.Н. Основы многомерного шкалирования. М.: Университет, 2006.
29. Mintzberg H., Lampel J., Ahlstrand B. *Strategy safari: A guide tour through the wilds of strategic management*. N.Y.: Free Press, 2005.
30. Waterman D.A. *Guide on expert systems*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1986.
31. Балацкий Е. Диалектика познания и новая парадигма экономической науки // *Мировая экономика и международные отношения*. 2006. № 7.

Об авторе

Караев Роберт Асадулла оглы

доктор технических наук; профессор Международной Экоэнергетической Академии;
руководитель лаборатории моделирования экологических систем, Институт систем управления,
Национальная академия наук Азербайджанской Республики,
Азербайджанская Республика, AZ1141, г. Баку, ул. Б. Вагабзаде, д. 9;
E-mail: karayevr@rambler.ru

Cognitive analysis and choice of an enterprise's strategic goals

Robert A. Karayev

E-mail: karayevr@rambler.ru

Institute of Control Systems, Azerbaijan National Academy of Sciences
Address: 9, B. Vahabzade Street, Baku AZ1141, Azerbaijan

Abstract

One of the most crucial and vulnerable stages of strategic management is the cognitive stage associated with the transformation of the strategic vision and of the enterprise's mission into its strategic goals. At this stage, management is faced with the problem of developing a coordinated collective opinion on the content of the goals being formed and with the problem of objective assessment of their effectiveness. The difficulties here are due to the phenomenological features of the stage, such as the informal nature of the transformation procedure, the multi-criteria nature of goals, numerous uncertainties and risks exacerbated by the increased variability of business environments, cognitive barriers caused by linguistic discrepancies and differences in the professional experience of strategy developers. Such features of the stage ultimately lead to ambiguous decisions regarding the content of goals and ambiguous assessments of their effectiveness. In these circumstances, traditional support tools (numerous versions of expert methods, brainstorming, Norton and Kaplan's BSC, SMART technology, etc.) face serious limitations. This paper proposes a cognitive technology for forming a coordinated set of the enterprise's business goals that to a large extent takes into account the features of the given stage. The technology is a single procedure integrating the capabilities of traditional support tools and expanding the creative potential of support based on psychosemantic models and nonmetric multidimensional scaling methods. The results of a real study conducted at a number of enterprises show that cognitive technologies open up new prospects for goal analysis. They can serve as a useful complement to existing support tools and contribute to the design of more effective and realistic business strategies.

Key words: strategic goals; analysis and choice technology; cognitive approach.

Citation: Karayev R.A. (2019) Cognitive analysis and choice of an enterprise's strategic goals. *Business Informatics*, vol. 13, no 4, pp. 28–38. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.4.28.38

References

1. Drucker P.F. (2001) *Management challenges for the 21st century*. N.Y.: Harper Business.
2. Kleiner G.B. (2008) *Enterprise strategy*. Moscow: Delo (in Russian).
3. Isaev D.V. (2008) The Rational model of strategic management. *Financial Weekly*, no 25, pp. 14–15; no 26, p. 12 (in Russian).
4. Makarov I.M., Vinogradskaya T.M., Rubchinsky A.A., Sokolov V.B. (1982) *Theory of choice and decision making*. Moscow: Nauka (in Russian).
5. Leskov S.L. (2012) *Brainstorming*. Moscow: MSU (in Russian).
6. Bogue R.L. (2005) *Use S.M.A.R.T. goals to launch management by objectives plan*. Available at: <https://www.techrepublic.com/article/use-smart-goals-to-launch-management-by-objectives-plan/> (accessed 20 November 2013).
7. Kaplan R.S., Norton D.P. (1996). *The balanced scorecard: Translating strategy into action*. Boston: Harvard Business School Press.
8. Miller G. (1955) The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, vol. 101, no 2, pp. 343–352.
9. Walsh J. (1988) Selectivity and selective perception: An investigation of managers' belief structures and information processing. *Academy of Management Journal*, vol. 31, no 4, pp. 873–893. DOI: 10.5465/256343.
10. Markiczy L., Goldberg J. (1995) A method for eliciting and comparing causal maps. *Journal of Management*, vol. 21, no 2, pp. 305–333. DOI: 10.1177/014920639502100207.
11. Loo R. (2002) The Delphi method: a powerful tool for strategic management. *Policing: An International Journal of Police Strategies & Management*, vol. 25, no 4, pp. 762–769. DOI: 10.1108/13639510210450677.
12. Isaksen S.G. (1988) *A review of brainstorming research: Six critical issues for inquiry*. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Review-of-Brainstorming-Research%3A-Six-Critical-Isaksen/4abc961cb62e8b230f9683125e984eec3550caa4> (accessed 22 June 2016).
13. Furnham A. (2000) The brainstorming myth. *Business Strategy Review*, vol. 11, no 4, pp. 21–28. DOI: 10.1111/1467-8616.00154.
14. Paulus P., Dzindolet M. (1993) Social influence processes in group brainstorming. *Journal Personality and Social Psychology*, vol. 64, no 4, pp. 575–586. DOI: 10.1037/0022-3514.64.4.575.
15. Schwenk C.R. (1988) The cognitive perspective on strategic decision making. *Journal of Management Studies*, vol. 25, no 1, pp. 41–55. DOI: 10.1111/j.1467-6486.1988.tb00021.x.
16. Narayanan V.K., Zane L.K., Kemmerer B. (2011) The cognitive perspective in strategy: An integrative review. *Journal of Management*, vol. 37, no 1, pp. 305–323. DOI: 10.1177/0149206310383986.
17. Karayev R.A. (2015) Cognitive approach and its application to the modeling of strategic management of enterprises. *Knowledge engineering: Principles, methods and applications* (Ed. Alfonso Perez Gama). N.Y.: Nova Science, pp. 79–101.
18. Johnson-Laird P.N. (1980) Mental models in cognitive science. *Cognitive Science*, vol. 4, no 1, pp. 71–115. DOI: 10.1207/s15516709cog0401_4.
19. Johnson P., Daniels K., Asch R. (1998) Mental models of competition. *Managerial and organizational cognition: Theory, methods and research* (Eds. C. Eden, J.-C. Spender). London: SAGE Publishing, pp. 130–146.

20. Gary M.S., Prietula M.J., Feltovich P. (2017) Mental models as the interface between the business environment and strategic decisions. *Academy of Management Proceedings*, no 1. DOI: 10.5465/AMBPP.2017.14588abstract.
21. Pribram K.H. (1971) *Languages of the brain. Experimental paradoxes and principles in neuropsychology*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
22. Brushlinsky A.V. (1979) *Thinking and prediction*. Moscow: Myisl (in Russian).
23. Bays P.M., Husain M. (2008) Dynamic shifts of limited working memory resources in human vision. *Science*, vol. 321, no 5890, pp. 851–854. DOI: 10.1126/science.1158023.
24. Petrenko V.F. (2005) *The basics of psychosemantics*. Saint-Petersburg: Piter (in Russian).
25. Petrenko V.F. (2013) *Multidimensional consciousness: A psychosemantic paradigm*. Moscow: Eksmo (in Russian).
26. Young F.W. (1970) Nonmetric multidimensional scaling: Recovery of metric information. *Psychometrika*, vol. 35, no 4, pp. 455–473.
27. Green P.E., Carmone F.J., Smith S.M. (1989) *Multidimensional scaling: Concepts and applications*. London: Allyn and Bacon.
28. Tolstova Yu.N. (2006) *Basics of multidimensional scaling*. Moscow: University (in Russian).
29. Mintzberg H., Lampel J., Ahlstrand B. (2005) *Strategy safari: A guide tour through the wilds of strategic management*. N.Y.: Free Press.
30. Waterman D.A. (1986) *Guide on expert systems*. Reading, MA: Addison-Wesley.
31. Balatsky E. (2006) The dialectic of cognition and the new paradigm of economic science. *World Economy and International Relations*, no 7 (in Russian).

About the author

Robert A. Karayev

Dr. Sci. (Tech.);

Professor, Head of Ecosystems Modeling Laboratory, Institute of Control Systems,
Azerbaijan National Academy of Sciences, 9, B. Vahabzade Street, Baku AZ1141, Azerbaijan;
E-mail: karayevr@rambler.ru

Исследование остаточных артефактов Viber и Telegram в операционной системе Windows

А.И. Бородин^a 

E-mail: aib-2004@yandex.ru

Р.Р. Вейнберг^a 

E-mail: veynberg@gmail.com

Д.В. Писарев^b

E-mail: d.pisarev@warwick.ac.uk

О.В. Литвишко^a

E-mail: Litvishko.OV@rea.ru

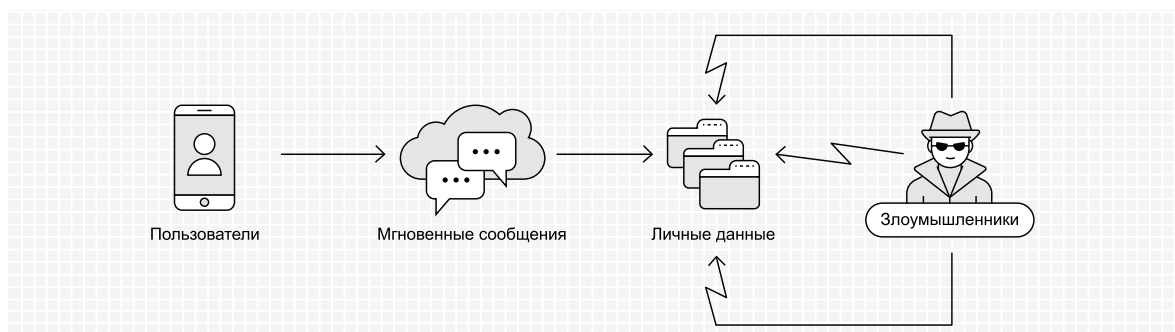
^a Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова
Адрес: 117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36

^b Университет Варвик
Адрес: Великобритания, CV4 7AL, Ковентри

Аннотация

В настоящее время мессенджеры используются весьма часто, причем как на мобильных устройствах, так и на традиционных компьютерах. Начав с небольших служб обмена текстовыми сообщениями, они превратились в эффективные каналы связи для частных и корпоративных пользователей, и это нечто большее, чем просто альтернатива SMS. Пользователи доверяют мессенджерам большие объемы информации, включая сведения об их повседневной деятельности, фотографии и другие личные данные. Мессенджеры изменили способ общения: они уменьшают расстояние до пользователя. Однако вместе с социальными сетями они также становятся инструментами для мошенничества, спама, шантажа и терроризма. В связи с этим крайне важно изучать мессенджеры с криминалистической точки зрения. В настоящем исследовании рассматриваются и сравниваются два популярных мессенджера Viber и Telegram, которые быстро завоевали популярность среди криминальных элементов и даркнета как инструменты для защищенных сообщений. Основная цель исследования состоит в том, чтобы выявить и проанализировать потенциальные артефакты, остающиеся при установке и использовании мессенджеров, а также после их удаления. Авторами проведено несколько экспериментов по исследованию артефактов в разных средах, с четким объяснением результатов. Результаты показали, что, несмотря на мнение о безопасности мессенджера Telegram, после полной деинсталляции приложения важные пользовательские материалы все же остаются на жестком диске и в реестре. Изучение артефактов Viber показало информацию, которая помогает восстановить всю историю общения пользователя. Более того, исследование подтвердило, что артефакты остаются доступными в Windows после удаления приложения.

Графическая аннотация



Ключевые слова: мессенджер; информатика; моделирование; эксплойт; артефакт; Viber; Telegram.

Цитирование: Бородин А.И., Вейнберг Р.Р., Писарев Д.В., Литвишко О.В. Исследование остаточных артефактов Viber и Telegram в операционной системе Windows // *Бизнес-информатика*. 2019. Т. 13. № 4. С. 39–48. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.4.39.48

Введение

В последние годы приложения для обмена мгновенными сообщениями (instant messengers, IM) приобрели популярность благодаря тому, что они являются бесплатными и простыми в использовании. В настоящее время это один из самых удобных способов обмена текстовыми сообщениями, файлами и видео, а также осуществления аудио- и видео-звонков. Согласно результатам исследования [1], к концу 2019 года количество общемировых учетных записей пользователей IM возрастет до 3,8 миллиардов.

Растущая популярность использования мессенджеров также имеет негативный характер, что объясняется использованием данной технологии в различных криминальных действиях, таких как мошенничество или терроризм [2]. Мессенджеры привлекают преступников благодаря возможности упростить общение с жертвами или сообщниками, а также ввиду наличия сквозного шифрования и других способов защиты информации, которая может потребоваться властям для расследования преступления, что может защитить злоумышленников от правосудия.

Однако приложения IM для ОС Windows, несмотря на повышенный уровень шифрования и безопасности, могут предоставить потенциальному исследователю много полезного материала. Артефакты могут отображать сведения о последней дате запуска, SSID-номере беспроводной сети, подключенной к персональному компьютеру, исходящих

соединениях, данных геолокации и другую важную информацию.

В рамках данного исследования проведена экспертиза популярных мессенджеров Viber и Telegram, с анализом артефактов, создаваемых приложениями IM. Интерес к мессенджерам продолжает расти, и приложения для обмена мгновенными сообщениями стали предметом различных цифровых криминалистических исследований.

Авторы исследования [3] проверили поведение пользователя по остаточным данным в облачных синхронизированных приложениях. Связь между злоумышленником и его потенциальной жертвой моделировалась, например, в среде передачи файлов и проведения диалогов. Результаты исследования показали, что артефакты, оставшиеся в реестре, могут связать преступника и жертву, например, остаются следы передачи файлов между пользователями и записи в реестре, связанные с контактными данными. Более того, фрагменты разговора можно восстановить из дампа памяти мессенджера. Те же авторы [3] проанализировали остаточные данные, имитируя разговор и передачу файлов между потенциальным преступником и его жертвой. Фрагменты разговора были найдены в файле подкачки Windows 7, но исследование мобильного устройства не дало много полезной информации. В результате был представлен широкий список артефактов (таких как ссылки на URL-адреса и время последнего доступа), которые могут быть полезны для судебно-медицинских и криминалистических экспертов.

Авторы работы [4] протестировали Windows Live Messenger, установленный на Windows 7. Результаты показывают, что оставшиеся артефакты позволяют восстановить всю картину общения. Кроме того, пользователь должен иметь высокую квалификацию, чтобы скрыть их.

Авторы работы [5] опубликовали информацию о мессенджере Yahoo. В качестве платформ использовались операционные системы Windows Vista и Windows 7. После деинсталляции проводилось сравнение артефактов, оставленных мессенджерами в разных ОС. Исследование показало, что структура изменений в реестре Windows 7 была менее заметна по сравнению с Windows XP.

Мессенджеры в социальных сетях также привлекли внимание исследователей из-за возросшей популярности. Авторы работы [6] изучали чаты на базе веб-технологий в качестве источника потенциальных доказательств для проведения расследований. Эта статья содержит информацию о возможных артефактах, но их расположение зависит от браузера и кодировки. В исследовании был описан метод изучения артефактов с символикой арабских букв, но поиск и преобразование их в читабельный вид может занять довольно много времени. Тем не менее, исследование ограничивается только сетевым чатом Facebook.

Авторы работы [7] изучили агрегатор мгновенных сообщений Digsby для извлечения пользовательских сессий, чтобы использовать их в целях расследования несанкционированного доступа, несмотря на попытки скрыть информацию от исследователя. Результаты были похожи на результаты традиционных приложений для обмена мгновенными сообщениями.

Авторы работы [8] изучали возможность расшифровки трафика во время обмена сообщениями в WhatsApp и получения подробных данных о вызовах. В рамках исследования был представлен новый подход к расшифровке информации и было обнаружено, что звонки могут быть расшифрованы. Однако сквозное шифрование было изменено WhatsApp в 2016 году и сделало предложенный авторами метод неактуальным.

В последнее время акцент в исследованиях сместился на социальные сети и кроссплатформенные мессенджеры.

Авторы работы [9] изучили три разных приложения: Facebook, Viber и Skype на платформе Windows 10 и исследовали возможность поиска в них арте-

фактов. Результат исследования показал, что многие артефакты хранятся в одной папке `\AppData\Local\Packages\` для всех сторонних приложений. Более того, для всех приложений были найдены артефакты, сохраненные в виде текстовых файлов. Наиболее важными находками, имеющими отношение к судебной экспертизе, были распространенные артефакты, оставшиеся в тестовых приложениях.

Авторы работы [10] изучали мессенджеры Facebook и Skype. Результаты показали, что артефакты могут быть восстановлены с персонального компьютера с использованием Магазина Windows. Приложения были установлены с помощью Магазина Windows, оставляя ценные или критические элементы для расследования на жестком диске, в дампах памяти и сетевых файлах.

Количество исследований, в которых проводится целенаправленное сравнение защищенных мессенджеров, таких как Telegram и другие широко используемые IM-приложения (например, Viber в среде Windows), ограничено. Telegram был исследован в работах [11, 12] на предмет его использования в террористической деятельности. Результаты могут представлять большую ценность для судебных аналитиков, но эти исследования ограничены только мобильными устройствами. В результате необходимо заполнить имеющийся пробел и изучить артефакты, которые приложение Telegram оставляет в среде Windows, по сравнению с Viber — другим известным защищенным мессенджером.

1. Методы

Данный раздел содержит информацию о тестах, которые были проведены с мессенджерами Viber и Telegram. Эксперимент проводился на ОС Windows 10, установленной в среде виртуальной машины. Для исследования были созданы пользователь Windows с правами администратора («user_a») и две новые учетные записи IM (одна для Viber и одна для Telegram). Каждое из приложений чата было установлено в Windows. Работа с мессенджерами во время эксперимента осуществлялась с использованием личной учетной записи автора.

Артефакты были исследованы в ходе серии контролируемых экспериментов. Все изменения конфигурации были одинаковым образом использованы для обоих мессенджеров. Подробное описание сценария и среды предоставлено ниже.

1.1. Экспериментальное окружение

В статье анализируются артефакты, произведенные двумя мессенджерами – Viber 6.9.6 и Telegram 1.1.23. Эксперимент был проведен на следующем оборудовании: HP Z620 Workstation, CPU – Intel(R) Xeon(R) 2x E5-2660 2.20GHz, 16 Gb DIMM DDR3 (1866 MHz), 2TB жесткий диск с Ubuntu v.16.04.6 в качестве операционной системы (OS).

Oracle Virtual Box (5.1.30 r118389 Qt5.6.3) содержит Windows 10 Education (64bit, built 15063) и был выбран в качестве платформы для проведения эксперимента. Виртуальная платформа сконфигурирована с 4 GB RAM и 20 GB дискового пространства. Использование виртуальной машины помогло сделать значительное количество снимков экрана и быстро вернуться к точке восстановления. Такой подход оставляет исследователю больше возможностей для изучения ошибок при работе с артефактами.

Данные реестра и файлов были собраны с помощью Regshot Portable v.1.9.0, который позволяет делать снимок реестра до и после действий пользователя и сравнить полученные результаты. Средство с открытым исходным кодом SQLite DB Browser v3.10.1-win64 использовалось для изучения деталей базы данных. Это помогает искать, анализировать и редактировать данные и метаданные в *.db файлах.

RegRipper v2.8 был использован в качестве инструмента, который помогает определять активность пользователя через анализ файла NTUSER.DAT. Файл предоставляет очень полезную информацию (включая ключи LastWrite и данные, полученные из двоичных и строковых значений), указывая на какие-либо действия пользователя. Плагин RegRipper userassist.pl обрабатывает ключ UserAssist, который включает в себя 64-битную метку времени, а также счетчик (называемый «счетчиком прогонов»), который указывает сколько раз пользователь взаимодействовал с командной строкой, когда и как эти значения были созданы или изменены. Все программные приложения были установлены с настройками по умолчанию и удалены с помощью стандартного деинсталлятора Windows.

1.2. Экспериментальные процедуры

На первом этапе эксперимента была создана виртуальная машина с использованием Virtual Box, содержащего установленную Windows 10. Система была установлена с конфигурацией по умолчанию, а служба обновления Windows была отключена на рабочей станции для уменьшения количества

артефактов, не связанных с экспериментом. Были установлены аналитические инструменты и создан снимок с помощью Virtual Box. Снимок был использован в качестве «отправной точки» исследования для каждого приложения IM.

Второй этап включал установку приложения IM для сбора и сравнения данных реестра и файлов с помощью Regshot. Снимки выполнены для каждого приложения IM и его состояния, перечисленного ниже в хронологическом порядке:

1. Незамедлительно перед установкой мессенджеров;
2. Незамедлительно после установки мессенджеров;
3. До и после изменения конфигурационных файлов ОС и приложений:
 - ◆ переключения на немецкий язык;
 - ◆ отключения автоматического скачивания всех медиа-файлов;
 - ◆ включения автозагрузки;
 - ◆ изменения обоев рабочего стола приложения;
 - ◆ деактивации / выхода из мессенджера;
4. Незамедлительно перед удалением IM приложения;
5. Незамедлительно после удаления IM приложения.

Связь между злоумышленником и жертвой была эмулирована путем отправки простого файла изображения. Снимок реестра был сделан до и после активности. Локальные базы данных мессенджеров были сохранены для дальнейшего исследования SQLite DB Browser.

Во время экспериментов по изменению конфигурации множество значений реестра и файлов изменились и были доработаны. *Таблица 1* содержит наиболее значимые изменения для каждого типа операций. Все отчеты были сохранены в текстовом файле и изолированы для дальнейшего исследования.

Заключительным этапом исследования стал анализ отчетов и полученного набора данных. Поиск требуемых значений реестра осуществлялся стандартным приложением regedit.exe. База данных приложений IM была исследована с использованием SQLite DB Browser для анализа данных и поиска потенциальных артефактов в сообщениях, хранящихся на компьютере. Файлы, содержащие сообщения, были проанализированы, сделана попытка открытия данных файлов без доступа к учетной записи владельца.

Действия пользователей и приложения были проанализированы с помощью файла NTUSER.DAT с

использованием приложения RegRipper v.2.8. Эксперимент был проведен два раза, чтобы получить уверенность в объективности результатов.

2. Результаты

Все отчеты и наборы данных рассмотрены в данном разделе. Результаты исследований для каждого приложения приведены ниже. Дополнительные сведения о разделах и путях в реестре приведены в *таблице 1*.

2.1. Артефакты Telegram, оставшиеся после установки, структура файлов и базы данных

В ходе исследования были найдены полный путь к соответствующему приложению для обмена мгновенными сообщениями, дата установки, версия и логин пользователя, который установил приложение, как отмечено ключом (*таблица 1*, № 1). Во время установки были созданы папки, содержащие базу данных и файловую структуру для приложения Telegram. Файлы приложения могут быть найдены по следующему пути в папке: \AppData\Roaming\Telegram Desktop\. База данных представлена в следующей папке: %\tdata\D877F783D5D3EF8C. Тем не менее, база данных хранится в виде отдельных и зашифрованных файлов, не предназначенных для чтения человеком. Попытки открыть содержимое базы данных с помощью другой учетной записи Telegram или прочесть с помощью базы данных SQLite не увенчались успехом, поскольку файлы были зашифрованы.

Интересно отметить, что изображения или видео-файлы, сохраняемые пользователем во время общения, находятся в незашифрованной папке и могут быть считаны по следующему пути: %UserName%\Downloads\Telegram Desktop.

Во время установки было создано несколько папок и разделов реестра (*таблица 1*, № 2) для взаимодействия с AI-помощником Cortana.

2.2. Конфигурационные артефакты Telegram

Дальнейший анализ показывает, что языковая конфигурация добавила и изменила следующий файл: \AppData\Roaming\Telegram Desktop\tdata\settings0.

Недавние изменения были записаны в файл AppData\Roaming\Telegram Desktop\log.txt. Файл обновляется каждый раз, когда приложение было перезапущено.

Следующий ключ (*таблица 1*, № 3) постоянно изменялся после отключения автоматической загрузки. Изменение режима запуска приложения можно отследить, обнаружив следующий ключ: AppData\Roaming\Microsoft\Windows\StartMenu\Programs\Startup\Telegram.lnk.

Приложение применяет настройки, изменяя каждый диалоговый файл в папке после изменения фона: \tdata\D877F783D5D3EF8C\. Однако деактивация приложения удаляет все файлы сообщений из базы данных чата и создает папку tdata\D877F783D5D3EF8C1.

Последний запуск Telegram можно найти в следующем разделе реестра (*таблица 1*, № 4). Значение ключа LastAccessedTime хранится в шестнадцатеричном или двоичном формате, и необходимо использовать конвертер для их перевода в читабельную форму. Значение ключей LoggedOnSAMUser и LoggedOnUser в следующих записях реестра (*таблица 1*, № 5) помогает увидеть пользовательские данные.

2.3. Артефакты, остающиеся после удаления Telegram

Несмотря на трудности с чтением файлов, содержащих сообщения, и удалением их после деактивации или удаления приложения, в реестре остается много артефактов, которые исследователь может найти для понимания структуры каталога, и ссылки меню, как это представлено в ключах (*таблица 1*, №№ 6, 7 и 8).

Некоторые ключи (*таблица 1*, № 9) предоставляют полную информацию о пути установки программы, несмотря на ее удаление.

Интересно отметить, что огромное количество полезной информации можно извлечь из файла NTUSER.DAT file. Например, “часто используемый список” или “MRU отчет” из RegRipper показывает последние записи базы данных Telegram.

2.4. Артефакты Viber, оставшиеся после установки, файловая структура и база данных

При проверке реестра было обнаружено, что следующий раздел реестра (*таблица 1*, № 10) был создан Windows с указанием даты установки и версии Viber. В процессе установки программа создала различные изменения в структуре файлов и в реестре, например, ключи взаимодействия для AI Cortana (*таблица 1*, № 11).

Таблица 1.

Данные реестра и файла

№	Описание
1	[HKLM\SOFTWARE\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Installer\UserData\S-1-5-21-92284784-4191497677-2105538262-1001\Products\47A4A0DF1FC991646A19B825E007A0D6\InstallProperties] "InstallLocation"="C:\Users\user_a\AppData\Roaming\Telegram Desktop\\" "InstallDate"="20171017"
2	HKUS-1-5-21-92284784-4191497677-2105538262-1001\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Search\Microsoft.Windows.Cortana_cw5n1h2txyewy\AppsConstraintIndex\LatestConstraintIndexFolder: "C:\Users\user_a\AppData\Local\Packages\Microsoft.Windows.Cortana_cw5n1h2txyewy\LocalState\ConstraintIndex\Apps_{8adcf8d1-d1f5-43e9-805d-af5466e37b69}"
3	HKUS-1-5-21-92284784-4191497677-2105538262-1001\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Explorer\UserAssist\{CEBFF5CD-ACE2-4F4F-9178-9926F41749EA}\Count\HRZR_PG YFRFFVBA
4	[HKCU\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Search\RecentApps\{DC6BD851-959F-45DA-BD7B-87FD4EBF9648}] "Appld"="C:\Users\user_a\AppData\Roaming\Telegram Desktop\Telegram.exe" "LastAccessedTime"=hex(b):20,b5,3a,31,bc,55,d3,01 "LaunchCount"=dword:00000015
5	[HKLM\SOFTWARE\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Authentication\LogonUI\SessionData\1] "LoggedOnSAMUser"="test_pc\user_a" "LoggedOnUser"="test_pc\user_a"
6	[HUS-1-5-21-92284784-4191497677-2105538262-1001\Software\Classes\tg] "URL Protocol"="" @=URL:Telegram Link
7	[HKUS-1-5-21-92284784-4191497677-2105538262-1001\Software\Classes\tdesktop.tg\DefaultIcon] @="C:\Users\user_a\AppData\Roaming\Telegram Desktop\Telegram.exe,1"
8	[HKUS-1-5-21-92284784-4191497677-2105538262-1001\Software\Microsoft\Windows NT\CurrentVersion\AppCompatFlags\CompatibilityAssistant\Store] "C:\Users\user_a\AppData\Roaming\Telegram Desktop\unins000.exe"=hex:53,
9	HUS-1-5-21-92284784-4191497677-2105538262-1001\Software\Classes\tdesktop.tg\DefaultIcon] @="C:\Users\user_a\AppData\Roaming\Telegram Desktop\Telegram.exe,1"
10	HLMSOFTWARE\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Installer\UserData\S-1-5-21-92284784-4191497677-2105538262-1001\Products\47A4A0DF1FC991646A19B825E007A0D6\InstallProperties "InstallDate"="20171027" "DisplayVersion"="6.9.6.16" "DisplayName"="Viber"
11	HKUS-1-5-21-92284784-4191497677-2105538262-1001\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Search\Microsoft.Windows.Cortana_cw5n1h2txyewy AppsConstraintIndex\LatestConstraintIndexFolder: «C:\Users\user_a\AppData\Local\Packages\Microsoft.Windows.Cortana_cw5n1h2txyewy\LocalState\ConstraintIndex\Apps_{87f4a862-0157-4db6-927a-464474baefcd}»
12	HKUS-1-5-21-92284784-4191497677-2105538262-1001\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Explorer\SessionInfo\1\ApplicationViewManagement\W32:0000000001104F8
13	HKUS-1-5-21-92284784-4191497677-2105538262-1001\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Run\Viber: ""C:\Users\user_a\AppData\Local\Viber\Viber.exe" StartMinimized"
14	%User%\AppData\Roaming\ViberPC\%phoneN%\Backgrounds\3\10000403.jpg
15	[HKEY_CURRENT_USER\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Uninstall\{cbbefdc-b7ee-4854-a1bc-c96d22b9d367}] "DisplayVersion"="6.9.6.16" "Publisher"="Viber Media Inc."
16	[HKEY_CLASSES_ROOT\Local Settings\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\AppModel\SystemAppData\Microsoft.Windows.Photos_8wekyb3d8bbwe\PersistedStorageItemTable\ManagedByApp\{1653CDC0-15E2-4885-A58A-E21C803F0BAA}] "Metadata"="C:\Users\user_a\AppData\Roaming\ViberPC\447718905468\Thumbnails\thumb-c06ce8612230f5180144f7077213b68.png" "LastUpdatedTime"=hex:04,a2,9e,1d,92,4d,d3,01
17	[HKEY_CLASSES_ROOT\Local Settings\Software\Microsoft\Windows\Shell\MuiCache] "C:\Users\user_a\AppData\Local\Viber\Viber.exe.FriendlyAppName"="Viber"
18	[HKCU\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Search\RecentApps\{33D886D6-91BA-419C-A151-C9D0D31EEE34}] "LastAccessedTime"=hex(b):e0,b8,bb,3d,43,50,d3,01 "Appld"="C:\Users\user_a\AppData\Local\Viber\Viber.exe"
19	Uninstall: Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Uninstall Fri Oct 27 14:48:48 2017 (UTC) Viber v.6.9.6.16

♦ Следующие папки содержат большинство файлов приложения Viber:

♦ База данных: %user%\AppData\Roaming\ViberPC\;

♦ Приложение: %user%\AppData\Local\Viber\;

Кэш QML: %user%\AppData\Local\Viber Media S.a.r.l.

Папка с именем телефонного номера пользователя, содержащая основную базу данных viber.db, была создана после установки и активации Viber.

База данных не зашифрована, большинство сообщений и информации читаются через браузер БД SQLite. Тем не менее, сообщения представлены в неструктурированной форме, но таблица контактов дает полную информацию об персональных данных и номерах телефонов.

Сообщения можно открыть в удобной для пользователя форме, просто заменив файл viber.db на персональном компьютере установленным приложением Viber. В этом случае нет возможности отвечать и получать сообщения от имени владельца базы данных, но исследователь имеет полный доступ к истории сообщений.

2.5. Артефакты изменяемых конфигурационных файлов Viber

Изменение настройки языка модифицирует следующий файл: %user%\AppData\Roaming\ViberPC\%phone%\QmlWebCache\data8\7\1tt95mf7.d.

Дальнейшие исследования показывают, что все автоматические загрузки медиа-файлов были отключены. Это видно по наличию нового ключа реестра (таблица 1, № 12). Это значение (таблица 1, № 13) показывает, что режим запуска был изменен для приложения Viber.

Изменения фона по умолчанию для приложения можно отследить, добавив новый файл (таблица 1, № 14). Весь контент был удален в папке базы данных \ViberPC\%phone№% после деактивации учетной записи Viber. Однако, файл базы данных config.db, содержащий все настройки, был все еще доступен в папке. Исследователь смог получить информацию о номере телефона и предыдущей учетной записи IM из таблицы «Учетная запись» файла config.db, используя браузер SQLite DB.

2.6. Артефакты, оставшиеся после удаления Viber

Приложение оставило ключ (таблица 1, № 15) в реестре, который предоставляет информацию о де-

инсталляции программы из ОС Windows. Оставшиеся в реестре артефакты позволяют восстановить структуру папок, расположение и историю передачи файлов через мессенджер (таблица 1, № 16).

В HKEY_CLASSES_ROOT\viber значения записей ветвей реестра были добавлены установкой Viber и доступны в системе после удаления. Эти ключи (таблица 1, №№ 17 и 18), указывающие путь и время последнего обращения к приложению, оставались в реестре после удаления приложения. Более того, Windows создал запись в NTUSER.DAT, которая отражает дату и время, когда мессенджер был удален с компьютера (таблица 1, № 19).

3. Обсуждение

В статье исследованы популярные мессенджеры Telegram и Viber в среде Windows 10 на предмет обнаружения артефактов. Результаты показали, что использование приложений мессенджеров оставляет артефакты реестра, содержащие материалы, которые могут быть полезны для расследования действий пользователя.

Несмотря на то, что Telegram считается одним из самых безопасных мессенджеров, исследование показывает, что полезный материал, такой как основанные на времени артефакты и следы пользовательских приложений на жестком диске и в реестре, сохраняются.

Изучение артефактов Viber показало, что исследователь способен находить очень интересную информацию, которая помогает восстановить всю историю общения. Более того, исследование подтвердило, что артефакты остаются доступными в Windows после удаления приложения. Эксперты могут раскрыть информацию о пользователе, который установил программное обеспечение, и учетной записи, которая использовалась в приложении.

Дальнейшие исследования будут включать изучение системных процессов приложений IM в Windows 10 для дальнейшего глубокого анализа поведения IM и интеграции с другими системными приложениями и программным обеспечением.

Заключение

Пользователи доверяют мессенджерам огромное количество информации, такой как основанная на времени поведенческая карта активности, фотографии и другие личные данные. Мессенджеры изменили способ общения, они уменьшают расстояние

до пользователя, но вместе с социальными сетями становятся инструментами мошенничества, спама, шантажа и терроризма.

В связи с этим важно изучать ИМ с криминалистической точки зрения. В данном исследовании рассматриваются и сравниваются два популярных мессенджера — Viber и Telegram, которые быстро завоевали популярность в криминальном мире и даркнет-структуре интернета в качестве средства обмена защищенными сообщениями. В рамках исследования проанализированы потенциальные артефакты, остающиеся во время установки и использования мессенджеров, а также после их удаления.

Авторами проведено несколько экспериментов по изучению артефактов в разных средах, с четким объяснением результатов. Результаты показали, что, несмотря на то, что Telegram считается одним из са-

мых безопасных мессенджеров, после полной деинсталляции приложения на жестком диске и в реестре остаются важные материалы, которые могут быть доступны криминальным элементам.

Изучение артефактов Viber показало информацию, которая помогает восстановить всю историю общения в данном приложении. Более того, исследование подтвердило, что артефакты остаются доступными в Windows после удаления приложения.

Благодарности

Данное исследование было спонсировано и выполнено в рамках внутреннего гранта Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова «Разработка методики прогнозирования цен на финансовые инструменты на базе нейронных сетей». ■

Литература

1. Instant messaging market, 2015–2019 / The Radicati Group, 2015. Available at: <http://www.radicati.com/wp/wp-content/uploads/2015/02/Instant-Messaging-Market-2014-2018-Executive-Summary.pdf> (accessed 25 September 2018).
2. Roberts J.J. Here are the most popular apps for secure messages / 2017. Available at: <http://fortune.com/2017/01/17/most-popular-secure-apps/> (accessed 27 September 2018).
3. Grispos G., Glisson W.B., Pardue H., Dickson M. Identifying user behavior from residual data in cloud-based synchronized apps // Proceedings of the Conference on Information Systems Applied Research (CONISAR 2014), Baltimore, MD, USA, 6–9 November 2014, no 3310. Available at: <http://proc.conisar.org/2014/pdf/3310.pdf> (accessed 27 September 2018).
4. Cheng L., van Dongen B.F., van der Aalst W.M.P. Scalable discovery of hybrid process models in a cloud computing environment // IEEE Transactions on Services Computing, 2019 (Early Access Article). DOI: 10.1109/TSC.2019.2906203.
5. Levendoski M., Datar T., Rogers M. (2014) Yahoo! Messenger forensics on Windows Vista and Windows 7 // Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering. 2014. Vol. 88. P. 172–179. DOI: 10.1007/978-3-642-35515-8_14.
6. Al Mutawa N., Al Awadhi I., Baggili I., Marrington A. Forensic artefacts of Facebook's instant messaging service // Proceedings of the 6th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST 2011), Abu Dhabi, United Arab Emirates, 11–14 December 2011. P. 771–776.
7. Yasin M., Abulaish M. DigLA — A Digsby log analysis tool to identify forensic artefacts // Digital Investigation. 2014. Vol. 9. No 3–4. P. 222–234. DOI: 10.1016/j.diin.2012.11.003.
8. Karpisek F., Baggili I., Breiting F. WhatsApp network forensics: Decrypting and understanding the WhatsApp call signaling messages // Digital Investigation. 2015. Vol. 15, P. 110–118. DOI: 10.1016/j.diin.2015.09.002.
9. Majeed A., Zia H., Imran R., Saleem S. Forensic analysis of three social media apps in Windows 10 // Proceedings of the 2015 12th International Conference on High-capacity Optical Networks and Enabling/Emerging Technologies (HONET), Islamabad, Pakistan, 21–23 December 2015. P. 1–5. DOI: 10.1109/HONET.2015.7395419.
10. Dehghantanha A., Choo K.-K.R., Muda Z. Windows instant messaging app forensics: Facebook and Skype as case studies // PloS One. 2016. Vol. 11. No 3. P. e0150300. DOI: 10.1371/journal.pone.0150300.
11. Cahyani N.D.W., Ab Rahman N.H., Glisson W.B., Choo K.-K.R. The role of mobile forensics in terrorism investigations involving the use of cloud storage service and communication apps // Mobile Networks and Applications. 2017. Vol. 22. No 2. P. 240–254. DOI: 10.1007/s11036-016-0791-8.
12. Carvey H., Hull D. Windows registry forensics. Elsevier, 2014. DOI: 10.1016/C2009-0-63856-3.

Об авторах

Бородин Александр Иванович

доктор экономических наук;

профессор кафедры финансового менеджмента, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, 117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36;

E-mail: aib-2004@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-2872-1008

Вейнберг Роман Рафаилович

кандидат экономических наук;
 доцент кафедры информатики, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова,
 117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36;
 E-mail: veynberg@gmail.com
 ORCID: 0000-0001-8021-5738

Писарев Дмитрий Владимирович

магистр в области информационной безопасности и менеджмента;
 Университет Варвик, Великобритания, CV4 7AL, Ковентри;
 E-mail: d.pisarev@warwick.ac.uk

Литвишко Олег Валерьевич

кандидат экономических наук;
 доцент кафедры финансового менеджмента, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова,
 117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36;
 E-mail: Litvishko.OV@rea.ru

Simulation of artefact detection in Viber and Telegram instant messengers in Windows operating systems

Alexander I. Borodin^a

E-mail: aib-2004@yandex.ru

Roman R. Veynberg^a

E-mail: veynberg@gmail.com

Dmitry V. Pisarev^b

E-mail: d.pisarev@warwick.ac.uk

Oleg V. Litvishko^a

E-mail: Litvishko.OV@rea.ru

^a Plekhanov Russian University of Economics
 Address: 36, Stremyanny Lane, Moscow 117997, Russia

^b University of Warwick
 Address: Coventry CV4 7AL, United Kingdom

Abstract

Messengers are popular today on mobile devices and traditional computers. Starting as a small text messaging service, they have turned into effective communication channels for both private and corporate users, becoming more than just an SMS replacement. Users entrust to them a huge amount of information, such as a time-based map of activity, photos and other personal data. Messengers changed the way communication is done; they reduce the distance to the user and along with social networks become tools for fraud, spam or blackmail and terrorism. In this regard, it is vital to study instant messengers from a forensic point of view. This research explores and compares two popular messengers: Viber and Telegram, which is rapidly gaining popularity in the criminal world and the darknet as secure message tools. The main purpose of the research is to investigate and analyze potential artefacts remaining during the installation and use of instant messengers, as well as after their uninstallation. The authors have done several experiments to investigate the artefacts in different environments and provide clear explanation of the results. The experiments showed that even though Telegram is considered to be one of the most secure instant messengers, important and useful material on a hard drive and registry remain after complete uninstallation of the application. Exploring Viber artefacts showed up information that helps to restore the whole history of a communication. Moreover, the study confirmed that artefacts are still accessible in Windows after removal of the application.

Key words: instant messenger; computer science; simulation; exploit; artefact; Viber; Telegram.

Citation: Borodin A.I., Veynberg R.R., Pisarev D.V., Litvishko O.V. (2019) Simulation of artefact detection in Viber and Telegram instant messengers in Windows operating systems. *Business Informatics*, vol. 13, no 4, pp. 39–48. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.4.39.48

References

1. The Radicati Group (2015) *Instant messaging market, 2015–2019*. Available at: <http://www.radicati.com/wp/wp-content/uploads/2015/02/Instant-Messaging-Market-2014-2018-Executive-Summary.pdf> (accessed 25 September 2018).
2. Roberts J.J. (2017) *Here are the most popular apps for secure messages*. Available at: <http://fortune.com/2017/01/17/most-popular-secure-apps/> (accessed 27 September 2018).
3. Grispos G., Glisson W.B., Pardue H., Dickson M. (2014) Identifying user behavior from residual data in cloud-based synchronized apps. Proceedings of the *Conference on Information Systems Applied Research (CONISAR 2014)*, Baltimore, MD, USA, 6–9 November 2014, no 3310. Available at: <http://proc.conisar.org/2014/pdf/3310.pdf> (accessed 27 September 2018).
4. Cheng L., van Dongen B.F., van der Aalst W.M.P. (2019) Scalable discovery of hybrid process models in a cloud computing environment. *IEEE Transactions on Services Computing* (Early Access Article). DOI: 10.1109/TSC.2019.2906203.
5. Levendoski M., Datar T., Rogers M. (2014) Yahoo! Messenger forensics on Windows Vista and Windows 7. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, vol. 88, pp. 172–179. DOI: 10.1007/978-3-642-35515-8_14.
6. Al Mutawa N., Al Awadhi I., Baggili I., Marrington A. (2011) Forensic artefacts of Facebook's instant messaging service. Proceedings of the *6th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST 2011)*, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 11–14 December 2011, pp. 771–776.
7. Yasin M., Abulaish M. (2014) DigLA – A Digsby log analysis tool to identify forensic artefacts, *Digital Investigation*, vol. 9, no 3–4, pp. 222–234. DOI: 10.1016/j.diin.2012.11.003.
8. Karpisek F., Baggili I., Breiteringer F. (2015) WhatsApp network forensics: Decrypting and understanding the WhatsApp call signaling messages. *Digital Investigation*, vol. 15, pp. 110–118. DOI: 10.1016/j.diin.2015.09.002.
9. Majeed A., Zia H., Imran R., Saleem S. (2015) Forensic analysis of three social media apps in Windows 10. Proceedings of the *2015 12th International Conference on High-capacity Optical Networks and Enabling/Emerging Technologies (HONET)*, Islamabad, Pakistan, 21–23 December 2015, pp. 1–5. DOI: 10.1109/HONET.2015.7395419.
10. Dehghantanha A., Choo K.-K.R., Muda Z. (2016) Windows instant messaging app forensics: Facebook and Skype as case studies. *PloS One*, vol. 11, no 3, pp. e0150300. DOI: 10.1371/journal.pone.0150300.
11. Cahyani N.D.W., Ab Rahman N.H., Glisson W.B., Choo K.-K.R. (2017) The role of mobile forensics in terrorism investigations involving the use of cloud storage service and communication apps. *Mobile Networks and Applications*, vol. 22, no 2, pp. 240–254. DOI: 10.1007/s11036-016-0791-8.
12. Carvey H., Hull D. (2014) *Windows registry forensics*. Elsevier. DOI: 10.1016/C2009-0-63856-3.

About the authors

Alexander I. Borodin

Dr. Sci. (Econ.);

Professor, Department of Financial Management, Plekhanov Russian University of Economics, 36, Stremyanny Lane, Moscow 117997, Russia;

E-mail: aib-2004@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-2872-1008

Roman R. Veynberg

Cand. Sci. (Econ.);

Associate Professor, Department of Informatics, Plekhanov Russian University of Economics, 36, Stremyanny Lane, Moscow 117997, Russia;

E-mail: veynberg@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8021-5738

Dmitry V. Pisarev

Master of Science in Cyber Security and Management;

University of Warwick, Coventry CV4 7AL, United Kingdom;

E-mail: d.pisarev@warwick.ac.uk

Oleg V. Litvishko

Cand. Sci. (Econ.);

Associate Professor, Department of Financial Management, Plekhanov Russian University of Economics, 36, Stremyanny Lane, Moscow 117997, Russia;

E-mail: Litvishko.OV@rea.ru

Обработка графических изображений сосредоточенных и площадных объектов

В.В. Алексеев

E-mail: vvalex1961@mail.ru

Д.В. Лакомов

E-mail: LaDenV@yandex.ru

А.А. Шишкин

E-mail: 68region333@mail.ru

Г. Аль Маамари

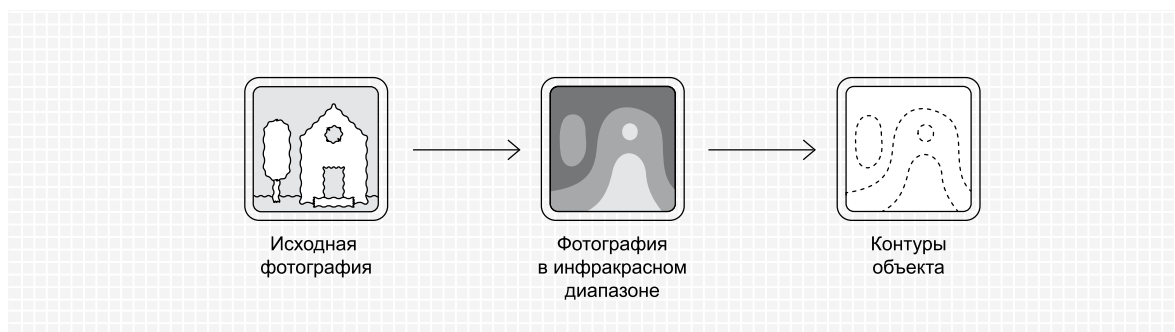
E-mail: ghassan.almaamari@gmail.com

Тамбовский государственный технический университет
Адрес: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106

Аннотация

В современных системах управления и обработки информации распознавание объектов на изображении затруднено тем, что воздействие негативных факторов вносит в этот процесс неопределенность, приводящую к размытости изображений. В связи с этим необходимо разработать модели и алгоритмы, которые позволили бы снизить степень неопределенности при обработке изображений. Эти модели необходимы, например, при мониторинге экологически опасных объектов, для поиска и обнаружения несанкционированных захоронений бытовых отходов, в сфере информационной безопасности, при анализе рентгеновских снимков и термограмм, при действиях беспилотных летательных аппаратов силовых ведомств в автономном режиме. В статье представлено описание информационной технологии для распознавания в автоматизированном режиме объектов на изображениях. Основу этой технологии составляет алгоритм контурного анализа изображений. Основной отличительной особенностью алгоритма является применение свертки изображения по четырем направлениям, а также процедуры трассировки, что позволяет точнее определять контуры объектов по сравнению с другими алгоритмами. Целью исследования являлась разработка алгоритмов высокоскоростной автоматизированной визуализации внешних объектов. Приведены результаты исследования работы разработанного алгоритма контурного анализа при обработке различных изображений в видимом и инфракрасном диапазонах волн. Сформулированы рекомендации по выбору значений параметров работы алгоритма контурного анализа, таких как среднее квадратичное отклонение при размытии изображения, минимальный и максимальный пороги при фильтрации. Результаты исследования целесообразно использовать в системах управления производством, жизнеобеспечения города, технического зрения, состояния окружающей среды, мониторинга протекания бизнес-процессов, а также при создании тренажеров для подготовки операторов сложных систем и др. Кроме того, показана целесообразность применения разработанного алгоритма в системах поддержки принятия решений.

Графическая аннотация



Ключевые слова: распознавание; изображение; образ; контурный анализ; алгоритм; оператор; неопределенность; объект.

Цитирование: Алексеев В.В., Лакомов Д.В., Шишкин А.А., Аль Маамари Г. Обработка графических изображений сосредоточенных и площадных объектов // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 4. С. 49–59.
DOI: 10.17323/1998-0663.2019.4.49.59

Введение

В современных условиях ускорения научно-технического прогресса проблемы управления стали одними из центральных проблем науки и техники, экономики и общественного развития, а масштабы и перспективы внедрения достижений в области теории управления в самые различные сферы народного хозяйства трудно переоценить. Расширение функций и задач управления в различных областях науки, техники, экономики, медицины и т.п. обуславливает переход к сложным многоцелевым системам управления. Управление (принятие решений) такими системами осуществляется в условиях существенной неопределенности, связанной с неопределенностью свойств сложного объекта управления или процесса, неопределенностью влияния внешней среды, неопределенностью взаимодействия отдельных подсистем управления, неопределенностью целей управления, неопределенностью критериев качества и т.п.

Перечисленные особенности развития систем и процессов управления (и, в первую очередь, сложных систем управления) обуславливают необходимость совершенствования существующих и разработки новых методов поддержки принятия решений, в том числе, при распознавании объектов на изображениях и выявлении нарушения целостности или повреждений объектов при анализе видео- и фотоматериала. Теория и практика применения систем поддержки принятия решений по-

казали, что они являются не только эффективным средством анализа и мониторинга систем и процессов большой размерности (включая бизнес-процессы), но и инструмента-скаляризатора. В связи с этим ведутся активные исследования по совершенствованию и разработке новых методов и алгоритмов, позволяющих уменьшить влияние неопределенности при анализе изображений.

Анализ предметной области показал, что алгоритм контурного анализа, разработанный авторами на основе алгоритма Кэнни, применим при поддержке принятия решения о наличии или отсутствии повреждения при мониторинге объектов, особенно если речь идет о подземных объектах. В связи с этим целесообразно рассмотреть этапы этого алгоритма.

1. Этапы разработанного алгоритма контурного анализа

Все множество пикселей изображения представляет собой матрицу $\mathbf{P}$:

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{X1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{1Y} & \cdots & p_{XY} \end{pmatrix},$$

где p_{ij} — цветовое значение пикселя изображения;

X — ширина изображения;

Y — высота изображения.

Пусть P_u — множество, создаваемое из всех элементов матрицы пикселей ($P \rightarrow P_u$).

Этап 1. Предварительный этап: преобразование изображения в градации серого [1]. Для преобразования изображения в градации серого достаточно представить изображение в виде YUV-модели. В такой модели цвет представляется в виде трех величин: Y — значение яркости, U и V — вспомогательные величины, необходимые для восстановления исходного цвета. Переход из стандартной модели RGB в модель YUV осуществляется по формулам:

$$\begin{aligned} Y &= 0,299 \cdot R + 0,587 \cdot G + 0,114 \cdot B, \\ U &= -0,14713 \cdot R - 0,28886 \cdot G + 0,426 \cdot B, \\ V &= 0,615 \cdot R - 0,51499 \cdot G - 0,10001 \cdot B + 128, \end{aligned}$$

где R , G и B — интенсивности красного, зеленого и синего цветов соответственно [2].

Этап 2. Фильтрация шумов. Для снижения негативных последствий от размытия изображения необходима фильтрация шумов. В разработанном алгоритме для фильтрации шумов применяется сглаживание изображения. В качестве фильтра сглаживания в алгоритме применяется функция Гаусса.

Этап 3. Вычисление значений и направлений градиентов. Вычисление значений градиентов в пикселях осуществляется в четырех направлениях: вертикальном, горизонтальном и двух диагональных. В результате получаем взаимно-однозначное соответствие пикселя и его значения градиента яркости — g_{ij} .

Значение угла градиента округляется и принимает значение, кратное 45, т.е. 0, 45, 90 или 135 градусов. Для вычисления значений градиентов в разработанном алгоритме применяется оператор Робинсона [3].

Этап 4. Подавление пикселей со значениями градиента, отличными от максимального. Пикселями границы считаются пиксели, имеющие максимальное значение градиента (локальный максимум) по отношению к соседним пикселям по направлению вектора. Остальные пиксели подавляются. Их цветовые характеристики RGB получают значение белого цвета (255, 255, 255) [4]. Дальнейшая работа проводится только с пикселями границы. Пусть C — множество пикселей границы:

$$C = \{ \{ p_{ij} \} | p_{ij} \neq (255, 255, 255), 1 \leq i \leq X, 1 \leq j \leq Y, \}$$

Все остальные пиксели изображения объединяем во множество W :

$$\begin{aligned} W &= \{ \{ p_{ij} \} | p_{ij} = (255, 255, 255), 1 \leq i \leq X, 1 \leq j \leq Y, \} \\ C \cup W &= P_u. \end{aligned} \quad (1)$$

Этап 5. Двойная пороговая фильтрация. Все пиксели, являющиеся локальными максимумами, на четвертом этапе проходят через два порога $T_{\min}$ и $T_{\max}$, задаваемых пользователем. При значении градиента пикселя ниже минимального порога пиксель становится частью множества W и получает значение белого цвета. Если значение пикселя выше максимального порога, то данный пиксель является контурным и становится частью множества C . Все пиксели, попавшие между пороговыми значениями, обрабатываются на последнем этапе [5].

В формализованном виде этот этап представлен следующим образом:

$$\begin{cases} p_{ij} \in C, \text{ при } g_{ij} > T_{\max}, \\ p_{ij} \in W, \text{ при } g_{ij} < T_{\min}, \\ p_{ij} \in N, \text{ при } T_{\min} < g_{ij} < T_{\max}, \end{cases}$$

где N — множество пикселей, значения градиента которых попадают между двумя пороговыми значениями.

Тогда выражение (1) принимает вид:

$$C \cup W \cup N = P_u. \quad (2)$$

Этап 6. Проработка стека пикселей между двумя пороговыми значениями. На заключительном этапе происходит обработка пикселей, принадлежащих множеству N . Для всех пикселей множества N проверяется условие: если хотя бы один из соседних пикселей является граничным, то проверяемый пиксель также считается граничным. Основная задача данного этапа — проанализировать все пиксели множества N таким образом, чтобы учесть группы пикселей, целиком находящихся в данном множестве и являющихся граничными [6]. Все остальные пиксели, которые в результате проверки не оказались граничными, получают значение белого цвета. Отличительными особенностями данного этапа реализации алгоритма являются следующие:

1. На стек кладется текущий индекс пикселя, для которого значение элемента матрицы выше максимального порога фильтрации в матрице. Соответственно, вершина стека становится равной единице;
2. Извлекается верхний элемент стека, что приводит к уменьшению его значения на единицу;
3. Находятся восемь индексов, являющихся соседними по отношению к индексу, извлеченному из стека.

Для всех соседних индексов проверяется условие: если значение градиента в этом индексе выше минимального порога фильтрации, и если он ранее не был помечен как прошедший, то индекс помечается как прошедший и помещается на вершину стека.

Рассмотрим более подробно содержание наиболее важных этапов реализации разработанного алгоритма контурного анализа.

2. Фильтрация шумов

Первым этапом разработанного алгоритма контурного анализа изображений является сглаживание изображения. Для выполнения процедуры сглаживания применяется фильтр Гаусса, который размывает изображение и позволяет снизить влияние шумов на процесс анализа изображений. Основной частью фильтра Гаусса является ядро свертки изображения — матрица свертки. Это матрица с нечетными размерами (три на три, пять на пять, семь на семь и т.д.) для однозначного нахождения центрального пикселя матрицы, с распределенной на ней функцией Гаусса, которую называют весовой функцией. Весовой множителем — это числовое значение соответствующего элемента матрицы (ядра) свертки. Весовой функцией является совокупность всех весовых множителей матрицы (ядра) свертки [7].

Размытие выполняется перемещением матрицы свертки по матрице пикселей изображения. В каждом положении окна происходит свертка изображения — вычисление для каждого пикселя изображения нового значения, основанного на значениях соседних пикселей. Весовая функция при выполнении свертки сохраняет постоянное значение. Вычисление нового значения пикселя происходит с помощью поэлементного умножения соответствующих пикселей на значения коэффициентов весовой функции, после чего полученные произведения суммируются. Полученное значение присваивается пикселю, располагающемуся в центре матрицы свертки [8].

Для вычисления коэффициентов весовой функции используется функция Гаусса отдельно для каждого коэффициента. Затем значение каждого коэффициента вносится в соответствующую ячейку ядра свертки:

$$f(x, y) = \frac{e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}}}{2\pi\sigma^2},$$

где x и y — расстояния пикселя от центрального пикселя матрицы свертки по горизонтальной и вертикальной оси соответственно;

σ — разброс функции Гаусса.

Полученные числовые значения обработки каждого пикселя фиксируются в соответствующих ячейках промежуточной матрицы с тем же размером, что и обрабатываемое графическое изображение. Дополнительная промежуточная матрица необходима для того, чтобы уже обработанные пиксели изображения не влияли на текущие вычисляемые значения пикселей матрицы изображения.

Необходимо упомянуть о граничных условиях: у угловых пикселей изображения, в отличие от остальных, не хватает соседних пикселей. Чтобы решить эту проблему, необходимо создать временное изображение с размерами:

$$x + \frac{R+1}{2}, y + \frac{R+1}{2},$$

где x и y — длина и ширина обрабатываемого изображения;

R — размерность ядра свертки.

Процедура вычисления значения пикселей анализируемого изображения выглядит следующим образом:

1. Создается временное изображение: в пустое изображение записывается входная картинка, а края изображения заполняются крайними пикселями этого изображения;
2. Размывается временное изображение;
3. Из временного изображения извлекается изображение с теми же размерами относительно центра, что и обрабатываемое;
4. Цвет пикселя — центра изображения получается при сложении произведения весовых коэффициентов ядра свертки со значениями цвета соседних пикселей обрабатываемого графического изображения.

Значение пикселей обработанного изображения изменяется и согласовывается со значениями всех соседних пикселей.

Сглаживание изображения снижает уровень шума, выравнивая значения пикселей с соседними точками. Следует также определить допустимые значения σ . Результаты анализа работ [9–13] позволяют сделать следующие выводы:

1. При значениях $0,1 < \sigma < 1$ сглаживание будет незначительным, поскольку полученные значения пикселей (кроме центральных) будут достаточно малыми, чтобы повлиять на их цвета;
2. При $1 \leq \sigma < 10$ значения соседних пикселей будут коррелироваться с остальными пикселями,

к которым была применена матрица свертки, и это позволит за счет размытия убрать большую часть шумов;

3. При двухразрядных значениях σ размытие приводит к исчезновению вместе с шумами на графическом изображении и части пикселей.

4. Если σ будет значительно меньше единицы, то отличным от нуля останется только центральный пиксель матрицы и размытия практически не произойдет.

3. Поиск градиентов в разработанном алгоритме контурного анализа

Главный элемент разработанного алгоритма контурного анализа графических изображений сосредоточенных и площадных объектов — оператор вычисления градиента в точках изображения. Для дальнейшей работы нам будут необходимы направление градиента и его значение.

Рассмотрим произвольную матрицу $\mathbf{D}$, размером три на три, содержащую значения яркости в окрестности некоторого пикселя:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} d_1 & d_2 & d_3 \\ d_4 & d_5 & d_6 \\ d_7 & d_8 & d_9 \end{bmatrix}.$$

Вычисление значения градиента в каждом пикселе графического изображения сосредоточенных или площадных объектов происходит по формуле [14]:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2},$$

где G — величина градиента в пикселе d_5 ;

G_x и G_y — приближенные производные градиента по x и y соответственно (представляются в виде двух матриц).

Рассмотрим существующие математические операторы.

Оператор Робертса. Этот оператор используется для быстрых вычислений, но у него имеется серьезный недостаток: оператор чувствителен к шуму. Линии контуров, полученных с помощью этого оператора, будут тоньше, чем у остальных методов.

Матрицы приближенных производных оператора Робертса G_x и G_y в точке d_5 вычисляются по формулам:

$$G_x = d_9 - d_3, \quad G_y = d_8 - d_6,$$

Как видно из формул, с помощью оператора Робертса свертка обрабатываемого изображения осуществляется по двум направлениям: вертикальному и горизонтальному [15]:

$$Rb_0 = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad Rb_1 = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Оператор Превитта. В отличие от предыдущего, данный оператор базируется на использовании масок размером три на три и учитывает восемь направлений градиентов. При этом применяются только прямые направления, дающие наилучшие результаты:

$$p_0 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad p_1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Матрицы приближенных производных оператора Превитта G_x и G_y вычисляются по формулам:

$$G_x = (d_7 + d_8 + d_9) - (d_1 + d_2 + d_3),$$

$$G_y = (d_3 + d_6 + d_9) - (d_1 + d_4 + d_7).$$

Основным преимуществом оператора Превитта по сравнению с оператором Робертса является снижение чувствительности к шуму за счет увеличенной маски [16].

Оператор Собеля. Оператор Собеля использует приближение к производной, что помогает обнаруживать контуры в местах, где градиент принимает высокое значение. Оператор состоит из двух матриц. Отличие второй матрицы от первой состоит только в ее повороте на 90 градусов, как и в операторе Превитта. Для средних элементов матрицы используется весовой коэффициент 2, что позволяет снизить эффект размытия за счет увеличения влияния средних точек для снижения потери контуров в изображениях.

Данный оператор очень похож на операторы Робертса и Превитта. Маски оператора Собеля имеют следующий вид:

$$s_0 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad s_1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Матрицы приближенных производных оператора Собеля G_x и G_y вычисляются по формулам:

$$G_x = (d_7 + 2d_8 + d_9) - (d_1 + 2d_2 + d_3),$$

$$G_y = (d_3 + 2d_6 + d_9) - (d_1 + 2d_4 + d_7).$$

Основным недостатком оператора Собеля является грубая аппроксимация градиента, из-за чего теряется часть обнаруженных контуров [17].

Оператор Кирша и оператор Робинсона. Операторы состоят из восьми симметричных масок (например, центром симметрии оператора Робинсона является состоящая из нулей центральная ось). Достаточно вычислить результат применения первых четырех масок, остальные результаты можно получить путем инверсии первых. Операторы подобны друг другу, но различаются своей сложностью: в операторе Кирша применяются весовые коэффициенты -3 и 5 , а в операторе Робинсона — коэффициенты -2 , -1 , 0 , 1 и 2 .

Маски оператора Кирша выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned} k_0 &= \begin{bmatrix} -3 & -3 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & 5 \end{bmatrix}, & k_1 &= \begin{bmatrix} -3 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix}, \\ k_2 &= \begin{bmatrix} 5 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix}, & k_3 &= \begin{bmatrix} 5 & 5 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix}, \\ k_4 &= \begin{bmatrix} 5 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & -3 & -3 \end{bmatrix}, & k_5 &= \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & -3 \end{bmatrix}, \\ k_6 &= \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & 5 \end{bmatrix}, & k_7 &= \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & 5 & 5 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Маски k_2 и k_6 соответствуют горизонтальной границе, маски k_0 и k_4 — вертикальной, маски k_1 , k_3 , k_5 и k_7 — диагональной границе.

Маска, с помощью которой получено максимальное значение в пикселе d_s , будет являться основной. Полученное максимальное значение будет являться величиной градиента данного пикселя [18].

Операторы Кирша и Робинсона основаны на использовании всего лишь одной маски, которую вращают по восьми главным направлениям: «север», «северо-запад», «запад», «юго-запад», «юг», «юго-восток», «восток» и «северо-восток». Маски оператора Робинсона имеют следующий вид:

$$r_0 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad r_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$r_2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}, \quad r_3 = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{bmatrix},$$

$$r_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad r_5 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$r_6 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad r_7 = \begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}.$$

В каждом пикселе значение градиента приравнивается к максимальному значению, вычисленному с помощью масок, а углом вектора градиента является угол линий нулей в маске, которая дает максимальное значение градиента [19].

Оператор Лапласа. Этот оператор был предложен в 1982 году. Данный алгоритм вычисляет вторую производную по формуле:

$$\Delta^2 f = \frac{d^2 f}{dx^2} + \frac{d^2 f}{dy^2}.$$

Выполнение оператора осуществляется в два этапа: на первом этапе происходит сглаживание изображения с помощью фильтра Гаусса, а на втором — вычисляется оператор Лапласа, что приводит к появлению двойных контуров. Вычисление контуров аппроксимируется как нахождение нулей на пересечении двойных контуров. Маски оператора Лапласа имеют следующий вид:

$$l_0 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad l_1 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}.$$

Основной особенностью применения оператора Лапласа является нахождение каждого пикселя вне или внутри полученного двойного контура, построенного с помощью фильтра Гаусса и оператора Лапласа [20].

В работе [21] представлены результаты применения каждого из приведенных операторов для анализа изображения. Авторами был проведен детальный анализ полученных результатов обработки изображений. Полученные результаты свидетельствуют о том, что операторы Превитта, Робертса и Собеля дают различные, но дополняющие друг друга результаты. Лапласиан гауссиана выделил значительно больше истинных контуров, чем операторы Превитта, Робертса и Собеля. Операторы Кирша и Робинсона показали практически идентичный

результат по основным контурам, но при этом появились ложные контуры на однородных объектах (стены и газон перед зданием). Кроме того, операторы Кирша и Робинсона определили большее количество истинных контуров объектов на изображении, чем остальные операторы [4, 12, 14].

4. Апробация разработанного алгоритма контурного анализа

Предлагаемая информационная система обработки графических изображений сосредоточенных и площадных объектов включает в себя операционную систему, базу данных изображений, алгоритм контурного анализа, логико-лингвистическую модель выбора параметров работы алгоритма, модели сравнения результатов обработки изображения и кроссплатформенное программное обеспечение для интерпретации результатов.

Проведена серия испытаний программной реализации системы.

Для расчета градиента применялся оператор Робинсона. Пороговые значения, при которых получается наилучшее соотношение сигнал/шум (см. этап 5), составляют $T_{\min} = 20$, $T_{\max} = 45$.

На рисунках 1–3 представлены результаты обработки изображений при помощи разработанного алгоритма.

Проведенное исследование (рисунки 4–5) показало, что разработанный алгоритм контурного анализа находит на 10–15% больше граничных точек при анализе графических изображений сосредоточенных и площадных объектов, чем стандартный алгоритм Кэнни, а время выполнения алгоритма увеличивается незначительно. Объем тестового материала составил 110 изображений.

5. Рекомендации по выбору параметров алгоритма

Программная реализация разработанного алгоритма контурного анализа позволяет выделять объекты, как на четких, так и на размытых изображениях, а также распознает элементы этих объектов на изображениях.

На качество исследования оказывают влияние такие параметры как разрешение снимков ИК-диапазона прибора, дальность работы прибора, угол съемки, а также погодные условия. Основными помехами при анализе изображений являются сторонние источники тепла, попадающие в кадр: жилые дома, техника, живые объекты.

Рекомендуемые параметры работы алгоритма для четких графических изображений: $T_{\min} = 20$, $T_{\max} = 45$, $\sigma = 1$.

Рекомендуемые параметры работы алгоритма для размытых изображений: $T_{\min} = 5$, $T_{\max} = 15$, $\sigma = 0,01$.

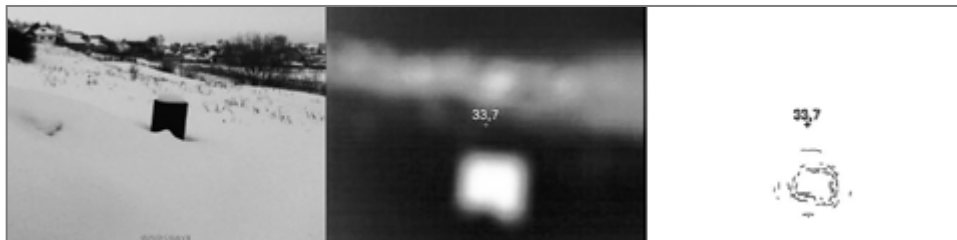


Рис. 1. Обработка изображения вентиляционного выхода

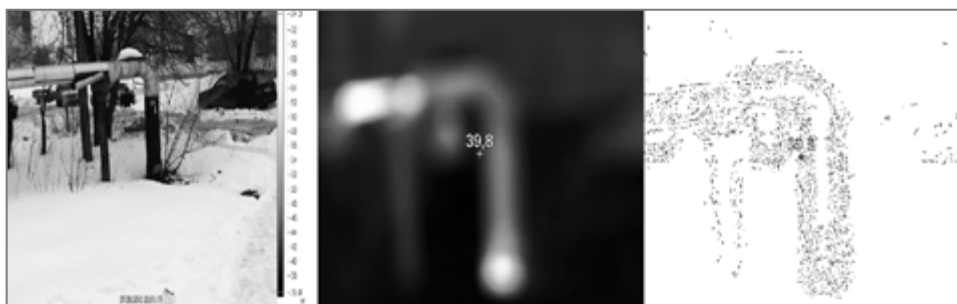


Рис. 2. Обработка изображения теплотрассы

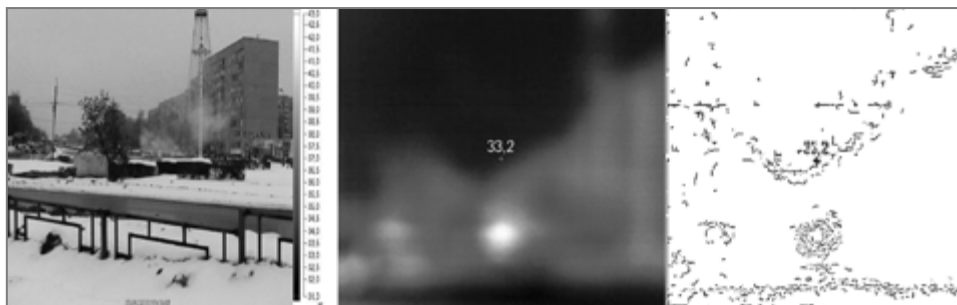


Рис. 3. Обработка изображения люков системы отопления

Рекомендованные параметры применимы для исследованной и аналогичных групп изображений. Разрабатывается логико-лингвистическая модель для выбора параметров алгоритма в зависимости от характеристик обрабатываемого изображения.

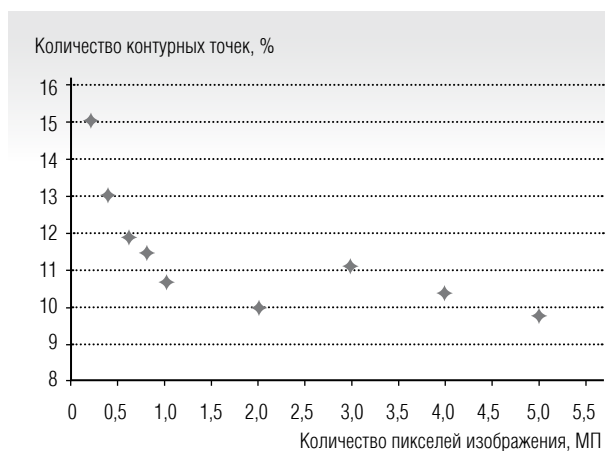


Рис. 4. Увеличение количества найденных контурных точек разработанного алгоритма контурного анализа по сравнению со стандартным алгоритмом Кэнни

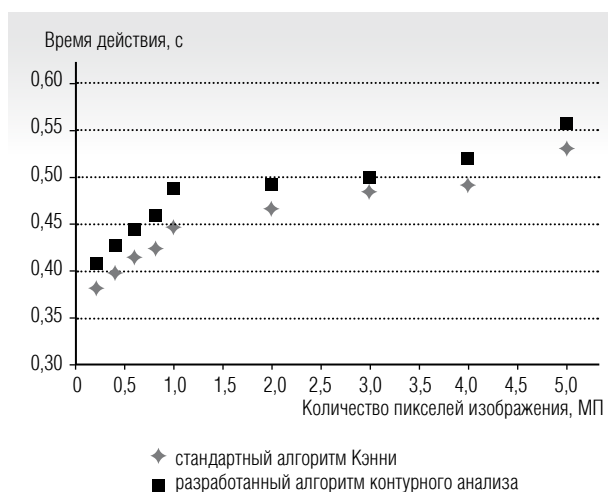


Рис. 5. Время работы алгоритмов с изображениями разного объема

Достоинствами разработанного алгоритма являются:

- ♦ увеличение количества найденных граничных точек;
- ♦ минимизация фрагментации контуров объектов на изображении;
- ♦ снижение неопределенности при анализе зашумленных изображений, за счет фильтра Гаусса.

Недостатком разработанного алгоритма контурного анализа является отсутствие однозначных критериев выбора пороговых значений, что приводит к искажению и потере части реальных контуров и появлению ложных контуров.

Также результаты исследования показали, что необходимо проработать программный код алгоритма для уменьшения округления краев объектов на изображении, что приводит к повреждениям или удалению границ объектов в местах соединения.

Заключение

В статье представлено описание информационной технологии обработки графических изображений сосредоточенных и площадных объектов на основе разработанного алгоритма контурного анализа изображений.

Работа алгоритма основана на свертке анализируемого графического объекта по четырем направлениям с помощью оператора Робинсона. Это позволяет минимизировать фрагментацию контуров и точнее их локализовать.

Приведены результаты исследования разработанного алгоритма контурного анализа при обработке изображений различных объектов в ИК-диапазоне. На основе этого исследования даны рекомендации по подбору параметров работы алгоритма.

Результаты исследования применимы в системах технического зрения, используемых для выявления повреждений и мониторинга анализируемых объектов, а также при создании тренажеров для подготовки операторов комплексов мониторинга

точечных и площадных объектов. Кроме того, применение разработанного алгоритма целесообразно при обнаружении нарушений целостности точечных и площадных объектов, а также в системах поддержки принятия решений. ■

Литература

1. Huo X.Q., Zheng W.L., Lu B.L. Driving fatigue detection with fusion of EEG and forehead EOG // International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Vancouver, BC, Canada, 24–29 July 2016. P. 897–904. DOI: 10.1109/IJCNN.2016.7727294.
2. Алексеев В.В., Громов Ю.Ю., Губсков Ю.А., Ишук И.Н. Методология дистанционной оценки пространственных распределений оптико-теплофизических параметров объектов, замаскированных под поверхность грунта. М.: Научтехлитиздат, 2014.
3. Карасев П.И., Губсков Ю.А. Процедура обработки графических изображений в системах видеонаблюдения // Вестник Воронежского института ФСИИ России. 2015. № 2. С. 35–37.
4. Алексеев В.В., Лакомов Д.В. Оператор Робинсона и его применение в алгоритме Кэнни для распознавания изображений в условиях неопределенности // Материалы XV Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение». 14 марта 2017 г. Тезисы докладов. М: МГППУ, 2017. С. 89–90.
5. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М: Техносфера, 2005.
6. Пытьев Ю.П. Методы морфологического анализа изображений. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010.
7. Потапов А.А. Новейшие методы обработки изображений. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.
8. Srivastava S., Delp E.J. Video-based real-time surveillance of vehicles // Journal of Electronic Imaging. 2003. Vol. 22. No 4. 041103. DOI: 10.1117/1.JEI.22.4.041103.
9. Фурман Я.А. Введение в контурный анализ. Приложения к обработке изображений и сигналов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
10. Цифровая обработка сигналов и изображений в радиофизических приложениях / М.А. Басараб и [др.], под ред. В.Ф. Кравченко. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
11. Canny J. A computational approach to edge detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. Vol. PAMI-8. No 6. P. 679–698.
12. Ким Н.В., Крылов И.Г. Групповое применение беспилотного летательного аппарата в задачах наблюдения // Труды МАИ. 2012. № 62. [Электронный ресурс]: <https://mai.ru/upload/iblock/bbb/grupповое-primenenie-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata-v-zadachakh-nablyudeniya.pdf> (дата обращения: 15.04.2019).
13. Алексеев В.В., Карасев П.И., Лакомов Д.В. Анализ методов обработки изображений, применимых в условиях неопределенности // XVI Международная конференция «Информатика: проблемы, методология, технологии». Сборник трудов. Воронеж, 11–12 февраля 2016 г. Воронеж: Научно-технические публикации, 2016. С. 37–41.
14. Алексеев В.В., Лакомов Д.В. Анализ применимости размытия при распознавании изображений в условиях неопределенности // Материалы III Международной научно-практической конференции «Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн». Тамбов, 17–19 ноября 2015 г. Тамбов: ТГТУ. 2016. Т. 2. С. 138–141.
15. Ким Н.В., Кузнецов А.Г., Крылов И.Г. Применение систем технического зрения на беспилотных летательных аппаратах в задачах ориентации на местности // Вестник МАИ. 2010. Т. 17. № 3. С. 46–49.
16. Hybrid vision based reach-to-grasp task planning method for trans-humeral prostheses / D.G. Kanishka Madusanka [et al.] // IEEE Access. 2017. Vol. 5. No 99. P. 16149–16161. DOI: 10.1109/access.2017.2727502.
17. Fatigue detection and estimation using auto-regression analysis in EEG / A. Jain [et al.] // 2016 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI). Jaipur, India, 21–24 September 2016. P. 1092–1095. DOI: 10.1109/ICACCI.2016.7732190.
18. Yang K.F., Li C.-Y., Li Y.-J. Multifeature-based surround inhibition improves contour detection in natural images // IEEE Transaction on Image Processing. 2014. Vol. 23. No 12. P. 5020–5032. DOI: 10.1109/TIP.2014.2361210.
19. Boundary detection using double-opponency and spatial sparseness constraint / K.-F. Yang [et al.] // IEEE Transaction on Image Processing. 2015. Vol. 24. No 8. P. 2565–2578. DOI: 10.1109/TIP.2015.2425538.
20. Muthukrishnan R., Radha M. Edge detection techniques for image segmentation // International Journal of Computer Science & Information Technology. 2012. Vol. 3. No 6. P. 259–267. DOI: 10.5121/ijcsit.2011.3620.
21. On-device mobile landmark recognition using binarized descriptor and multifeature fusion / T. Guan [et al.] // ACM Transactions on Intelligence Systems Technology. 2015. Vol. 7. No 1. Article 12. DOI: 10.1145/2795234.

Об авторах

Алексеев Владимир Витальевич

доктор технических наук, профессор;

заведующий кафедрой «Информационные системы и защита информации»,

Тамбовский государственный технический университет, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106;

E-mail: vvalex1961@mail.ru

Лакомов Денис Вячеславович

аспирант кафедры «Информационные системы и защита информации», Тамбовский государственный технический университет, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106;

E-mail: LaDenV@yandex.ru

Шишкин Артем Александрович

аспирант кафедры «Информационные системы и защита информации», Тамбовский государственный технический университет, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106;

E-mail: 68region333@mail.ru

Гассан Аль Маамари

аспирант кафедры «Информационные системы и защита информации», Тамбовский государственный технический университет, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106;

E-mail: ghassan.almaamari@gmail.com

Image processing of concentrated and scattered objects

Vladimir V. Alekseev

E-mail: vvalex1961@mail.ru

Denis V. Lakomov

E-mail: LaDenV@yandex.ru

Artem A. Shishkin

E-mail: 68region333@mail.ru

Ghassan Al Maamari

E-mail: ghassan.almaamari@gmail.com

Tambov State Technical University

Address: 106, Sovetskaya Street, Tambov 392000, Russia

Abstract

In modern control systems and information processing, the recognition of objects in the image is complicated by the fact that the impact of negative factors introduces uncertainty into this process, leading to blurring of images. In this regard, it is necessary to develop models and algorithms that would reduce the degree of uncertainty in image processing. These models are necessary, for example, when monitoring environmentally hazardous objects, for search and detection of unauthorized burial of household waste, in the field of information security, in the analysis of x-rays and thermograms, in the actions of unmanned aerial vehicles of law enforcement agencies in autonomous mode. This article presents a description of information technology for recognition in the automated mode of objects in images. The basis of this technology is the algorithm of contour analysis of images. The main distinguishing feature of the algorithm is the use of convolution of the image in four directions, as well as the tracing procedure. The aim of the study was to develop algorithms for high-speed automated visualization of external objects. We present the results of the study of the algorithm of contour analysis in the processing of various images in the visible and infrared wavelengths. Recommendations are formulated for the choice of parameters of the contour analysis algorithm, such as the mean square deviation in image blur, minimum and maximum thresholds for filtering. The results of the study can be used in production management systems, life support of the city, technical vision, environmental conditions, monitoring of business processes, as well as in the creation of simulators for training operators of complex systems, etc. In addition, we show the expediency of applying the algorithm we developed in decision support systems.

Key words: detection; image; picture; contour analysis; algorithm; operator; uncertainty; object.

Citation: Alekseev V.V., Lakomov D.V., Shishkin A.A., Al Maamari G. (2019) Image processing of concentrated and scattered objects. *Business Informatics*, vol. 13, no 4, pp. 49–59. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.4.49.59

References

1. Huo X.Q., Zheng W.L., Lu B.L. (2016) Driving fatigue detection with fusion of EEG and forehead EOG. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Vancouver, BC, Canada, 24–29 July 2016*, pp. 897–904. DOI: 10.1109/IJCNN.2016.7727294.
2. Alekseev V.V., Gromov Yu.Yu., Gubskov Yu.A., Ishchuk I.N. (2014) *Methodology of remote assessment of spatial distributions of optical-thermal parameters of the objects disguised under the surface*. Moscow: Nauchtehlitizdat (in Russian).
3. Karasev P.I., Gubskov Yu.A. (2015) Processing of graphic images in video surveillance systems. *Herald of the Voronezh Institute FSIN of Russia*, no 2, pp. 35–37 (in Russian).
4. Alekseev V.V., Lakomov D.V. (2017) Robinson Operator and its application in the canny algorithm for image recognition under uncertainty. *Proceedings of the XV All-Russian Scientific Conference “Neurocomputers and Their Application”, 14 March 2017*. Moscow: MSUPE, pp. 89–90 (in Russian).
5. Gonzalez R., Woods R. (2005) *Digital image processing*. Moscow: M: Technosphere (in Russian).
6. Pytyev Yu.P. (2010) *Methods of morphological image analysis*. Moscow: FIZMATLIT (in Russian).
7. Potapov A.A. (2008) *The latest methods of image processing*. Moscow: FIZMATLIT (in Russian).
8. Srivastava S., Delp E.J. (2003) Video-based real-time surveillance of vehicles. *Journal of Electronic Imaging*, vol. 22, no 4, 041103. DOI: 10.1117/1.JEI.22.4.041103.
9. Furman Ya.A. (2003) *Introduction to contour analysis. Applications to image and signal processing*. Moscow: FIZMATLIT (in Russian).
10. Basarab M.A., Volosyuk V.K., Goryachkin O.V., Zelensky A.A. (2007) *Digital signal and image processing in radiophysical applications*. Moscow: FIZMATLIT (in Russian).
11. Canny J. (1986) A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-8, no 6, pp. 679–698.
12. Kim N.V., Krylov I.G. (2012) Group application of unmanned aerial vehicle in surveillance tasks. *Trudy MAI*, no 62. Available at: <https://mai.ru/upload/iblock/bbb/gruppovoe-primenenie-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata-v-zadachakh-nablyudeniya.pdf> (accessed 15 April 2019) (in Russian).
13. Alekseev V.V., Karasev P.I., Lakomov D.V. (2016) Analysis of image processing methods applicable in the conditions of uncertainty. *Proceedings of the XVI International Conference “Informatics: problems, methodology, technologies,” Voronezh, 11–12 February 2016*, pp. 37–41 (in Russian).
14. Alekseev V.V., Lakomov D.V. (2016) Analysis of the applicability of blur in image recognition under uncertainty. *Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference “Virtual modeling, prototyping and industrial design,” Tambov, Russia, 17–19 November 2015*, vol. 2, pp. 138–141 (in Russian).
15. Kim N.V., Kuznetsov A.G., Krylov I.G. (2010) Application of vision systems on unmanned aerial vehicles in the tasks of orientation on the ground. *Aerospace MAI Journal*, vol. 17, no 3, pp. 46–49 (in Russian).
16. Kanishka Madusanka D.G., Gopura R.A.R.C., Amarasinghe Y.W.R., Mann G.K.I. (2017) Hybrid vision based reach-to-grasp task planning method for trans-humeral prostheses. *IEEE Access*, vol. 5, no 99, pp. 16149–16161. DOI: 10.1109/access.2017.2727502.
17. Jain A., Abbas B., Farooq O., Garg S.K. (2016) Fatigue detection and estimation using auto-regression analysis in EEG. *Proceedings of the 2016 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), Jaipur, India, 21–24 September 2016*, pp. 1092–1095. DOI: 10.1109/ICACCI.2016.7732190.
18. Yang K.F., Li C.-Y., Li Y.-J. (2014) Multifeature-based surround inhibition improves contour detection in natural images. *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 23, no 12, pp. 5020–5032. DOI: 10.1109/TIP.2014.2361210.
19. Yang K.-F., Gao S.-B., Guo C.-F., Li C.-Y., Li Y.-J. (2015) Boundary detection using double-opponency and spatial sparseness constraint. *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 24, no 8, pp. 2565–2578. DOI: 10.1109/TIP.2015.2425538.
20. Muthukrishnan R., Radha M. (2012) Edge detection techniques for image segmentation. *International Journal of Computer Science & Information Technology*, vol. 3, no 6, pp. 259–267. DOI: 10.5121/ijcsit.2011.3620.
21. Guan T., Wang Y., Duan L., Ji R. (2015) On-device mobile landmark recognition using binarized descriptor and multifeature fusion. *ACM Transactions on Intelligence Systems Technology*, vol. 7, no 1, article 12. DOI: 10.1145/2795234.

About the authors

Vladimir V. Alekseev

Dr. Sci. (Tech.), Professor;

Head of the Department “Information systems and information security”, Tambov State Technical University, 106, Sovetskaya Street, Tambov 392000, Russia;

E-mail: vvaalex1961@mail.ru

Denis V. Lakomov

Doctoral Student, Department “Information systems and information security”, Tambov State Technical University, 106, Sovetskaya Street, Tambov 392000, Russia;

E-mail: LaDenV@yandex.ru

Artem A. Shishkin

Doctoral Student, Department “Information systems and information security”, Tambov State Technical University, 106, Sovetskaya Street, Tambov 392000, Russia;

E-mail: 68region333@mail.ru

Ghassan Al Maamari

Doctoral Student, Department “Information systems and information security”, Tambov State Technical University, 106, Sovetskaya Street, Tambov 392000, Russia;

E-mail: ghassan.almaamari@gmail.com

Проектирование структуры программной системы обработки корпусов текстовых документов

В.Б. Барахнин^{a,b} 

E-mail: bar@ict.nsc.ru

О.Ю. Кожемякина^a 

E-mail: olgakozhemyakina@mail.ru

Р.И. Мухамедиев^{c,d,e} 

E-mail: ravil.muhamedyev@gmail.com

Ю.С. Борзилова^a 

E-mail: i.borzilova@alumni.nsu.ru

К.О. Якунин^{c,d} 

E-mail: yakunin.k@mail.ru

^a Институт вычислительных технологий, Сибирское отделение Российской академии наук
Адрес: 630090, г. Новосибирск, пр-т Академика Лаврентьева, д. 6

^b Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
Адрес: 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 1

^c Satbayev University
Адрес: Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, д. 22а

^d Институт информационных и вычислительных технологий
Адрес: Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Пушкина, д. 125

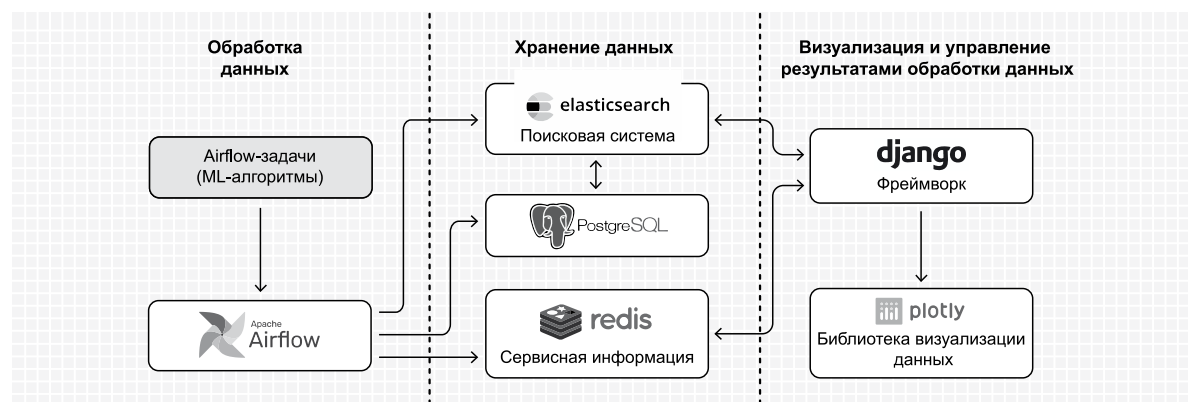
^e Университет ISMA
Адрес: Латвия, LV-1019, г. Рига, ул. Ломоносова, 1

Аннотация

Одной из труднорешаемых задач в области интеллектуального анализа данных является разработка универсального инструментария для анализа текстов художественного и делового стиля. Популярным направлением развития алгоритмов обработки корпусов текстовых документов является использование методов машинного обучения, которые позволяют решать задачи обработки естественных языков. Основанием для проведения исследований в этой области являются такие факторы, как специфика структуры текстов художественного и делового стиля (что требует формирования отдельных наборов данных и, в случае использования методов машинного обучения, — дополнительных параметров при обучении), а также отсутствие укомплектованных систем массовой обработки корпусов текстовых документов для русского языка (в отношении научного сообщества в коммерческой среде существуют системы меньших масштабов, решающие узкоспециализированные задачи, например, определение тональности текста). Целью текущего исследования является проектирование и последующая разработка структуры системы обработки корпусов текстовых документов. При проектировании учитывались требования, предъявляемые к широкомасштабным системам: модульность, возможность масштабирования компонентов и их условная независимость. Проектируемая система представляет собой совокупность компонентов, каждый из которых сформирован и используется в виде Docker-контейнеров. Уровни системы:

обработка данных, хранение данных, визуализация и управление результатами обработки данных. На уровне обработки данных выполняется сбор (скраппинг) текстовых документов (например, новостных событий) и их дальнейшая обработка с помощью ансамбля методов машинного обучения, каждый из которых реализован в системе как отдельная Airflow-задача. Полученные результаты помещаются для хранения в реляционную базу данных, а для увеличения быстродействия поиска по данным (более 1 млн. единиц) используется инструмент Elasticsearch. Визуализация статистики, полученной в результате работы алгоритмов, осуществляется с использованием плагина Plotly. Администрирование и просмотр обработанных текстов доступны через веб-интерфейс с использованием фреймворка Django. Общая схема взаимодействия компонентов организована по принципу ETL (extract, transform, load). В настоящее время система используется для анализа корпусов новостных текстов с целью сравнительного анализа параметров текстов и средств массовой информации в целом. В перспективе планируется усовершенствование системы и опубликование компонентов в открытом репозитории GitHub для доступа научного сообщества.

Графическая аннотация



Ключевые слова: обработка естественных языков; потоковая обработка текстов; информационная система анализа текстов; разработка системы обработки корпусов текстов.

Цитирование: Барахнин В.Б., Кожемякина О.Ю., Мухамедиев Р.И., Борзилова Ю.С., Якунин К.О. Проектирование структуры программной системы обработки корпусов текстовых документов // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 4. С. 60–72. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.4.60.72.

Введение

Современные методы интеллектуального анализа данных позволяют обрабатывать большие корпуса текстовых документов (объемом более 1 млн документов) с целью выявления как тех или иных свойств отдельных документов, входящих в корпус, так и закономерностей, характеризующих их совокупность. Поскольку указанные алгоритмы предполагают извлечение из текстов широкого спектра разноплановых характеристик (что нередко само по себе является комплексной задачей, решение которой подразумевает использование сложных и отнюдь не всегда быстродействующих алгоритмов), возникает необходимость

хранения извлеченных характеристик (наряду с самими документами) в справочно-информационном фонде создаваемой программной системы. При этом информационная модель хранилища документов и их характеристик будет в значительной мере зависеть от типа исследуемых корпусов текстов и характера решаемых задач. Например, системы обработки новостных сообщений с целью выявления деструктивной информации [1] существенно отличаются от систем обработки научной информации [2] и, тем более, художественных текстов, как прозаических, так и поэтических [3].

Следует отметить, что одной из труднорешаемых задач является разработка универсального инстру-

ментария для анализа текстов художественного и делового стиля. Как указано в [4], «при распознавании слов делового текста наиболее существенным является фактор знакомства с текстом (его темой, структурой и наиболее частотными словами), ключевые слова и элементы темы распознаются сравнительно неплохо, конец текста предсказуем и хорошо распознается. Для художественного текста большая «опорность» приходится на начальный (преамбула) и срединный (развитие сюжета) композиционные фрагменты и по-разному соотносится с компонентами коммуникативного и смыслового членения: с темой для преамбулы, с диалогом (особенно ключевыми словами или ремой) для срединного фрагмента. Таким образом, говоря о структурах текста и процедурах анализа, мы должны учитывать разнообразные виды контекста, в частности, функциональный стиль, композиционную структуру и риторическую связность текста» [4].

В настоящее время обработка текстовой информации является активно развивающейся отраслью информационных технологий. Обзор работ в этой области имеется, например, в [5–8]. Отметим, что в последнее десятилетие основным направлением развития алгоритмов обработки корпусов текстовых документов является использование методов машинного обучения (см., например, [9–11]). В общем же случае для автоматического анализа текста можно выделить следующие подходы [12]:

1. На основе правил с использованием шаблонов (rule-based with patterns). Этот подход использует такие инструменты, как part-of-speech-taggers и parsers. Другой вариант – использование N-grams для выделения часто используемых сочетаний, которые объединяются в слова. В частности, при решении задач определения тональности текста этим N-grams присваиваются положительные или отрицательные оценки;

2. Машинное обучение без учителя (unsupervised learning). Главное отличие от машинного обучения с учителем – отсутствие ручной разметки для обучения модели. В случае статистической модели корпуса текстов наибольший вес в тексте имеют такие термины, которые чаще встречаются в этом тексте и одновременно встречаются в небольшом количестве текстов всей выборки;

3. Машинное обучение с учителем (supervised learning). Обучающая выборка размечается вруч-

ную экспертами в предметной области или dataset-инженерами. Затем размеченный корпус текстов используется для обучения различных классификаторов, среди которых часто применяются Naive Bayes Classifier [13], Support Vector Classifier (SVM) [14], а также композиции алгоритмов, например, бустинг [15], когда несколько методов машинного обучения могут объединяться в ансамбль (совокупность), в которой каждый следующий метод обучается на ошибках предыдущего, и искусственные нейронные сети (artificial neural networks, ANN) различных конфигураций [16, 17];

4. Гибридный метод (hybrid method). Данный подход может сочетать методы машинного обучения, а также использовать шаблоны правил;

5. Метод, основанный на теоретико-графовых моделях. При таком подходе используется разбиение корпуса текстов на слова, при этом каждое слово имеет свой вес. Такой вес используется, например, в задачах анализа определения тональности текста: некоторые слова имеют больший вес и сильнее влияют на тональность текста;

6. Предобученные модели на основе глубоких нейронных сетей (transfer learning), когда заранее обученная модель дообучается для решения специфических задач, например, весьма популярная в последнее время BERT [18].

В частности, задача анализа тональности текста неоднократно решалась и активно используется в коммерческих разработках. К последним можно отнести, например, систему лингвистического анализа текстов модульного типа Eureka Engine, которая позволяет извлекать новые знания и факты из неструктурированных данных больших объемов¹. Кроме определения тональности документа, система решает задачи определения тематики текста (т.е. классификации), выделения именованных (named-entity recognition, NER). Модуль автоматической классификации текстов TextClassifier реализован на основе машинного обучения, также имеются модули автоматического определения именованных сущностей, нормализации слов и морфоанализатор. Внутренняя структура системы не приводится. Система использовалась как инструмент для определения тональности текста в СМИ относительно одного и того же события [19]. Кроме того, можно отметить работу [20], в которой приведены результаты исследования методики ана-

¹ Eureka Engine: <http://eurekaengine.ru/>

лиза тональности текста на примере анализа сообщений сети Твиттер и рецензий портала «Кинопоиск». В качестве инструментария авторы использовали алгоритмы машинного обучения: метод опорных векторов, наивный Байесовский классификатор, методы случайных деревьев (random forest). Дополнительно в работе приведен обзор аналогичных работ в задачах анализа тональности текста.

Разнообразие алгоритмов обработки текстов на естественном языке предполагает возможность их реализации в виде отчуждаемого программного продукта. В силу этого структура создаваемой программной системы должна быть нацелена на ее взаимодействие как с конечным пользователем, так и с другими системами. В данной статье формулируются требования к структуре создаваемой программной системы и определяются ролевые функции пользователей. После этого описывается разработанная структура, включающая в себя подсистему обработки данных, хранилище и подсистему построения аналитических отчетов.

Основными особенностями разрабатываемой системы, выделяющими ее среди аналогов, являются:

1. Автоматическое тематическое моделирование, которое позволяет определять тренды в реальном времени, без ручного формирования списка ключевых слов или запросов. Это позволяет в оперативном режиме автоматически определять актуальные, социально значимые темы, что является критически важным при принятии управленческих решений в различных областях;

2. Экспертная разметка на уровне тематик позволяет на порядки уменьшить объем необходимых для разметки объектов (особенно по сравнению с использованием сетей глубокого обучения);

3. Из предыдущего пункта следует возможность оперативной и относительно недорогой разметки по произвольному набору критериев, не ограниченной только тональностью. Критерии могут быть выбраны индивидуально под конкретные требования клиента (например, оценка инновационности, социальной значимости, оппозиционности, социального доверия, инфляционных ожиданий и т.д.).

1. Постановка задачи

Процесс анализа текстов на естественном языке сводится к следующим последовательным шагам, на которых осуществляется анализ характеристик текста:

- ♦ инициализация — формирование корпуса текстов и его предобработка для последующего анализа;

- ♦ структурный анализ (только для поэтических текстов) — определение низкоуровневых характеристик текста (фонетика и метроритмика стихотворения);

- ♦ семантический анализ — определение смысловых конструкций с учетом синонимии и связывание именованных сущностей (named entity linking, NEL). Анализ научных текстов обычно ограничивается этим уровнем;

- ♦ прагматический анализ — определение жанрово-стилевых особенностей для художественных текстов; конструкции, определяющие деструктивное влияние для новостных сообщений и т.д.

- ♦ синтез проведенных исследований — определение влияния низших уровней на более высокие, а также агрегация результатов в удобном для восприятия и поиска виде.

Сформулируем требования к функциональности системы, исходя из ее целевого назначения: скрапинг, хранение, потоковая аналитика и формирование аналитических отчетов с визуализацией.

1. Надежное хранение корпусов текстов больших объемов, при этом система должна быть настроена на работу с разнотиповыми текстами: научными, публицистическими, художественными;

2. Быстрый параллельный доступ, фильтрация и агрегация данных с целью потоковой обработки: предобработка, построение тематических моделей и классификаторов, агрегация и выгрузка для отчетов в реальном времени и т.д.;

3. Гибкость и возможность хранения неструктурированных и слабоструктурированных данных для поддержки возможности хранения и доступа к произвольным структурам данных с целью проведения статистического анализа и различных вычислительных экспериментов на основе современных методов анализа текстов.

Структура программной системы должна позволять решать масштабные задачи, состоящие в хранении корпусов объемов нескольких миллионов текстов и пакетной обработки в режиме онлайн нескольких тысяч документов. Таким, например, является проект мониторинга в реальном времени русскоязычных СМИ Республики Казахстан [21], предназначенный для создания отчетов следующих типов:

1. Тематическая структура новостных публикаций в казахстанских электронных СМИ — как на уровне крупных тем (экономика, образование, политика) и подтем (дошкольное образование, единый государственный экзамен, высшее образование и наука), так и на уровне информационных поводов

(конкретных узких тем, описывающих конкретное событие или группу близко связанных событий);

2. Оценка отдельных публикаций, тематик и СМИ по произвольному набору критериев. Такая оценка предполагает предварительную разметку экспертом или коллегией экспертов;

3. Отчеты и оповещения по выявленным аномалиям. Аномалии рассматриваются на двух уровнях: на уровне динамики (например, резкий рост публикаций по определенной теме или резкий рост публикаций с отрицательной оценкой по критерию «тональность») и на тематическом уровне — появление групп публикаций с нестандартной, «аномальной» тематикой, которая ранее не встречалась (например, тема криптовалют, тема феминизма в Казахстане и т.д.);

Первые два типа отчетов могут быть получены как в динамике по времени, так и статично (например, оценка СМИ по определенным критериям за последний год). Отчет по аномалиям предполагает анализ динамики с привязкой публикации ко времени.

Концептуальное проектирование включало формирование возможностей создаваемой программной системы. Создаваемая программная система должна обладать следующими возможностями:

1. Обеспечение доступа к корпусам текстов;
2. Автоматизированная обработка корпуса текстов, хранящихся в базе данных;
3. Занесение полученных характеристик в хранилище (базу данных);
4. Возможность гибкого планирования выполнения различных задач по обработке данных;
5. Статистическая обработка полученных характеристик и их представление в удобном для исследователя виде;
6. Обновление и улучшение применяемых алгоритмов для анализа корпуса текстов.

В рамках текущего исследования поставлена задача проектирования структуры системы обработки корпусов текстов на естественном языке. Область применения данной системы начинается с анализа корпусов текстов публицистического стиля. В дальнейшем область применения системы может быть распространена и на художественные тексты, в силу модульности системы и гибкости применяемых технологий.

Проектируемая система состоит из следующих подсистем:

1. Подсистема обработки данных. Используется совокупность гибридных методов (машинное обучение с учителем и словари);

2. Хранилища данных. Для обеспечения быстрого взаимодействия с пользователем, а также снижения потребления ресурсов используется несколько видов хранилищ;

3. Подсистема построения аналитики по полученным данным.

Информационная система должна учитывать этапы анализа текстов. Структура системы состоит из компонентов, перечисленных при описании постановки задачи. На этапе предобработки выполняется предварительная обработка текста для его дальнейшего анализа. Применяемые методы предобработки зависят от алгоритма, который работает с этими данными (обучение и анализ). Можно выделить следующие виды обработки:

♦ дающие в результате “bag of words”; к этому виду также можно отнести метод TF-IDF;

♦ дающие в результате обработки каждой смысловой единицы корпуса (например, новости) его “embedding” (векторизацию), например, распределение по токенам / словам / фразам / предложениям. В этом случае возможно использование рекуррентных нейронных сетей (recurrent neural networks, RNN);

♦ дающие в результате обработки каждой смысловой единицы корпуса один “text embedding”; для такой предобработки возможно использование стандартных методов классификации.

Структурный анализ применяется для текстов художественного стиля и может быть выполнен существующими на текущий момент инструментами, например, [22]. Семантический анализ может выполняться как на этапе предобработки текста (например, лемматизация слов), так и не выполняться вообще — выбранный инструментарий будет зависеть от методов машинного обучения и может изменяться с течением времени. Прагматический анализ в системе осуществляется с использованием совокупности алгоритмов машинного обучения и составленных частотных словарей. Синтез результатов обеспечивается путем агрегирования результатов в некоторые хранилища и вывод этих результатов в таком виде, который будет с наибольшей точностью удовлетворять потребностям пользователя.

На основе вышеописанных возможностей системы можно выделить следующие требования к разрабатываемой системе:

♦ обеспечивать работу подсистем в виде отдельных независимых компонентов, каждый из которых можно оперативно заменить при необходимости;

- ♦ организовывать распараллеливание вычислений, в том числе на нескольких машинах;
- ♦ реализовывать автоматизированную обработку корпуса текстов по запросу пользователя;
- ♦ вести мониторинг выполнения задач в реальном времени, в том числе обеспечивать оперативное информирование об исключениях;
- ♦ выводить данные по результатам анализа текстов в интерфейсе пользователя;
- ♦ обновлять применяемые в системе алгоритмы для улучшения качества анализа и расширения их области применения.

2. Структура системы

Все компоненты системы организованы в виде Docker-контейнеров. Все контейнеры имеют доступ к одной виртуальной сети, что обеспечивает возможность обмена данными с использованием стандартных сетевых протоколов (TCP). Такая реализация обеспечивает работу подсистем в виде независимых компонентов, каждый из которых можно заменить при необходимости.

Взаимодействие компонентов, — подсистемы построения аналитики и подсистемы обработки данных, — осуществляется с помощью системы хранения. Общая схема взаимодействия компонентов организована по принципу ETL (extract, transform, load): от пользователя поступает запрос на получение данных в Elasticsearch (если данные используются редко) или в Redis (если данные используются часто). Кроме того, подсистема обработки использует Airflow-scheduler, который записывает в Redis информацию о распределении задач по “workers”; они, в свою очередь, отчитываются в Redis о статусе выполнения своих задач. В процессе проектирования могут применяться компоненты сообразно их целевому назначению.

Визуализация структуры системы показана на рисунке 1.

Анализ текстовых корпусов (на данном этапе — корпуса новостных сообщений в казахстанских русскоязычных интернет-СМИ объемом 1,5 млн документов с постоянным пополнением) осуществляется по загрузке “workers”. Новые документы

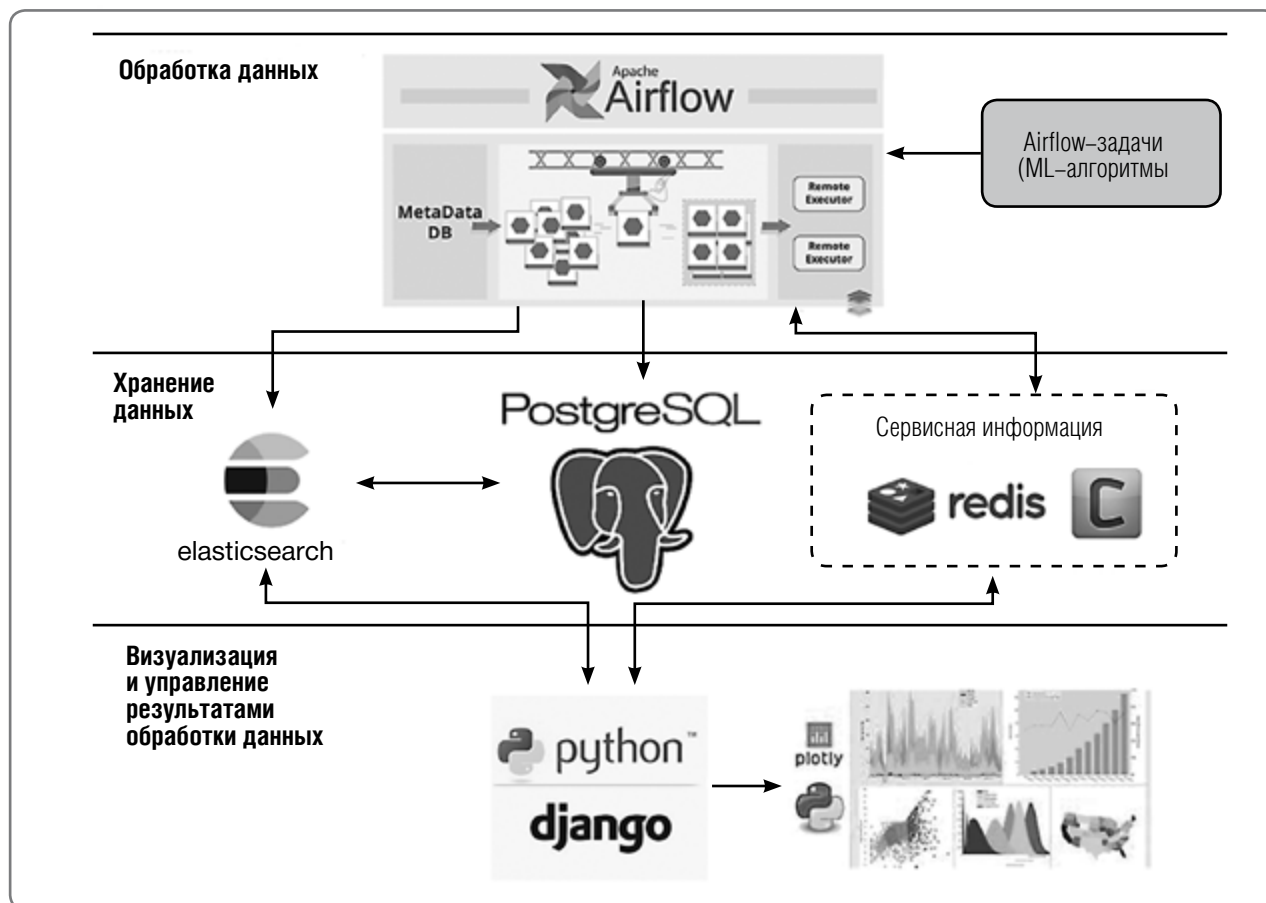


Рис. 1. Структура системы

загружаются в подсистему обработки данных с помощью специального парсера: на данном этапе загрузка происходит вручную по запросу пользователя, в будущем получение новых новостей будет настроено по расписанию. С заданной периодичностью будет выполняться генерация отчетов, требующих большого вычислительного времени; результаты будут размещены в хранилище (такой подход уменьшит время ожидания результатов от подсистемы обработки данных). На основе собранных данных будет выполняться дополнительное обучение модели (1–2 раза в месяц), которое будет включать в себя пересчет набора ключевых характеристик текстового корпуса. В случае, если дообучение модели не будет приводить к увеличению показателя точности (например, в задаче определения тональности текста), предусмотрено использование других ML-алгоритмов или их совокупности.

Ролевая система включает в себя следующие роли:

1. Обычный пользователь — имеет доступ к базовой функциональности системы: поиск, фильтрация, цифровые информационные панели (так называемые дашборды);

2. Расширенный пользователь — имеет доступ к настраиваемым отчетам, автоматическим оповещениям о «горячих темах», возможность проводить

фильтрацию по именованным сущностям (например, человек, организация, регион) в статьях. Такое разделение пользователей обусловлено последующим использованием системы государственными органами;

3. Разработчик — имеет доступ к панели администратора Airflow и к репозиторию, в котором хранятся Airflow DAG. Может добавлять и менять свои задачи, запускать и отслеживать их выполнение;

4. Администратор — супер-пользователь, имеет полный набор прав по работе с системой.

Распределение доступной функциональности по ролям представлена на *рисунке 2*.

В последующих подразделах более подробно описан выбранный инструментарий для каждой из перечисленных подсистем.

2.1. Подсистема обработки данных

В ходе анализа для удовлетворения перечисленных потребностей была выбрана программная платформа с открытым исходным кодом Apache Airflow. Основные компоненты данной платформы:

1. Airflow-worker — основной компонент, выполняющий обработку данных. Может быть горизонтально масштабирован, в том числе на отдельные сервера или облачные виртуальные машины. В

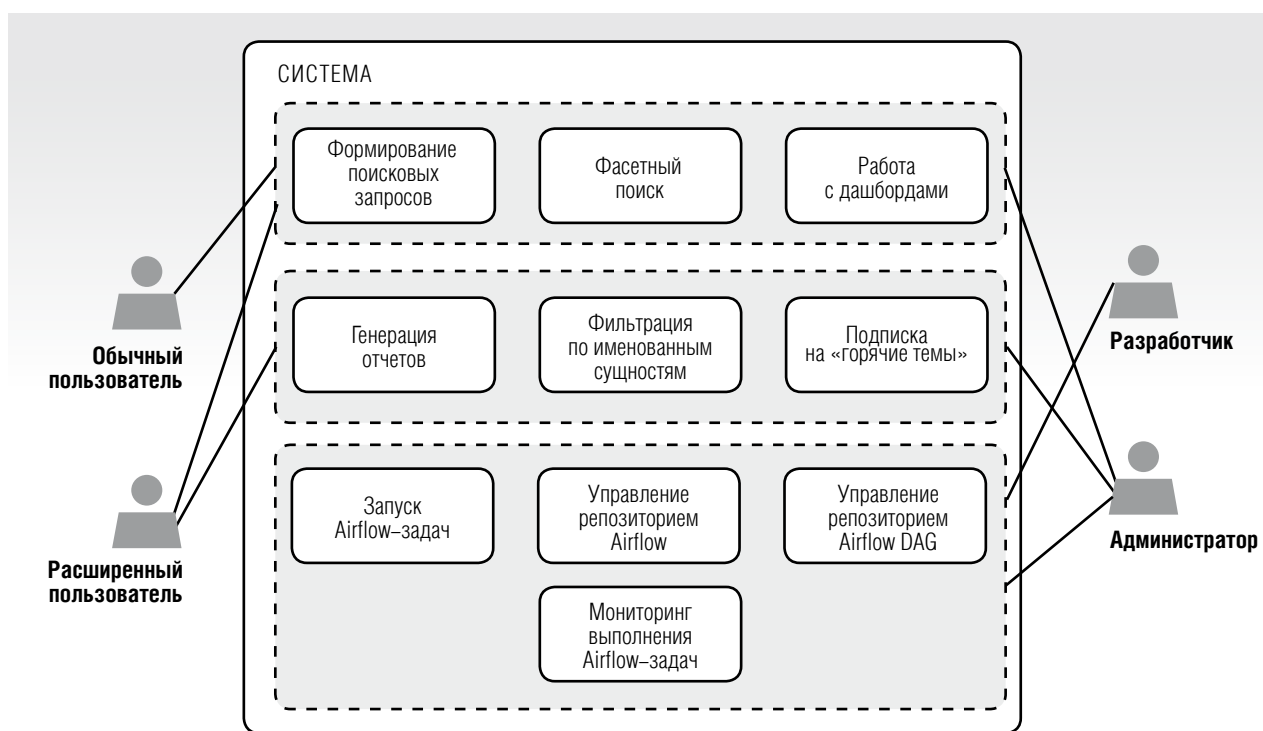


Рис. 2. Распределение доступа к системе по ролям

текущем варианте архитектуры в образ контейнера Airflow-worker заранее встраиваются необходимые зависимости. Однако принципиально процесс инъекции зависимостей может происходить различным образом, в том числе, путем динамичного получения Docker-контейнеров из публичных или приватных репозиторий;

2. Airflow-scheduler — компонент, отвечающий за назначение задач Airflow-workerам в порядке, определенном Airflow DAG-ами. Airflow DAG — нециклический направленный граф, описывающий порядок выполнения определенных задач, а также содержащий информацию о расписании, приоритетах, поведении в случае исключений и т.д.;

3. Airflow web server — веб-интерфейс, позволяющий отслеживать и контролировать ход выполнения задач.

Алгоритмы машинного обучения реализованы в системе как отдельные Airflow-задачи.

2.2. Хранилище

В системе предусмотрено три вида хранилищ:

1. PostgreSQL — выполняет роль персистентного хранилища для структурированных данных. Его использование обусловлено широкими возможностями данной реляционной базы данных (среди свободно распространяемых продуктов) и взаимодействием с широким кругом инструментов. Основные типы данных, хранящиеся в этой базе:

- ♦ новости и метаданные;
- ♦ обработанные данные на уровне разных базовых единиц анализа (токен / слово / фраза / предложение / текст), в том числе векторизации, результаты лемматизации, очистки и др.;
- ♦ результаты проведения тематического моделирования;
- ♦ результаты классификации новостей по различным признакам (тональность, политизированность, социальная значимость и др.)

2. Elasticsearch — in-memory NoSQL хранилище, предназначенное для хранения неструктурированных или слабоструктурированных данных, а также быстрого поиска (в том числе полнотекстового) и фильтрации и потокового доступа. В сравнении с другими NoSQL базами для хранения документов с произвольной структурой, такими как MongoDB и CouchDB, Elasticsearch, выделяется расширенными инструментами для индексирования текста, позволяющими проводить полнотекстовый поиск по большим объемам документов практически в реальном времени. Также ввиду возможности постро-

ения продвинутых индексов для данных, возможно выполнение сложных агрегаций в самой базе, в том числе распределенно. Elasticsearch выполняет несколько функций:

- ♦ основное хранилище для доступа, поиска и фильтрации данных конечным пользователем;
- основное хранилище для ETL (extract, transform. Load) процессов обработки данных, в том числе запись любых промежуточных результатов в свободной форме;

- ♦ хранилище для кэширования определенных результатов вычислений, необходимых для построения дашбордов и отчетов в системе;

ElasticSearch дублирует данные, хранящиеся в PostgreSQL как персистентном хранилище, поскольку Elasticsearch является in-memory базой данных без гарантий относительно персистентности и целостности данных.

3. Redis — быстрое key-value хранилище, используемое для кэширования отдельных страниц и элементов, а также для кэширования сессий авторизации. В Redis хранятся служебные данные, а также кэш страниц и элементов, к которым происходит частый доступ.

Все три основных хранилища системы могут быть легко масштабированы на несколько отдельных компьютеров. Поддерживается как горизонтальное масштабирование, так и репликация, при этом Elasticsearch и Redis показывают близкое к линейному увеличение производительности при горизонтальном масштабировании.

Для хранения служебных данных, таких как состояния выполнения задач, используется отдельный кластер PostgreSQL. Для запуска и отслеживания прогресса задач используется связка Celery+Redis.

2.3. Подсистема построения аналитических отчетов

Интерфейс подсистемы представляет их себя HTML+CSS+JS веб-сайт с доступом по протоколу HTTP. Выбор стека технологий HTML+CSS+JS для интерфейса оправдан тем, что именно веб-интерфейсы являются наиболее распространенной и повсеместно поддерживаемой технологией построения интерфейсов пользователя, с возможностью доступа с любых устройств и операционных систем из любой точки мира, при условии наличия веб-браузера и подключения к сети интернет.

Веб-приложение реализовано на Python фреймворке Django, в качестве веб-сервера выступает Gunicorn, реверс-прокси — Nginx. Веб-приложение

имеет доступ как к персистентному хранилищу PostgreSQL, так и к Elasticsearch. В Django есть встроенный Cache Framework, который позволяет кэшировать страницы и элементы страниц в Redis. Например, если предполагается, что на страницу будут заходить часто, а считается она долго (например, три секунды), то такую страницу лучше кэшировать в Redis, что позволит ускорить доступ к необходимым данным.

Фреймворк Django был выбран по следующим причинам:

1. Возможность быстрой Agile-разработки веб-интерфейса и модели хранения данных. Скорость разработки с применением Django значительно выше, чем при использовании таких аналогов, как Spring (Java), Yii (PHP) и Node.js (JavaScript);

2. Ввиду того, что проект предполагает проведение анализа данных и построение моделей машинного обучения, в том числе для обработки естественных языков (natural language processing, NLP), язык Python является оптимальным выбором, так как большая часть “state-of-the-art” моделей и методов ML/AI и NLP разрабатывается сообществом именно на языке Python;

3. Django ORM лучше работает с базой данных PostgreSQL.

Веб-приложение реализует ряд страниц для фильтрации, поиска и доступа к различным дашбордам и отчетам. На первом этапе реализации системы дашборды считаются заранее вручную. При дальнейшем развитии системы будет использоваться фасетный поиск (faceted search) из Elastic Search. Для формирования графиков будет использоваться Python-библиотека визуализации данных Plotly.

Примерами информации, которую могут отображать графики, являются:

Динамика по тональности (а также манипулятивность, политизированность и др.), тематикам, количеству просмотров и комментариев с фильтрацией по СМИ, тематикам, авторам, тегам (включая полнотекстовый поиск);

Распределение тематик, значений тональности и др. в статике, с фильтрациями и поиском;

Выявление выбросов (аномалий) для аналитических отчетов (самые «горячие» темы и др.).

Заключение

В статье сформулированы требования к структуре программной системы, предназначенной для обработки больших (объемом более 1 млн единиц) корпусов текстовых документов, включая, в частности, реализацию автоматизированной обработки корпуса текстов, возможность распараллеливания вычислений и составление аналитических отчетов. Также определены ролевые функции пользователей. На этой основе разработана структура программной системы, включающая подсистему обработки данных на основе сервиса Apache Airflow, несколько видов хранилищ, обеспечивающих быстрый доступ к компонентам системы, и подсистему построения аналитических отчетов, которая формируется в приложении Python Django с использованием библиотеки визуализации Plotly. Гибкость системы позволяет подбирать разную совокупность алгоритмов машинного обучения, обеспечивая прирост качества и точности анализа корпусов текстовых документов.

В настоящее время система используется для анализа корпусов новостных текстов с целью сравнительного анализа новостных корпусов СМИ Казахстана. ■

Благодарности

Работа финансировалась грантами BR05236839 Министерства образования и науки Республики Казахстан, при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 19-31-27001 и в рамках темы государственного задания № AAAA-A17-117120670141-7 (№ 0316-2018-0009).

Литература

1. Барахнин В.Б., Кучин Я.И., Мухамедиев Р.И. К вопросу о постановке задачи выявления фейковых новостей и алгоритмах их мониторинга // Материалы III Международной научной конференции «Информатика и прикладная математика». Алматы, 26–29 сентября 2018 г. С.113–118.
2. Шокин Ю.И., Федотов А.М., Барахнин В.Б. Технология создания программных систем информационного обеспечения научной деятельности, работающих со слабоструктурированными документами // Вычислительные технологии. 2010. Т.15. № 6. С. 111–125.
3. Барахнин В.Б., Кожемякина О.Ю., Борзилова Ю.С. Проектирование информационной системы представления результатов комплексного анализа поэтических текстов // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2019. Т. 17, № 1. С. 5–17. DOI: 10.25205/1818-7900-2019-17-1-5-17.

4. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика / Е.И. Большакова и [др.]. М.: МИЭМ, 2011.
5. Pang B., Lee L., Vaithyanathan S. Thumbs up? Sentiment classification using machine learning techniques // Proceedings of the 2002 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP 2002). Philadelphia, PA, USA, 6–7 July 2002. P. 79–86. DOI: 10.3115/1118693.1118704.
6. Choi Y., Cardie Cl., Riloff E., Patwardhan S. Identifying sources of opinions with conditional random fields and extraction patterns // Proceedings of the Conference on Human Language Technology and Empirical Methods in Natural Language Processing (HLT 2005). Vancouver, British Columbia, Canada, 6–8 October 2005. P. 355–362.
7. Manning C.D. Part-of-speech tagging from 97% to 100%: Is it time for some linguistics? // Proceedings of the 12th International Conference “Computational Linguistics and Intelligent Text Processing” (CICLing 2011). Tokyo, Japan, 20–26 February 2011. P. 171–189.
8. Mukhamediev R., et al. Assessment of the dynamics of publication activity in the field of natural language processing and deep learning // Proceedings of the 4th International Conference on Digital Transformation and Global Society. St. Petersburg, 19–21 June 2019. Springer, 2020 (in press).
9. Tarasov D.S. Deep recurrent neural networks for multiple language aspect-based sentiment analysis // Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Proceedings of Annual International Conference “Dialogue–2015”. 2015. No 14 (21). Vol. 2. P. 65–74.
10. Garcia-Moya L., Anaya-Sanchez H., Berlanga-Llavari R. Retrieving product features and opinions from customer reviews // IEEE Intelligent Systems. 2013. Vol. 28. No 3. P. 19–27. DOI: 10.1109/MIS.2013.37.
11. Mavljutov R.R., Ostapuk N.A. Using basic syntactic relations for sentiment analysis // Proceedings of the International Conference “Dialogue 2013”. Bekasovo, Russia, 29 May – 2 June 2013. P. 101–110.
12. Prabowo R., Thelwall M. Sentiment analysis: A combined approach // Journal of Informetrics. 2009. Vol. 3, No 2. P. 143–157. DOI: 10.1016/j.joi.2009.01.003.
13. Dai W., Xue G.-R., Yang Q., Yu Y. Transferring naive Bayes classifiers for text classification // Proceedings of the 22nd National Conference on Artificial Intelligence (AAAI 07). Vancouver, British Columbia, Canada, 26–27 July 2007. Vol. 1. P. 540–545.
14. Cortes C., Vapnik V. Support-vector networks // Machine Learning. 1995. Vol. 20. No 3. P. 273–297. DOI: 10.1023/A:1022627411411.
15. Friedman J.H. Greedy function approximation: a gradient boosting machine // Annals of Statistics. 2001. Vol. 29. No 5. P. 1189–1232.
16. Zhang G.P. Neural networks for classification: A survey // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part C (Applications and Reviews). 2000. Vol. 30. No 4. P. 451–462.
17. Schmidhuber J. Deep learning in neural networks: An overview // Neural Networks. 2015. No 61. P. 85–117. DOI: 10.1016/j.neunet.2014.09.003.
18. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding // arXiv:1810.04805. 2018.
19. Vladimirova T.N., Vinogradova M.V., Vlasov A.I., Shatsky A.A. Assessment of news items objectivity in mass media of countries with intelligence systems: The Brexit case // Media Watch. 2019. Vol. 10. No 3. P. 471–483. DOI: 10.15655/mw/2019/v10i3/49680.
20. Романов А.С., Васильева М.И., Куртукова А.В., Мещеряков Р.В. Анализ тональности текста с использованием методов машинного обучения // 2nd International Conference “R. Piotrowski’s Readings in Language Engineering and Applied Linguistics (Saint-Petersburg, 2017). 2018. С. 86–95.
21. Methods to identify the destructive information / V.B. Barakhnin [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1405. No 1. DOI: 10.1088/1742-6596/1405/1/012004.
22. Barakhnin V.B., Kozhemyakina O.Y., Zabaykin A.V. The algorithms of complex analysis of Russian poetic texts for the purpose of automation of the process of creation of metric reference books and concordances // CEUR Workshop Proceedings. 2014. Vol. 1536. P. 138–143.

Об авторах

Баракнин Владимир Борисович

доктор технических наук, доцент;

ведущий научный сотрудник, Институт вычислительных технологий, Сибирское отделение Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр-т Академика Лаврентьева, д. 6;

профессор факультета информационных технологий, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 1;

E-mail: bar@ict.nsc.ru

ORCID: 0000-0003-3299-0507

Кожемякина Ольга Юрьевна

кандидат филологических наук;

старший научный сотрудник, Институт вычислительных технологий, Сибирское отделение Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр-т Академика Лаврентьева, д. 6;

E-mail: olgakozhemyakina@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3619-1120

Мухамедиев Равиль Ильгизович

доктор инженерных наук;

профессор, Satbayev University, Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, д. 22а;

ведущий научный сотрудник, Институт информационных и вычислительных технологий, Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Пушкина, д. 125;

профессор, Университет ISMA, Латвия, LV-1019, г. Рига, ул. Ломоносова, 1;

E-mail: ravil.muhamedyev@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3727-043X

Борзилова Юлия Сергеевна

аспирант, Институт вычислительных технологий, Сибирское отделение Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр-т Академика Лаврентьева, д. 6;

E-mail: i.borzilova@alumni.nsu.ru

ORCID: 0000-0002-8265-9356

Якунин Кирилл Олегович

аспирант, Satbayev University, Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, д. 22а;

инженер-программист, Институт информационных и вычислительных технологий, Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Пушкина, д. 125;

E-mail: yakunin.k@mail.ru

ORCID: 0000-0002-7378-9212

The design of the structure of the software system for processing text document corpus

Vladimir B. Barakhnin^{a,b}

E-mail: bar@ict.nsc.ru

Olga Yu. Kozhemyakina^a

E-mail: olgakozhemyakina@mail.ru

Ravil I. Mukhamediev^{c,d,e}

E-mail: ravil.muhamedyev@gmail.com

Yulia S. Borzilova^a

E-mail: i.borzilova@alumni.nsu.ru

Kirill O. Yakunin^{c,d}

E-mail: yakunin.k@mail.ru

^a Institute of Computational Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Address: 6, Academician M.A. Lavrentiev Avenue, Novosibirsk 630090, Russia

^b Novosibirsk State University
Address: 1, Pirogova Street, Novosibirsk 630090, Russia

^c Satbayev University
Address: 22a, Satbayev Street, Almaty 050013, Kazakhstan

^d Institute of Information and Computational Technologies
Address: 125, Pushkin Street, Almaty 050010, Kazakhstan

^e ISMA University
Address: 1, Lomonosova Street, Riga LV-1019, Latvia

Abstract

One of the most difficult tasks in the field of data mining is the development of universal tools for the analysis of texts written in the literary and business styles. A popular path in the development of algorithms for processing text document corpus is the use of machine learning methods that allow one to solve NLP (natural language processing) tasks. The basis for research in the field of natural language processing is to be found in the following factors: the specificity of the structure of literary and business style texts (all of which requires the formation of separate datasets and, in the case of machine learning methods, the additional feature selection) and the lack of complete systems of mass processing of text documents for the Russian language (in relation to the scientific community—in the commercial environment, there are some systems of smaller scale, which are solving highly specialized tasks, for example, the definition of the tonality of the text). The aim of the current study is to design and further develop the structure of a text document corpus processing system. The design took into account the requirements for large-scale systems: modularity, the ability to scale components, the conditional independence of components. The system we designed is a set of components, each of which is formed and used in the form of Docker-containers. The levels of the system are: the data processing level, the data storage level, the visualization and management of the results of data processing (visualization and management level). At the data processing level, the text documents (for example, news events) are collected (scrapped) and further processed using an ensemble of machine learning methods, each of which is implemented in the system as a separate Airflow-task. The results are placed for storage in a relational database; ElasticSearch is used to increase the speed of data search (more than 1 million units). The visualization of statistics which is obtained as a result of the algorithms is carried out using the Plotly plugin. The administration and the viewing of processed texts are available through a web-interface using the Django framework. The general scheme of the interaction of components is organized on the principle of ETL (extract, transform, load). Currently the system is used to analyze the corpus of news texts in order to identify information of a destructive nature. In the future, we expect to improve the system and to publish the components in the open repository GitHub for access by the scientific community.

Key words: natural language processing; streaming word processing; text analysis information system; development of a text corpus processing system.

Citation: Barakhnin V.B., Kozhemyakina O.Yu., Mukhamediev R.I., Borzilova Yu.S., Yakunin K.O. (2019) The design of the structure of the software system for processing text document corpus. *Business Informatics*, vol. 13, no 4, pp. 60–72. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.4.60.72

References

1. Barakhnin V.B., Kuchin Ya.I., Mukhamediev R.I. (2018). On the problem of identification of fake news and of the algorithms for monitoring them. Proceedings of the *III International Conference on Informatics and Applied Mathematics, Almaty, Kazakhstan, 26–29 September 2018*, pp.113–118 (in Russian).
2. Shokin Yu.I., Fedotov A.M., Barakhnin V.B. (2010) Technologies for construction of processing software systems dealing with semistructured documents aimed at information support of scientific activity. *Computational Technologies*, vol. 15, no 6, pp. 111–125 (in Russian).
3. Barakhnin V.B., Kozhemyakina O.Yu., Borzilova Yu.S. (2019) The development of the information system of the representation of the complex analysis results for the poetic texts. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, vol. 17, no 1, pp. 5–17 (in Russian). DOI: 10.25205/1818-7900-2019-17-1-5-17.
4. Bolshakova E.I., Klishinskii E.S., Lande D.V., Noskov A.A., Peskova O.V., Yagunova E.V. (2011) *Automatic natural language text processing and computer linguistics*. Moscow: MIEM (in Russian).
5. Pang B., Lee L., Vaithyanathan S. (2002) Thumbs up? Sentiment classification using machine learning techniques. Proceedings of the *2002 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP 2002), Philadelphia, PA, USA, 6–7 July 2002*, pp. 79–86. DOI: 10.3115/1118693.1118704.
6. Choi Y., Cardie CL., Riloff E., Patwardhan S. (2005) Identifying sources of opinions with conditional random fields and extraction patterns. Proceedings of the *Conference on Human Language Technology and Empirical Methods in Natural Language Processing (HLT 2005), Vancouver, British Columbia, Canada, 6–8 October 2005*, pp. 355–362.
7. Manning C.D. (2011) Part-of-speech tagging from 97% to 100%: Is it time for some linguistics? Proceedings of the *12th International Conference “Computational Linguistics and Intelligent Text Processing” (CICLing 2011), Tokyo, Japan, 20–26 February 2011*, pp. 171–189.
8. Mukhamediev R., et al. (2020) Assessment of the dynamics of publication activity in the field of natural language processing and deep learning. Proceedings of the *4th International Conference on Digital Transformation and Global Society, St. Petersburg, Russia, 19–21 June 2019*. Springer, 2020 (in press).
9. Tarasov D.S. (2015) Deep recurrent neural networks for multiple language aspect-based sentiment analysis. *Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Proceedings of Annual International Conference “Dialogue–2015”*, no 14 (21), vol. 2, pp. 65–74.
10. Garcia-Moya L., Anaya-Sanchez H., Berlanga-Llavori R. (2013) Retrieving product features and opinions from customer reviews. *IEEE Intelligent Systems*, vol. 28, no 3, pp. 19–27. DOI: 10.1109/MIS.2013.37.
11. Mavljutov R.R., Ostapuk N.A. (2013) Using basic syntactic relations for sentiment analysis. Proceedings of the *International Conference “Dialogue 2013”, Bekasovo, Russia, 29 May – 2 June 2013*, pp. 101–110.
12. Prabowo R., Thelwall M. (2009) Sentiment analysis: A combined approach. *Journal of Informetrics*, vol. 3, no 2, pp. 143–157. DOI: 10.1016/j.joi.2009.01.003.

13. Dai W., Xue G.-R., Yang Q., Yu Y. (2007) Transferring naive Bayes classifiers for text classification. *Proceedings of the 22nd National Conference on Artificial Intelligence (AAAI 07). Vancouver, British Columbia, Canada, 26–27 July 2007*, vol. 1, pp. 540–545.
14. Cortes C., Vapnik V. (1995) Support-vector networks. *Machine Learning*, vol. 20, no 3, pp. 273–297. DOI: 10.1023/A:1022627411411.
15. Friedman J.H. (2001) Greedy function approximation: a gradient boosting machine. *Annals of Statistics*, vol. 29, no 5, pp. 1189–1232.
16. Zhang G.P. (2000) Neural networks for classification: A survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part C (Applications and Reviews)*, vol. 30, no 4, pp. 451–462.
17. Schmidhuber J. (2015) Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*, no 61, pp. 85–117. DOI: 10.1016/j.neunet.2014.09.003.
18. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. (2018) BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *arXiv:1810.04805*.
19. Vladimirova T.N., Vinogradova M.V., Vlasov A.I., Shatsky A.A. (2019) Assessment of news items objectivity in mass media of countries with intelligence systems: The Brexit case. *Media Watch*, vol. 10, no 3, pp. 471–483. DOI: 10.15655/mw/2019/v10i3/49680.
20. Romanov A.S., Vasilieva M.I., Kurtukova A.V., Meshcheryakov R.V. (2018) Sentiment analysis of text using machine learning techniques. *Proceedings of the 2nd International Conference “R. Piotrowski’s Readings in Language Engineering and Applied Linguistics (Saint-Petersburg, 2017)”*, pp. 86–95 (in Russian).
21. Barakhnin V.B., Mukhamedyev R.I., Mussabaev R.R., Kozhemyakina O.Yu., Issayeva A., Kuchin Ya.I., Murzakhmetov S.B., Yakunin K.O. (2019) Methods to identify the destructive information. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1405, no 1. DOI: 10.1088/1742-6596/1405/1/012004.
22. Barakhnin V.B., Kozhemyakina O.Y., Zabaykin A.V. (2014) The algorithms of complex analysis of Russian poetic texts for the purpose of automation of the process of creation of metric reference books and concordances. *CEUR Workshop Proceedings*, vol. 1536, pp. 138–143.

About the authors

Vladimir B. Barakhnin

Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor;
Leader Researcher, Institute of Computational Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
6, Academician M.A. Lavrentiev Avenue, Novosibirsk 630090, Russia;
Professor, Faculty of Information Technologies, Novosibirsk State University, 1, Pirogova Street, Novosibirsk 630090, Russia;
E-mail: bar@ict.nsc.ru
ORCID: 0000-0003-3299-0507

Olga Yu. Kozhemyakina

Cand. Sci. (Philol.);
Senior Researcher, Institute of Computational Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
6, Academician M.A. Lavrentiev Avenue, Novosibirsk 630090, Russia;
E-mail: olgakozhemyakina@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3619-1120

Ravil I. Mukhamediev

Dr. Sci. (Eng.);
Professor, Satbayev University, 22a, Satbayev Street, Almaty 050013, Kazakhstan;
Leader Researcher, Institute of Information and Computational Technologies, 125, Pushkin Street, Almaty 050010, Kazakhstan;
Professor, ISMA University, 1, Lomonosova Street, Riga LV-1019, Latvia;
E-mail: ravil.muhamedyev@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3727-043X

Yulia S. Borzilova

Doctoral Student, Institute of Computational Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
6, Academician M.A. Lavrentiev Avenue, Novosibirsk 630090, Russia;
E-mail: i.borzilova@alumni.nsu.ru
ORCID: 0000-0002-8265-9356

Kirill O. Yakunin

Doctoral Student, Satbayev University, 22a, Satbayev Street, Almaty 050013, Kazakhstan;
Developer Engineer, Institute of Information and Computational Technologies, 125, Pushkin Street, Almaty 050010, Kazakhstan;
E-mail: yakunin.k@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7378-9212

Применение метода комитетов к анализу технических индикаторов фондового рынка

Н.П. Чернавин 

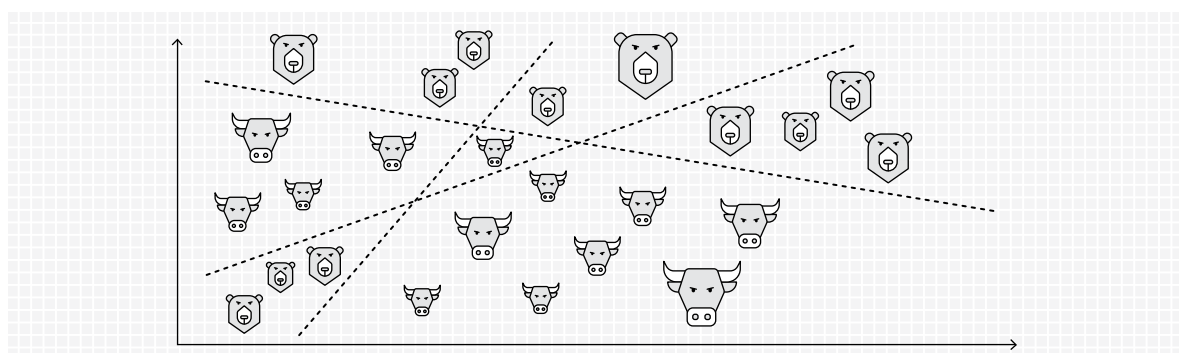
E-mail: ch_k@mail.ru

Институт экономики, Уральское отделение Российской академии наук
Адрес: 620014, г. Екатеринбург, ул. Московская, д. 29

Аннотация

В статье рассматриваются проблемы применения метода комитетов для принятия решений в условиях поступления различных сигналов от технических индикаторов фондового рынка. Метод комитетов является методом классификации данных с учетом нелинейных зависимостей и предусматривает построение группы линейных классификаторов. В рамках данного исследования основой для построения комитетов служит единая модель частично-целочисленного программирования, в рамках которой реализованы различные логики комитетных конструкций. В качестве предмета исследования выступает взаимосвязь показателей технических индикаторов фондового рынка с ценами биржевых финансовых инструментов. Цель исследования — показать эффективность построения комитетных конструкций для решения задач прогнозирования стоимости финансовых инструментов, котирующихся на фондовых рынках. Для достижения указанной цели были собраны основные биржевые данные по акциям ПАО «Сбербанк» (Московская фондовая биржа) за период с 2010 по 2019 годы, на основании которых были рассчитаны технические индикаторы и ряд взаимосвязанных с ними параметров. Эти показатели были использованы в качестве данных для комитетных моделей с различным числом членов комитета и логик голосования. В результате были получены решающие правила, применение которых при ведении спекулятивных торгов на фондовой бирже способно приносить стабильную прибыль. Для сравнения также приведены решения аналогичной задачи классическими методами классификации. Проведенное сравнение показало, что результаты, схожие с комитетным решением по качеству классификации, могут быть получены в рамках методов, способных работать с нелинейными зависимостями данных. Исследование может представлять интерес для профессиональных трейдеров, инвестиционных аналитиков, специалистов по анализу данных и студентов математических и финансовых специальностей.

Графическая аннотация



Ключевые слова: метод комитетов; биржа; технический анализ; машинное обучение.

Цитирование: Чернавин Н.П. Применение метода комитетов к анализу технических индикаторов фондового рынка // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 4. С. 73–86. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.4.73.86

Введение

В современном мире методы технического анализа могут быть по праву названы наиболее популярными инструментом прогнозирования котировок ценных бумаг на фондовых и валютных биржах. Технический анализ представляет собой совокупность методов прогнозирования динамики биржевых котировок ценных бумаг через изучение внутренних факторов рынка, таких как изменения цены, объемов торгов, открытого интереса и т.д. Популярность методов технического анализа во многом обусловлена наличием, с одной стороны, простых аналитических методов, не требующих специальных знаний, а с другой стороны — возможностью получения экономической выгоды от результата анализа для практически любого человека, обладающего минимальными средствами для открытия биржевого счета.

Для представления общей картины методов технического анализа на *рисунке 1* представлена классификация методов по сложности обработки исходных данных (составлено автором на основе [1, 2]).

В соответствии с представленной схемой, в рамках технического анализа различают формально-аналитические и визуально-графические методы. Первые изучают изменение биржевых показате-

лей ценных бумаг за прошедший период и на этой основе прогнозируют рост или падение биржевых цен, вторые — предполагают анализ через изучение графических моделей, построенных по биржевым показателям. В данной статье изучается применение метода комитетов для оценки результатов технического анализа цен акций.

Метод комитетов относится к алгоритмам машинного обучения для решения задач бинарной классификации. Термин «комитетная конструкция» был впервые упомянут в 1965 году, в статье по распознаванию образов С.М. Эйблоу и Д.Дж. Кейлора [3]. Значимые результаты по методу комитетов в 1970-е годы были представлены в работах М.Л. Осборна и Р.А. Такиямы [4, 5]. Отечественные теоретические и практические разработки в данной области проводились, главным образом, Екатеринбургской школой распознавания образов Института математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН, в работах Вл.Д. Мазурова и М.Ю. Хачая [6–16].

Также достойны внимания исследования по оптимизации комитетных конструкций по степени уверенности в принятом решении, которые были проведены Б.М. Кувшиновым и О.В. Ширяевым [17, 18], а также сведение комитета к проблеме частично-целочисленного программирования в работах Ф.П. Чернавина и О.И. Никонова [19–22].

1. Методология исследования

Комитетные конструкции используются для решения задач нелинейного дискриминантного анализа. Дискриминантный анализ представляет собой группу методов машинного обучения, позволяющих выявлять различия между группами и дающих возможность классифицировать объекты по принципу максимального сходства. Необходимым условием для применения дискриминантного анализа является наличие совокупности признаков объектов (переменных) [23], включая классифицирующую (зависимую) переменную, представляющую собой значение класса объекта, и дискриминационные (независимые) переменные, по которым выявляются различия между объектами с разной классовой принадлежностью.

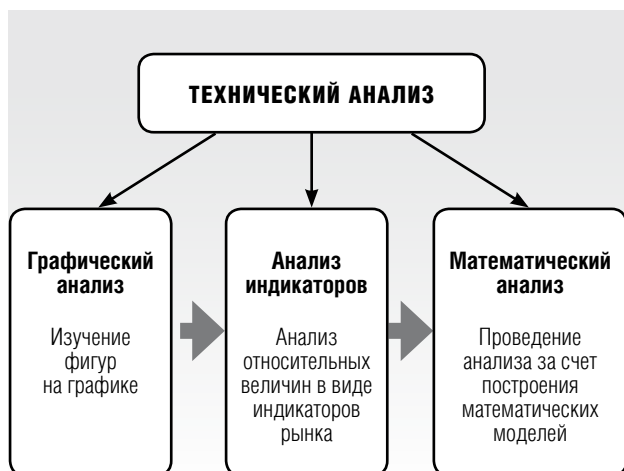


Рис. 1. Классификация методов технического анализа по сложности обработки данных

Итогом дискриминантного анализа является некоторая дискриминантная функция. Каноническая дискриминантная функция линейного вида имеет следующее математическое представление [23]:

$$d = \beta_0 + \sum_{i \in I} (x_i \cdot \beta_i), j \in J, \quad (1)$$

где d — классифицирующая переменная;

I — множество признаков;

J — множество всех изучаемых объектов в пространстве i -го числа признаков;

β_0 — свободный член, обеспечивающий выполнение требуемых условий;

β_i — коэффициент дискриминантной функции для i -го признака;

x_{ij} — дискриминационные переменные для i -го признака j -го объекта.

В рамках комитетной конструкции используется несколько дискриминационных функций, называемых членами комитетов. В зависимости от принимаемого значения классифицирующей переменной, говорят о том, что член комитета голосует «за» или «против» определенного решения. Итоговое решение принимается на основании решения каждого члена с помощью их обработки с использованием логики комитета. Существует три основных логики комитета: единогласия, большинства и старшинства (далее по тексту — КЕ, КБ и КС соответственно).

Для пояснения разницы между различными логиками комитета рассмотрим графические примеры для класса объектов «кружки» и «звездочки», характеризуемыми двумя признаками, представленными в виде значений по осям X_1 и X_2 . Соответственно, выполняются необходимые условия для проведения дискриминантного анализа в виде наличия классифицирующей переменной (бинарного разделения на классы: допустим, «кружки» = 0, а «звездочки» = 1), а также наличия дискриминационных переменных, выраженных значениями каждого объекта по осям X_1 и X_2 . Результаты дискриминационного анализа отображаются в виде линий, представляющих собой отдельные члены комитета (линейные дискриминантные функции), а стрелками у каждой линии обозначается направление голосования соответствующего члена комитета.

В случае КЕ требуется, чтобы все члены комитета проголосовали единогласно за принадлежность объекта к одному классу. Соответственно, все объекты, за которые члены комитета проголосовали не единогласно, будут относиться к другому классу.

Графический пример КЕ из трех членов представлен на *рисунке 2*.

На *рисунке 2* видно, что «кружки» находятся в области графика, за которую все члены комитета проголосовали единогласно. Все наблюдения в остальных областях будут содержать «звездочки».

В свою очередь, в рамках КБ решение о принадлежности объекта к классу принимается при наличии большинства голосов членов комитета. Графический пример такого комитета представлен на *рисунке 3*.

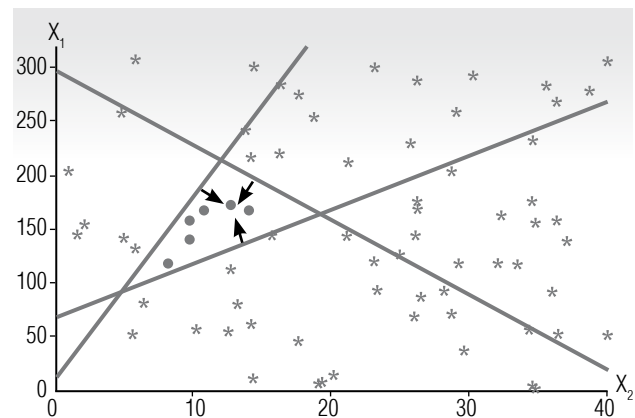


Рис. 2. Пример КЕ в пространстве двух признаков

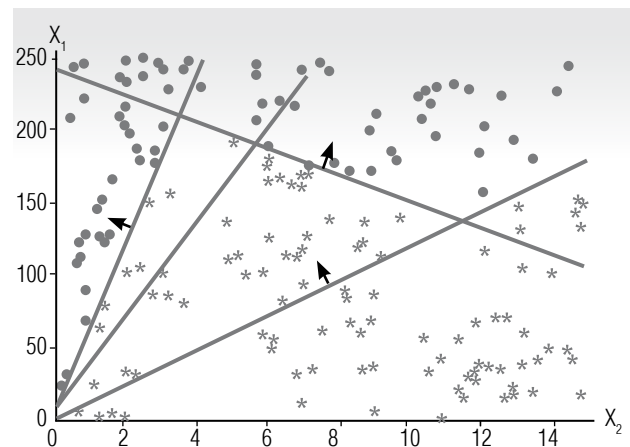


Рис. 3. Пример КБ в пространстве двух признаков

На *рисунке 3* видно, что «кружки» находятся в областях графика, за которую проголосовали хотя бы два (или более) члена комитета. Все объекты в остальных областях будут содержать «звездочки».

В последней из рассматриваемых логик используется принцип старшинства, когда разные члены

комитета могут обладать различными весами, определяющими их значимость при голосовании. Соответственно, решение о принадлежности к классу принимается при достижении в рамках комитета определенного уровня суммы весов за решение. Графический пример КС представлен на *рисунке 4*, где, в дополнение к предыдущим обозначениям, линиям соответствуют веса соответствующих членов комитета.

На *рисунке 4* видно, что «кружки» находятся в областях графика, где сумма весов голосования больше трех. Все объекты в остальных областях будут содержать «звездочки».

Представленные примеры отражают случаи, когда комитет позволяет абсолютно точно разделить объекты на классы. Однако надо понимать, что в реальной жизни, как правило, не все объекты удастся точно отнести к определенному классу. Поэтому комитет должен разделить объекты таким образом, чтобы качество разделения на классы было наилучшим.

Допустим, что существует некоторое исходное разделение объектов на классы кружков и крестиков. На *рисунке 5* представлен графический пример такой классификации.

На *рисунке 5* представлен случай КБ из трех членов в пространстве двух признаков, когда при классификации ряд объектов был отнесен не к тому классу. Для наглядности такие объекты обведены на графике. Наличие ошибок классификации комитетом является естественным явлением, которое может быть связано с множеством факторов, таких как неверная исходная разметка объектов на классы, недостаток исходной информации для более точного разделе-

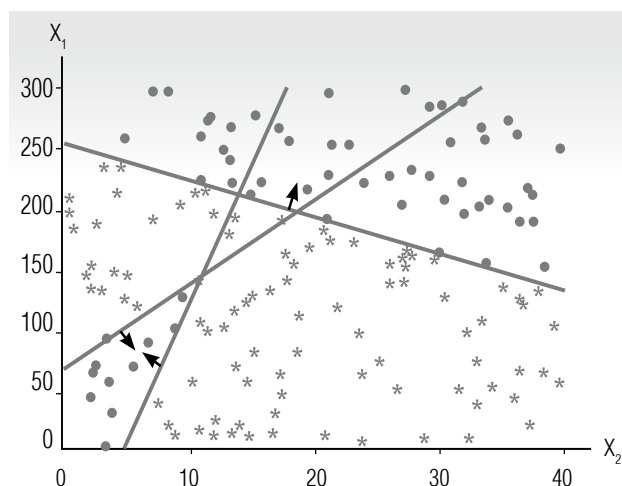


Рис. 4. Пример КБ в пространстве двух признаков

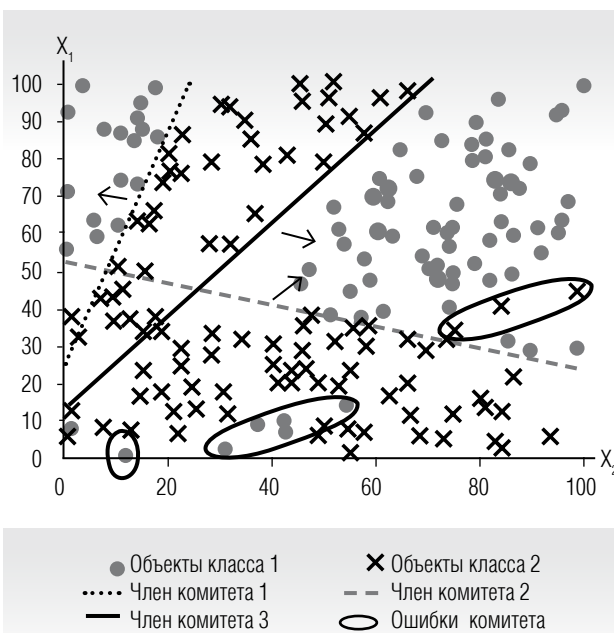


Рис. 5. Пример КБ в пространстве двух признаков при наличии ошибок классификации

ния, недостаточное количество членов комитета, неверно выбранная логика и т.д.

Математически комитет может быть представлен, как модель частично-целочисленного программирования. Ниже представлен пример такой модели:

$$\begin{aligned} \sum_{i \in I} (x_{ij} \cdot \beta_i^t) + \beta_0^t - L \cdot z_j^t &\leq -\varepsilon, j \in J_1, t \in T, \\ \sum_{i \in I} (x_{ij} \cdot \beta_i^t) + \beta_0^t + L \cdot z_j^t &\geq \varepsilon, j \in J_2, t \in T, \\ \sum_{t \in T} (z_j^t \cdot V^t) &\leq m + L \cdot d_j, j \in J_1, \\ \sum_{t \in T} (z_j^t \cdot V^t) &\leq sv - m - 1 + L \cdot d_j, j \in J_2, \\ \sum_{j \in J_1} (d_j) &\leq K_1 \cdot \varphi, \\ \sum_{j \in J_2} (d_j) &\leq K_2 \cdot \varphi, \\ \min \varphi. \end{aligned} \quad (2)$$

где J_1 — множество объектов в пространстве i -го числа признаков, принадлежащих к классу 1;

J_2 — множество объектов в пространстве i -го числа признаков, принадлежащих к классу 2;

I — множество признаков;

T — множество членов комитета;

i, j, t — индексы соответствующих множеств;

x_{ij} — i -й признак j -го наблюдения (дискриминационные переменные);

β_i^t — коэффициент для i -го признака t -го члена комитета (коэффициент дискриминантной функции);

β_0^t — свободный член t -го члена комитета (коэффициент дискриминантной функции);

z_j^t — булева переменная, определяющая направление голосования t -й гиперплоскости;

d_j — булева переменная для фиксации ошибок классификации комитета для j -го наблюдения;

L — некоторое большое число (константа), относительно размерности параметров в решаемой задаче (введение данной константы необходимо для того, чтобы $L \cdot z_j^t$ и $L \cdot d_j$, могли выполнять функции невязки в неравенствах);

ε — некоторое малое число (константа), близкое 0 (введение данной константы необходимо для того, чтобы используемые в модели нестрогие неравенства были аналогичны строгим неравенствам $>$ или < 0 ; таким образом удастся исключить решение, при котором все коэффициенты и свободный член равны нулю);

V^t — вес t -й гиперплоскости (константа, соответствующая степени 2);

φ — величина Чебышевской аппроксимации (минимакс). Использование данной величины для минимизации позволяет искать оптимальное решение таким образом, чтобы одновременно минимизировалась доля ошибок классификации для каждого класса объектов;

sv — соответствует сумме весов всех комитетов ($\sum_{t \in T} V^t$);

m — меньшинство для расчета комитета (переменная в диапазоне $0 \leq m \leq sv-1$).

Модель (2) может быть использована для любой из описанных логик комитета. Если $V = 1$, то в зависимости от m может быть построен КЕ ($m = 0$ или $m = sv-1$) или КБ ($0 < m < sv-1$). Если $V = 2^t$, то в зависимости от m может быть построен КЕ ($m = 0$ или $m = sv-1$) или КС ($0 < m < sv-1$).

2. Описание анализируемых признаков

Основной проблемой методов технического анализа является наличие множества ложных сигналов, отсеивание которых требует опыта и интуиции. Попробуем провести такое отсеивание с применением комитетных конструкций. Для исследования технического анализа методом комитетов было выбрано 10 индикаторов рынка (таблица 1).

За основу выбора индикаторов взят набор индикаторов, описанный А. Элдером в его системе «тройного выбора» [24]. При этом сама философия системы «тройного выбора», связанная с тройным просеиванием сделки перед принятием решения, не была сохранена, так как предполагается, что метод комитетов на основе композиции индикаторов способен выявить решающее правило, обладающее большей потенциальной прибылью.

Рассмотрим более подробно расчет показателей, представленных в таблице 1.

Для расчета индикаторов P_1 и P_2 необходимо рассчитать гистограмму MACD следующим образом:

1. Вычислить 12-дневное ЕМА на основе цен закрытия;
2. Вычислить 26-дневное ЕМА на основе цен закрытия;
3. Вычесть 26-дневное ЕМА из 12-дневного ЕМА и таким образом получить «быструю» линию, или линию MACD;
4. Вычислить 9-дневное ЕМА «быстрой» линии. Это и будет «медленная», или сигнальная линия;
5. Вычислить разность между «быстрой» линией MACD (п. 3) и «медленной» сигнальной линией (п. 4). Полученное значение будет величиной гистограммы MACD.

Индикатор P_1 будет показывать, сколько дней подряд растет или падает гистограмма MACD. При этом если индикатор падает, то количество дней берется со знаком «минус».

Индикатор P_2 показывает, сколько дней подряд гистограмма MACD была больше или меньше нуля. При этом если индикатор меньше нуля, то количество дней берется со знаком «минус».

В расчете индикаторов P_3 и P_4 показатель SSO используется для определения моментов перекупленности и перепроданности рынка. Он рассчитывается следующим образом:

$$SSO = Mean_n \left(100 \cdot \frac{\sum_s (C_c - Min_r)}{\sum_s (Max_r - Min_r)} \right), \quad (3)$$

где r — временное окно стохастического осциллятора (в рамках данного исследования $r = 5$);

s — индекс временного интервала сглаживания стохастического осциллятора (в рамках данного исследования рассматривается интервал в 3 дня);

Max_r — максимум в интервале r дней;

Таблица 1.

Анализируемые индикаторы

Индикатор	Характеристика	Диапазон значений
P_1	Сколько дней подряд уменьшается или увеличивается гистограмма индикатора схождения–расхождения скользящих средних (moving average convergence divergence, MACD) ¹	Целые числа
P_2	Сколько дней подряд гистограмма MACD больше или меньше нуля	Целые числа
P_3	Сигнал от медленного стохастического осциллятора (slow stochastic oscillator, SSO) ²	от 0 до +1
P_4	Сколько дней подряд SSO подает сильный сигнал	Целые числа
P_5	Сигнал от индекса относительной силы (relative strength index, RSI) ³	от 0 до +1
P_6	Сколько дней подряд RSI подает сигнал	Целые числа
P_7	Тренд, рассчитанный по динамике изменения экспоненциальной скользящей средней (exponential moving average, EMA) от максимума цен	–1, 0, +1
P_8	Сколько дней подряд индикатор Чайкина ⁴ больше или меньше нуля	Целые числа
P_9	Сколько дней подряд индикатор Чайкина уменьшается или увеличивается	Целые числа
P_{10}	Является ли максимум цены более высоким, чем в предыдущий день (1) или минимум – более низким, чем в предыдущий день (–1). Если ни одно из условий не выполняется, то параметр равен нулю	–1, 0, +1

Min_r – минимум в интервале r дней;

C_c – цена закрытия на момент расчета SSO;

$Mean_n$ – функция расчета среднего значения в интервале n дней (в рамках данного исследования $n = 5$).

Есть различные мнения по поводу интервалов перекупленности и перепроданности рынка. В данном исследовании будем считать, что рынок перепродан, когда $SSO \leq 0,2$ и перекуплен при $SSO \geq 0,8$. Следовательно, не имеет смысла использовать в модели данный индикатор напрямую, потому что в этом случае не будет полностью отражена логика. С этой целью следует преобразовать параметр с помощью следующей формулы:

$$P_3 = (2 \cdot (SSO - 0,5))^3 \quad (4)$$

Индикатор P_4 используется для более детального описания параметра P_3 . Он говорит о том, сколько дней подряд индикатор находится в зоне перекуплен-

ности (берется со знаком «минус») или перепроданности (берется со знаком «плюс»). Данный индикатор служит для примерной оцифровки графика SSO глазами трейдера, когда оцениваются не только текущие значения, но и предыдущая динамика.

Показатель P_5 отражает значение индикатора RSI, который рассчитывается следующим образом:

$$RSI = 1 - \frac{1}{1 + RS}, \quad (5)$$

где RS – отношение среднего значения повышения цен закрытия за 7 дней к среднему значению понижения цен закрытия за 7 дней.

В данном исследовании будем считать, что рынок перепродан, когда $RSI \leq 0,3$ и перекуплен при $RSI \geq 0,7$ (соответственно, сигнал индикатора равняется +1 и –1). Данный параметр рассчитывается по аналогии с P_3 , по формуле:

$$P_5 = (2 \cdot (RSI - 0,5))^3 \quad (6)$$

¹ MACD (moving average convergence/divergence) – индикатор схождения–расхождения скользящих средних. Подробнее с методикой расчета и применения можно ознакомиться в работе [24].

² SSO (slow stochastic oscillator) – медленный стохастический осциллятор. Характеризует соотношение между каждой из цен закрытия и недавним диапазоном максимумов и минимумов. Подробнее с методикой расчета и применения можно ознакомиться в работе [24].

³ RSI (relative strength index) – индекс относительной силы. Характеризует силу рынка через изменения цен закрытия. Подробнее с методикой расчета и применения можно ознакомиться в работе [24].

⁴ Индикатор Чайкина показывает, что происходит с трендом, исходя из отношения разницы цен закрытия и открытия к разности максимальной и минимальной цен, умноженному на объем торгов. Подробнее с методикой расчета и применения можно ознакомиться по ссылке: <https://www.opentrainer.ru/articles/ostsillyator-chaykina-chaikin-oscillator/> (дата обращения: 01.09.2019).

Показатель P_6 служит для дополнительного анализа RSI , показывая сколько дней подряд RSI подает сигнал одного типа. При этом данный индикатор может быть как положительным, так и отрицательным, в зависимости от типа сигнала (то есть если сигнал меньше нуля, то количество дней берется со знаком «минус»).

Индикатор тренда был выбран в качестве индикатора P_7 . Классический тренд определяется по наклону прямой, проведенной через локальные максимумы цен. Однако невозможно провести идеальную линию через все локальные максимумы в выбранном интервале исследования, поэтому, как правило, линия проводится эмпирически, чтобы пройти через наибольшее число максимумов цены с минимальным отклонением от них. Тренд имеет три основных состояния: повышающийся, падающий и отсутствие тренда (флэт). Стоит отметить, что из-за отсутствия единой методики тренд может быть определен по-разному. В рамках данного исследования тренд определяется по изменению 22-х дневной ЕМА от максимума дневных цен. Если ЕМА растет второй день подряд, то данный индикатор равен единице до тех пор, пока ЕМА не начнет падать. Соответственно, наоборот: если ЕМА падает второй день подряд, то данный индикатор равен -1 до тех пор, пока ЕМА не начнет расти. Если ЕМА рос или падал в течение только одного дня, то индикатор равен нулю.

Параметры P_8 и P_9 основаны на использовании индикатора Чайкина, который рассчитывается следующим образом:

$$CHI = EMA_3(A/D) - EMA_5(A/D),$$

$$A/D = \frac{C_c - C_o}{Max - Min} \cdot V, \quad (7)$$

где A/D — индикатор накопления/распределения (accumulation/distribution);

C_c — цена закрытия в день расчета индикатора;

C_o — цена открытия в день расчета индикатора;

Max — максимум цены в день расчета индикатора;

Min — минимум цены в день расчета индикатора;

V — объем торгов в день расчета индикатора;

EMA_3, EMA_5 — операции вычисления экспоненциальной скользящей средней с окнами усреднения в 3 и 5 дней соответственно.

Показатель P_8 показывает, в течение скольких дней подряд эта разность находится выше или ниже нуля. При этом если разность меньше нуля, то количество дней берется со знаком «минус».

Показатель P_9 показывает, в течение скольких дней подряд данная разность растет или падает. При этом если значение разности падает, то количество дней берется со знаком «минус».

Последний индикатор P_{10} показывает, был ли максимум цены выше, чем в предыдущий день (значение равно 1), или минимум ниже, чем в предыдущий день (значение равно -1). Если цены не вышли за рамки ценового диапазона предыдущего дня, то значение данного параметра равно нулю. Случаи, когда в течение дня одновременно максимум был выше, а минимум — ниже, чем в предыдущий день были исключены из выборки в связи с их редкостью.

Примеры индикаторов из выборки для акций ПАО «Сбербанк» представлены в таблице 2.

3. Торговая стратегия

Для построения модели комитета первоначально нужно сформировать торговую стратегию. Базовыми условиями торговой стратегии являются:

Таблица 2.

Примеры индикаторов из выборки для акций ПАО «Сбербанк»

Дата	Индикаторы									
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}
05.02.2010	0,2	1	-0,001	0	-0,36	1	-1	-2	-2	-1
08.02.2010	0,3	2	-0,108	0	-0,342	2	-1	-3	-3	-1
09.02.2010	0	3	-0,291	1	-0,14	3	-1	-4	-4	-1
10.02.2010	-0,1	4	-0,375	2	-0,075	4	-1	-5	0	1
11.02.2010	-0,2	5	-0,166	3	-0,144	5	-1	-6	1	1

1. Стартовый капитал, то есть установленная сумма в рамках, которой можно открыть позицию⁶;

2. Стоп-лосс (заранее установленная величина максимального убытка, при достижении которого текущая открытая позиция будет закрыта)⁷.

В первую очередь, определим, что торговый сигнал поступает от P_3 и P_5 . Если оба параметра меньше 0,25, то это сигнал к покупке (открытию длинной позиции), а если они больше 0,75, то подается сигнал к продаже (открытию короткой позиции). Согласно стратегии, сигнал формируется по окончании торгов дня, но будем считать, что позиция при соответствующем сигнале открывается в последние минуты торгов. При этом позиция закрывается, если появляется сигнал к обратному направлению движения рынка, либо если убыток по позиции превысил величину стоп-лосса, выбранного для этой позиции.

Для выбора величины стоп-лосса существуют различные методы. В рамках данного исследования будем использовать формулу расчета с привязкой к средней за 7 дней дневной волатильности цены⁷, которая будет ограничивать потери для каждого наблюдения. Соответственно стоп-лосс будет рассчитываться по следующей формуле:

$$SL = \overline{V}_7 \cdot s, \quad (8)$$

где $\overline{V}_7$ — средняя дневная волатильность цены за 7 дней;

s — коэффициент, который показывает, какой долей от средней дневной волатильности позволено рисковать в рамках торговой стратегии.

Описанную стратегию схематично можно представить следующим образом (рис. 6).

Торговая стратегия, представленная на рисунке 6, построена с использованием двух индикаторов технического анализа — SSO и RSI . Сделки по торговой стратегии заключаются только при поступлении од-

нонаправленного сигнала к покупке или продаже от обоих индикаторов. Однако при этом необходимо понимать, что даже получая сильные сигналы от технических индикаторов, возможно получение как прибыли, так и убытков от торговой деятельности.

4. Задача машинного обучения

Для постановки задачи уменьшения убытков торговую стратегию необходимо представить как задачу дискриминантного анализа, в которой будут распознаваться следующие классы объектов:

1. Класс 1 — множество позиций по торговой стратегии, которые закрывались с прибылью, и прибыль была больше максимального убытка⁸ за период удержания позиции⁹;

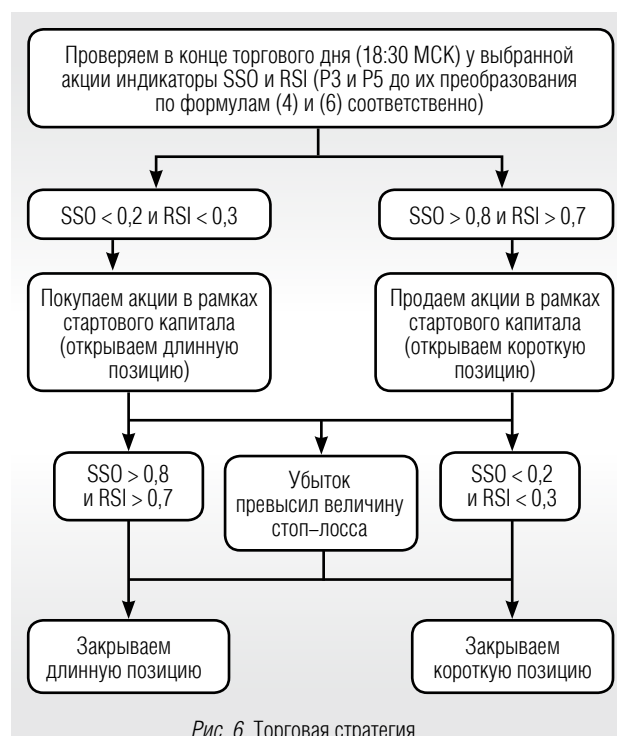


Рис. 6. Торговая стратегия

⁵ Открытие позиции — это первичная покупка или продажа определенного объема финансового инструмента.

⁶ Закрывать торговую позицию — значит совершить обратную по отношению к открытию позиции торговую операцию. Например, если открытие позиции произошло в рамках сделки покупки определенного объема финансового инструмента, то обратная сделка будет выражена последующей продажей приобретенного объема финансового инструмента либо в полном объеме (полное закрытие позиции), либо какой-то его части (частичное закрытие позиции).

⁷ Дневная волатильность — это величина, показывающая, на сколько процентов дневной максимум цены выше дневного минимума цены.

⁸ При открытии позиции на бирже постоянно осуществляется ее переоценка по текущим ценам. Соответственно, максимальный убыток по позиции — это максимальная сумма снижения стоимости позиции относительно ее стоимости при открытии

⁹ Период удержания позиции — это время с момента первичной покупки или продажи определенного объема финансового инструмента до момента торговой операции, обратной по отношению к первой. Подробнее с понятиями открытия и закрытия позиций можно ознакомиться по ссылке: https://www.metatrader5.com/ru/mobile-trading/android/help/trade/positions_manage/open_positions (дата обращения: 01.09.2019)

2. Класс 2 — множество позиций по торговой стратегии, которые закрывались с убытком или прибыль была меньше максимального убытка за период удержания позиции.

В рамках данного исследования в качестве финансового инструмента для анализа были выбраны акции Сбербанка, как наиболее ликвидного актива на рынке акций Московской биржи. Для анализа были использованы дневные котировки по акциям Сбербанка с сайта компании Финам¹⁰ за период с 2010 г. по декабрь 2018 г.

Все наблюдения были разделены на обучающую (выборка, на которой модель обучается) и контрольную (выборка, на которой модель не обучалась) выборки, как показано в *таблице 3*. Такое разделение необходимо, чтобы была возможность проверять согласованность работы модели на этих двух множествах, что позволяет снижать риск переобучения модели [25].

Таблица 3.
Основные параметры обучающей и контрольной выборок

Выборка	Период	J_1	J_2	J
Обучающая	2010–2017 гг.	332	116	448
Контрольная	2018 г.	37	15	52
Итого	2010–2018 гг.	369	131	500

Таблица 3 дает краткое описание обучающей и контрольной выборок для торговой стратегии представленной на *рисунке 6*¹¹. В соответствии с ней количество наблюдений в J_1 примерно в 2,5–3 раза больше, чем в J_2 , и контрольная выборка составляет 11,6% от обучающей выборки. Определившись с задачей классификации и изучаемыми выборками, начнем расчет математической модели.

5. Результаты классификации

Для сравнения по модели (2) были построены различные комитеты, включающие от трех до семи членов. Качество разделения оценивалось при помощи F-меры:

$$SL = \overline{V}_7 \cdot s, \quad (9)$$

где A — точность (доля объектов, отнесенных комитетом к искомому классу и при этом действительно являющимися объектами этого класса);

C — полнота (доля объектов искомого класса, которые комитет смог распознать).

Изучая результаты среди КЕ, решающее правило для случая из пяти членов с результатом 86,4% для J_1 и 68,9% для J_2 показало наилучшую разделяющую способность на обучающей выборке. Для КС наилучшим стал случай из шести членов с результатом 89,1% для J_1 и 73,6% для J_2 . Здесь не представлены результаты для КБ, поскольку математическая модель не смогла найти удовлетворительное по качеству решение для логики большинства¹².

С точки зрения качества модели наибольшее значение имеет результат, полученный на контрольной выборке. Это связано с тем, что этот результат не имеет риска переобучения и поэтому при наличии достаточно большого числа наблюдений объективно оценивает прогностическую способность модели. Соответствующие результаты для F-меры, полученные на контрольной выборке, представлены на *рисунке 7*.

Как видно из *рисунка 7*, КЕ из пяти членов и КС из шести членов также показывают наилучшие результаты. Таким образом, можно отметить, что обучающая и контрольная выборки имеют сильные взаимные связи. Дальнейшее сравнение данных двух комитетных решений позволяет увидеть, что результаты у КЕ из пяти членов выше, чем у КС из шести членов.

Также была рассмотрена модель минимизации количества ошибок при прогнозировании верных или неверных сигналов, поступающих от технических индикаторов. Однако, в рамках этой модели не была учтена величина потенциальных прибылей или убытков в зависимости от принятых решений. Поскольку конечной целью моделирования является получение прибыли, введение данной величины в модель может улучшить конечный результат. Для этого в модели для каждого наблюдения обучающей и контрольной выборок рассчитаем величину потенциальных прибылей или убытков:

¹⁰ Финам — МосБиржа акции — Сбербанк: <https://www.finam.ru/profile/moex-akcii/sberbank/export/> (дата обращения: 01.09.2019).

¹¹ Выборки были построены для торговой стратегии со стоп-лоссом, выбранным по формуле (8) с коэффициентом $s = 2,3$.

¹² При поиске решения в рамках модели (2) при $V=1$ решение с наименьшей величиной ϕ было найдено при $m=0$, что соответствует КЕ.

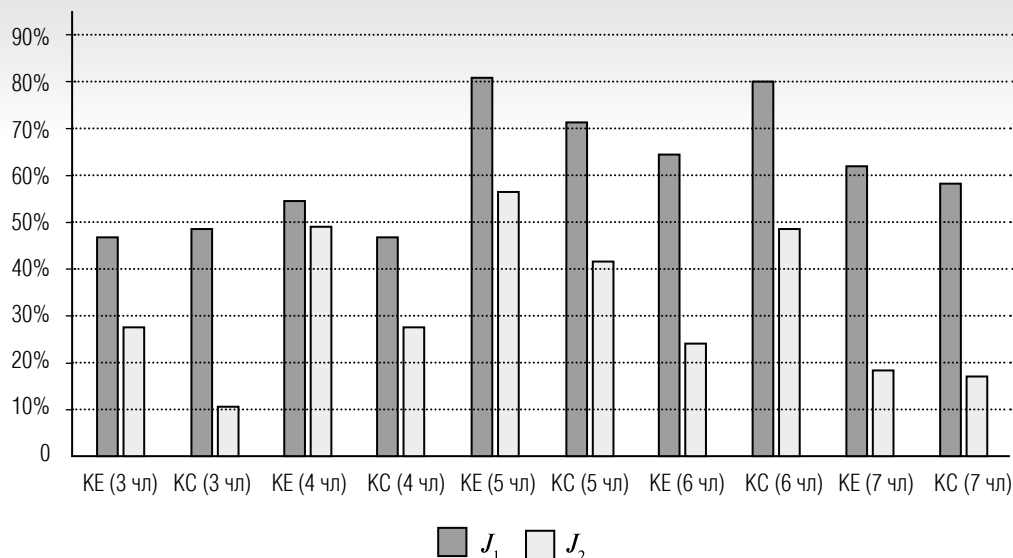


Рис. 7. Результаты для F-меры на контрольной выборке

$$PL = \left(\frac{C_o}{C_c} - 1 \right) \cdot D, \quad (10)$$

где C_o — цена открытия позиции (цена первичной покупки/продажи финансового инструмента, в результате которой сформировалась торговая позиция);

C_c — цена закрытия позиции (цена, по которой ранее открытая позиция была закрыта на бирже, в результате чего по позиции были зафиксированы прибыль или убыток);

D — направление позиции (1 — если финансовый актив куплен; −1 — если финансовый инструмент продан).

Если величина, полученная по формуле (10), больше нуля, то по позиции была получена прибыль, в противном случае имеет место убыток. Для учета данной величины в модели (2) необходимо присвоить веса каждому наблюдению с добавлением соответствующих изменений в ограничениях

$$\sum_{j \in J_1} d_j \text{ и } \sum_{j \in J_2} d_j; \quad (11)$$

$$\sum_{j \in J_1} d_j w_j \leq \sum_{j \in J_1} w_j \varphi,$$

$$\sum_{j \in J_2} d_j w_j \leq \sum_{j \in J_2} w_j \varphi,$$

где w_j — вес j -го наблюдения.

Также дополнительно уменьшим величину коэффициента s в формуле расчета стоп-лосса (8) до 1,5, чтобы снизить уровень убытков по каждой позиции, сформированной по торговой стратегии. Ввиду введения величины стоп-лосса произойдут небольшие

изменения с разделением множества на классы J_1 и J_2 , поскольку 16 наблюдений из J_2 были закрыты по стоп-лоссу (иначе говоря, они были распознаны как J_1). На новом обучающем множестве были также построены различные комитеты с учетом условия (11). Наилучший результат был получен при КБ из семи членов с результатами по F-мере на обучающей выборке для J_1 — 92,1%, для J_2 — 76%, а на контрольной выборке — для J_1 — 83,1%, для J_2 — 51,9%. Данное решающее правило для КБ из семи членов представлено в таблице 4.

Попробуем сравнить по потенциальной норме дохода предыдущее лучшее решающее правило с решающим правилом из таблицы 4. Для этого предположим, что по торговой стратегии каждый раз открывается позиция с одинаковым стартовым капиталом. В таблице 5 представлены результаты годовых сравнений суммарного роста/падения стоимости позиций, выбранных по КБ из семи членов и КЕ из пяти членов.

Результаты, представленные в таблице 5, показывают, что для КБ из семи членов прибыли по верно распознанным наблюдениям из J_2 и убытки по ошибочно распознанным наблюдениям из J_1 имеют значительно меньший разброс значений, чем для КЕ из пяти членов. При этом убытки по ошибочно распознанным наблюдениям из J_1 для КБ из семи членов в два раза меньше, чем у КЕ из пяти членов, в то время как прибыли по верно распознанным наблюдениям из J_2 лишь на 9,6% меньше. Более того, для КБ из семи членов нет такого годового периода, чтобы

Таблица 4

Решающее правило для КБ из семи членов ($m = 2$)

Члены	Коэффициенты										
	β'_0	β'_1	β'_2	β'_3	β'_4	β'_5	β'_6	β'_7	β'_8	β'_9	β'_{10}
$t = 1$	-1,095	-0,041	0,088	0,006	-0,297	-0,021	0,471	1	0,296	-0,001	-0,298
$t = 2$	-0,352	0,64	-0,006	-0,531	-0,419	0,222	0,168	1	-0,355	0,158	0,224
$t = 3$	-123,18	-153,46	-4,664	6,719	89,83	-39,54	-33,635	-1	25,408	4,748	-75,751
$t = 4$	-1,859	-0,437	-0,193	0,112	0,004	-0,067	0,042	1	-0,062	0,157	0,045
$t = 5$	0,469	-1,666	-0,626	-0,369	-0,787	-0,1	-0,435	1	-1,118	-1,843	-0,142
$t = 6$	-1,573	0,164	0,03	0,058	-0,548	0,05	0,149	-1	-0,155	0,55	-0,723
$t = 7$	-0,906	0,211	0,022	-0,151	0,104	0,124	-0,141	-1	0,073	-0,011	0,263

Таблица 5.

Оценка прибылей и убытков от применения решающих правил

Тип комитета	Класс	% прибыли и убытка по годам									
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Всего
КБ из семи членов	J_1	-13,6	+0,6	-7,4	-32,0	-26,9	-24,6	-8,5	-5,8	-17,3	-136
	J_2	+87,1	+134,3	+37	+46,4	+78,6	+34,8	+67,9	+63,3	+62,8	+612
КЕ из пяти членов	J_1	-53,3	-8,7	-4,5	-14,3	-66,7	+3,8	-43,7	-55,6	-28,4	-271
	J_2	+83,5	+137,8	+35	+65,2	+89,7	+28,3	+101,7	+52,7	+83,7	+677

убытки были больше прибыли, тогда как для КЕ из пяти членов в 2017 году наблюдалось превышение убытков над прибылями. Таким образом, минимизация убытков является более предпочтительным решением для оптимизации торговой стратегии, чем просто минимизация числа нарушений.

Заключение

В рамках исследования показано, что из себя представляет метод комитетов и как в рамках одной математической модели частично-целочисленного программирования могут рассчитываться различные логики комитетов. На практическом примере рассмотрено применение метода комитетов для увеличения точности прогноза биржевых рыночных цен при техническом анализе фондового рынка. Применение комитетных конструкций позволило вывести объективные решающие правила, определяющие, когда следует следовать рекомендациям на основе рыночных индикаторов, а

когда стоит воздержаться от активной торговли на фондовом рынке. Более того, в рамках комитетных конструкций, как модели частично-целочисленного программирования, могут быть сформированы сложные критерии оптимизации с учетом задачи максимизации прибылей и минимизации убытков. Модель с такой формулировкой задачи позволяет получить более стабильные результаты с потенциально более высокой итоговой прибылью, по сравнению с моделями на основе простой минимизации числа ошибок классификации. Таким образом, комитетные конструкции могут быть использованы на финансовых рынках как для формирования новых торговых стратегий, так и для увеличения доходности существующих стратегий. ■

Благодарности

Статья подготовлена в рамках государственного задания для Института экономики Уральского отделения Российской академии наук на 2019 год.

Литература

1. Малышенко К.А., Малышенко В.А., Квятковская Е.О. Теоретические основы анализа фондового рынка: система показателей и классификация методов // Научный журнал КубГАУ. 2017. Том 129. № 5. С. 1292–1303.
2. Найман Э. Малая энциклопедия трейдера. М.: Альпина Паблишер. 2015.
3. Ablow C.M., Kaylor D.J. Inconsistent homogeneous linear inequalities // Bulletin of the American Mathematical Society. 1965. vol. 71. № 5. P. 724.
4. Osborne M.L. The seniority logic: A logic for a committee machine // IEEE Transactions on Computers. 1977. vol. 26. № 12. P. 1302–1306. DOI: 10.1109/TC.1977.1674798.
5. Takiyama R.A. General method for training the committee machine // Pattern Recognition. 1978. Vol. 10. № 4. P. 255–259. DOI: 10.1016/0031-3203(78)90034-1.
6. Мазуров Вл.Д. Метод комитетов в задачах оптимизации и классификации. М.: Наука, 1990.
7. Мазуров Вл.Д., Хачай М.Ю. Комитеты систем линейных неравенств // Автоматика и телемеханика. 2004. № 2. С. 43–54. DOI: 10.1023/B:AURC.0000014716.77510.61
8. Мазуров Вл.Д., Хачай М.Ю. Бустинг и полиномиальная аппроксимируемость задачи о минимальном аффинном разделяющем комитете // Труды Института математики и механики УрО РАН. 2013. Т. 19. № 2. С. 231–236.
9. Мазуров Вл.Д., Хачай М.Ю., Поберий М.И. Задачи комбинаторной оптимизации, связанные с полиэдральной комитетной отделимостью конечных множеств // Труды Института математики и механики УрО РАН. 2008. Т. 14. № 2. С. 89–102.
10. Мазуров Вл.Д., Хачай М.Ю., Рыбин А.И. Комитетные конструкции для решения задач выбора, диагностики и прогнозирования // Труды Института математики и механики УрО РАН. 2002. Т. 8. № 1. С. 66–102.
11. Мазуров Вл.Д., Хачай М.Ю. Комитетные конструкции как обобщение решений противоречивых задач исследования операций // Дискретный анализ и исследование операций. 2003. Сер. 2. Т. 10. № 2. С. 56–66.
12. Мазуров Вл.Д., Хачай М.Ю. Параллельные вычисления и комитетные конструкции // Автоматика и телемеханика. 2007. № 5. С. 182–192. DOI: 10.1134/S0005117907050165.
13. Мазуров Вл.Д., Смирнов А.И. Интерпретация противоречивых изображений на основе систем линейных неравенств // Труды Института математики и механики УрО РАН. 2012. Т. 18. № 3. С. 144–154.
14. Хачай М.Ю. Вопросы вычислительной сложности процедур обучения распознаванию в классе комитетных кусочно-линейных решающих правил // Автоматика и телемеханика. 2010. № 3. С. 178–189. DOI: 10.1134/S0005117910030136.
15. Хачай М.Ю. О существовании комитета большинства // Дискретная математика. 1997. Т. 9. № 3. С. 82–95.
16. Хачай М.Ю. Об оценке числа членов минимального комитета системы линейных неравенств // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1997. Т. 37. № 11. С. 1399–1404.
17. Кувшинов Б.М., Ширяев О.В. Метод комитетов в задачах распознавания образов в условиях неопределенности априорной информации // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. 2002. Т. 2. № 3. С. 34–43.
18. Система классификации многопараметрических объектов для задач распознавания образов с неточной априорной информацией / Б.М. Кувшинов и [др.] // Информационные технологии. 2001. № 11. С. 37–43.
19. Никонов О.И., Чернавин Ф.П. Построение рейтинговых групп заемщиков физических лиц с применением метода комитетов // Деньги и кредит. 2014. № 11. С. 52–54.
20. Никонов О.И., Чернавин Ф.П., Медведева М.А. Проблемы классификации: метод комитетов // Сборник материалов XII Международная научно-практическая конференция по проблемам экономического развития в современном мире «Устойчивое развитие российских регионов: экономическая политика в условиях внешних и внутренних шоков», Екатеринбург, 17–18 апреля 2015 г. С. 867–874.
21. Nikonov O.I., Medvedeva M.A., Chernavin F.P. Using the committee machine method to forecasting on the FOREX // IEEE 2015 Second International Conference on Mathematics and Computers in Sciences and in Industry (MCSI 2015). Sliema, Malta, 17–19 August 2015. P. 240–243.
22. Чернавин Ф.П. Применение метода комитетов для решения задач классификации // XII Международная конференция «Российские регионы в фокусе перемен». Екатеринбург, 16–18 ноября 2017 г. Екатеринбург: УПИ, 2018. Ч. 1. С. 437–447.
23. Ким Дж.О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989.
24. Элдер А. Как играть и выигрывать на бирже. Психология. Технический анализ. Контроль над капиталом. М.: Альпина Паблишер. 2016.
25. Ширяев В.И. Нейросетевые методы в анализе финансовых рынков. М.: КомКнига. 2007.

Об авторе

Чернавин Николай Павлович

младший научный сотрудник, Институт экономики, Уральское отделение Российской академии наук, 620014, г. Екатеринбург, ул. Московская, д. 29;

E-mail: ch_k@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2093-9715

Application of the committee machine method to analysis of stock market technical indicators

Nikolay P. Chernavin

E-mail: ch_k@mail.ru

Institute of Economics, the Ural Branch of Russian Academy of Sciences
Address: 29, Moskovskaya Street, Ekaterinburg 620014, Russia

Abstract

In this article we study problems of the committee machine method when applied to decision-making when there are many signals from different technical indicators of a stock exchange market. The committee machine method is a data classification method which can find non-linear data dependencies by construction of several linear classifiers. In the framework of this research, the basis for committee machine construction is a unified partially integer programming model, within which various logics of committee structures can be implemented. The subject of the research is the interrelation of indicators of technical indicators of a stock exchange market with pricing for financial instruments of stock exchange trading. Accordingly, the goal of the research is to show the efficiency of committee structures for solving the problems of forecasting the future value of financial instruments listed on stock exchange markets. To accomplish this goal, basic stock exchange data on Sberbank shares were collected from the Moscow Stock Exchange for the period from 2010 to 2019. On the basis of this, the technical indicators and interrelated parameters were calculated. They were used as data for the committee machine models with different numbers of committee members and voting logics. The result of the calculation was to obtain definitive rules, which when applied in speculative trading on the stock exchange market can generate stable profits. For comparison, we show the solutions of a similar problem by classical classification methods. The comparison shows that methods which work with the non-linear data dependencies provide results in terms of classification quality similar to committee machine results. This research may be interesting to the professional traders, investment analysts, specialists in data science and students with a mathematical and/or financial specialization.

Key words: committee machine method; stock exchange market; technical analysis; machine learning.

Citation: Chernavin N.P. (2019) Application of the committee machine method to analysis of stock market technical indicators. *Business Informatics*, vol. 13, no 4, pp. 73–86. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.4.73.86

References

1. Malysenko K.A., Malysenko V.A., Kryatkovskaya E.O. (2017) Theoretical bases of the analysis of the stock market: System of indicators and classification of methods. *Scientific Journal of KubSAU*, vol. 129, no 5, pp. 1292–1303 (in Russian).
2. Neiman E. (2015) *The small encyclopedia of trader*. Moscow: Alpina Publisher (in Russian).
3. Ablow C.M., Kaylor D.J. (1965) Inconsistent homogeneous linear inequalities. *Bulletin of the American Mathematical Society*, vol. 71, no 5, p. 724.
4. Osborne M.L. (1977) The seniority logic: A logic for a committee machine. *IEEE Transactions on Computers*, vol. 26, no 12, pp. 1302–1306. DOI: 10.1109/TC.1977.1674798.
5. Takiyama R.A. (1978) General method for training the committee machine. *Pattern Recognition*, vol. 10, no 4, pp. 255–259. DOI: 10.1016/0031-3203(78)90034-1.
6. Mazurov V.I.D. (1990) *The method of committees in optimization and classification problems*. Moscow: Nauka (in Russian).
7. Mazurov V.I.D., Khachai M.Yu. (2004) Committees of systems of linear inequalities. *Automation and Remote Control*, vol. 65, no 2, pp. 193–203. DOI: 10.1023/B:AURC.0000014716.77510.61.
8. Mazurov V.I.D., Khachai M.Yu. (2013) Boosting and the polynomial approximability of the problem on a minimum affine separating committee. *Trudy Instituta Matematiki i Mekhaniki UrO RAN*, vol. 19, no 2, pp. 231–236 (in Russian).
9. Mazurov V.I.D., Khachai M.Yu., Poberii M.I. (2008) Combinatorial optimization problems related to the committee polyhedral separability of finite sets. *Trudy Instituta Matematiki i Mekhaniki UrO RAN*, vol. 14, no 2, pp. 89–102 (in Russian).
10. Mazurov V.I.D., Khachai M.Yu., Rybin A.I. (2002) Committee constructions for solving problems of selection, diagnostics, and prediction. *Trudy Instituta Matematiki i Mekhaniki UrO RAN*, vol. 8, no 1, pp. 66–102 (in Russian).
11. Mazurov V.I.D., Khachai M.Yu. (2003) Committee constructions as generalization of solutions to controversial problems of operations research. *Discrete Analysis and Operations Research*, ser. 2, vol. 10, no 2, pp. 56–66 (in Russian).

12. Mazurov V.D., Khachai M.Yu. (2007) Parallel computations and committee constructions. *Automation and Remote Control*, vol. 65, no 2, pp. 193–203. DOI: 10.1134/S0005117907050165.
13. Mazurov V.D., Smirnov A.I. (2012) Interpretation of contradictory images by means of systems of linear inequalities. *Trudy Instituta Matematiki i Mekhaniki UrO RAN*, vol. 18, no 3, pp. 144–154 (in Russian).
14. Khachai M.Yu. (2010) Computational complexity of recognition learning procedures in the class of piecewise-linear committee decision rules. *Automation and Remote Control*, vol. 71, pp. 528–539. DOI: 10.1134/S0005117910030136.
15. Khachai M.Yu. (1997) The existence of the majority committee. *Discrete Mathematics*, vol. 9, no 3, pp. 82–95 (in Russian).
16. Khachai M.Yu. (1997) Estimate of the number of members in the minimal committee of a system of linear inequalities. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, vol. 37, no 11, pp. 1399–1404 (in Russian).
17. Kuvshinov B.M., Shiryayev O.V. (2002) The method of committees in the problems of pattern recognition in the conditions of uncertainty of a priori information. *Bulletin of the South Ural State University, Series "Mathematics. Mechanics. Physics"*, vol. 2, no 3, pp. 34–43 (in Russian).
18. Kuvshinov B.M., Shiryayev O.V., Bogdanov D.V., Shaposhnik I.I., Shiryayev V.I. (2001) The system for classification of multiparametric objects for pattern recognition problems with inaccurate a priori information. *Information Technologies*, no 11, pp. 37–43 (in Russian).
19. Nikonov O.I., Chernavin F.P. (2014) Construction of rating groups of individual borrowers using the method of committees. *Money and Finance*, no 11, pp. 52–54 (in Russian).
20. Nikonov O.I., Chernavin F.P., Medvedeva M.A. (2015) Classification problems: the method of committees. Proceedings of the *XII International Scientific and Practical Conference on the Problems of Economic Development in the Modern World "Sustainable Development of Russian Regions: Economic Policy in the Conditions of External and Internal Challenges"*, Ekaterinburg, 17–18 April 2015, pp. 867–874 (in Russian).
21. Nikonov O.I., Medvedeva M.A., Chernavin F.P. (2015) Using the committee machine method to forecasting on the FOREX. Proceedings of the *IEEE 2015 Second International Conference on Mathematics and Computers in Sciences and in Industry (MCSI 2015)*, Sliema, Malta, 17–19 August 2015, pp. 240–243.
22. Chernavin F.P. (2018) Application of the method of committees for classification problems. Proceedings of the *XII International Conference "Russian regions in focus of change"*, Ekaterinburg, 16–18 November 2017. Ekaterinburg, UPI, part 1, pp. 437–447 (in Russian).
23. Kim J.O., Mueller C.W., Klecka W.R. (1989) *Factor, discriminant and cluster analysis*. Moscow: Finance and Statistics (in Russian).
24. Elder A. (2016) *Trading for a living: Psychology, trading tactics, money management*. Moscow: Alpina Publisher (in Russian).
25. Shiryayev V.I. (2007) *Neural network methods in the analysis of financial markets*. Moscow: KomKniga (in Russian).

About the author

Nikolay P. Chernavin

Junior Researcher, Institute of Economics, the Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
29, Moskovskaya Street, Ekaterinburg 620014, Russia;
E-mail: ch_k@mail.ru
ORCID: 0000-0002-2093-9715

