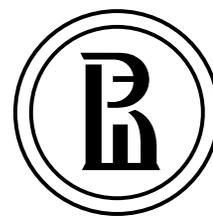


БИЗНЕС- ИНФОРМАТИКА

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:
105187, г. Москва, ул. Кирпичная, д. 33
Тел./факс: +7 (495) 771-32-38
<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:
русскоязычная версия – 300 экз.,
англоязычная 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

Моделирование социальных и экономических систем

Т.В. Вознесенская, Ф.В. Краснов,
Р.Э. Яворский, П.В. Чеснокова

Моделирование самоорганизующихся
команд в научной среде 7

Математические методы и алгоритмы бизнес-информатики

А.И. Марон, Т.К. Кравченко, Т.Я. Шевзунов

Определение ресурсов на восстановление
системы вычислительных комплексов
с элементами разной значимости 18

Анализ данных и интеллектуальные системы

И.А. Ходашинский, М.М. Немирович-Данченко,
С.С. Самсонов

Отбор признаков для нечеткого классификатора
с использованием алгоритма паукообразных обезьян 29

Информационные системы и технологии в бизнесе

В.И. Грекул, Е.А. Исаев,
Н.Л. Коровкина, Т.С. Лисиенкова

Разработка подхода для ранжирования
инновационных ИТ-проектов 43

О.И. Долганова, Е.А. Деева

Готовность компании к цифровым преобразованиям:
проблемы и диагностика 59

А.А. Дружаев, Д.В. Исаев, Е.В. Огуречников

Принципы управления развитием ЕРМ-систем 73

О ЖУРНАЛЕ

«**Б**изнес-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:

- ◆ 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

Абдульраб 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

Алескеров 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
Регенсбургский университет прикладных наук, Регенсбург, 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

Громов Александр Игоревич
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Гурвич Владимир Александрович
Ратгерский университет (Университет Нью-Джерси),
Ратгерс, 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 Ростока, 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

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 Гедewanович
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

Modeling of social and economic systems

T.V. Voznesenskaya, F.V. Krasnov,

R.E. Yavorsky, P.V. Chesnokova

Modeling self-organizing teams

in a research environment.....7

Mathematical methods and algorithms of business informatics

A.I. Maron, T.K. Kravchenko, T.Ya. Shevgunov

Estimation of resources required for restoring
a system of computer complexes with elements
of different significance.....

18

Data analysis and intelligence systems

I.A. Hodashinsky, M.M. Nemirovich-Danchenko,

S.S. Samsonov

Feature selection for fuzzy classifier using
the spider monkey algorithm.....

29

Information systems and technologies in business

V.I. Grekul, E.A. Isaev, N.L. Korovkina,

T.S. Lisienkova

Developing an approach to ranking

innovative IT projects43

O.I. Dolganova, E.A. Deeva

Company readiness for digital transformations:

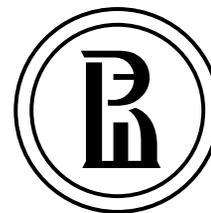
problems and diagnosis59

A.A. Druzhaev, D.V. Isaev, E.V. Ogurechnikov

Principles of managing development

of EPM systems73

Vol. 13 No 2 - 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:

33, Kirpichnaya Street, Moscow,
105187, Russian Federation

Tel./fax: +7 (495) 771-32-38

<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,
Russian Federation

© 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:

- ◆ 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 Golosov

FORS Development Center, Moscow, Russia

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Svetlana Maltseva

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Yevgeni Koucheryavy

Tampere University of Technology, Tampere, Finland

EDITORIAL BOARD

Habib Abdulrab

National Institute of Applied Sciences, Rouen, France

Sergey Avdoshin

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Andranik Akopov

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Fuad Aleskerov

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Alexander Afanasyev

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

Anton Afanasyev

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

Eduard Babkin

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

Sergey Balandin

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

Vladimir Barakhnin

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

Alexander Baranov

Federal Tax Service, Moscow, Russia

Jörg Becker

University of Munster, Munster, Germany

Vladimir Belov

Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, Russia

Alexander Chkhartishvili

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

Vladimir Efimushkin

Central Research Institute of Communications, Moscow, Russia

Tatiana Gavrilova

Saint-Petersburg University, St. Petersburg, Russia

Hervé Glotin

University of Toulon, La Garde, France

Andrey Gribov

CyberPlat Company, Moscow, Russia

Alexander Gromoff

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Vladimir Gurvich

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

Laurence Jacobs

University of Zurich, Zurich, Switzerland

Liliya Demidova

Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, Russia

Iosif Diskin

Russian Public Opinion Research Center, Moscow, Russia

Nikolay Ilyin

Federal Security Guard of the Russian Federation, Moscow, Russia

Dmitry Isaev

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Alexander Ivannikov

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

Valery Kalyagin

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

Tatiana Kravchenko

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Sergei Kuznetsov

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Kwei-Jay Lin

Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Japan

Mikhail Lugachev

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Peter Major

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

Boris Mirkin

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Vadim Mottl

Tula State University, Tula, Russia

Dmitry Nazarov

Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

Dmitry Palchunov

Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Panagote (Panos) Pardalos

University of Florida, Gainesville, USA

Óscar Pastor

Polytechnic University of Valencia, Valencia, Spain

Joachim Posegga

University of Passau, Passau, Germany

Kurt Sandkuhl

University of Rostock, Rostock, Germany

Yuriy Shmidt

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Christine Strauss

University of Vienna, Vienna, Austria

Ali Sunyaev

Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany

Victor Taratukhin

University of Munster, Munster, Germany

José Tribolet

Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal

Olga Tsukanova

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

Mikhail Ulyanov

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

Raissa Uskenbayeva

International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

Marcus Westner

Regensburg University of Applied Sciences, Regensburg, Germany

Моделирование самоорганизующихся команд в научной среде

Т.В. Вознесенская^a

E-mail: tvoznesenskaya@hse.ru

Ф.В. Краснов^b

E-mail: krasnov.fv@gazprom-neft.ru

Р.Э. Яворский^a

E-mail: ryavorsky@hse.ru

П.В. Чеснокова^c

E-mail: chepolina27@gmail.com

^a Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Адрес: 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20

^b ООО «Газпромнефть НТЦ»
Адрес: 190000, г. Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 75–79, литер Д

^c Группа компаний ЛАНИТ
Адрес: 129075, Москва, Мурманский проезд, д. 14, к. 1

Аннотация

В статье представлены результаты исследований, целью которых является моделирование и анализ эффективности работы научно-технического центра. Основное внимание уделено процессу самоорганизации проектной команды (группы соавторов) в ходе выполнения проекта (написания научной статьи), при котором инициатива создания команды исходит от одного из ее членов. В работе описана формальная модель указанного процесса на основе компетентностного подхода, учитывающая типы решаемых задач и наличие у сотрудников необходимых умений и навыков. Представлены результаты имитационного моделирования в среде AnyLogic, а также перечислены открытые вопросы.

Профиль компетенции каждого сотрудника описан в виде вектора, в котором каждая координата характеризует уровень его владения соответствующим навыком. Вектор, описывающий профиль компетенций команды, получается в результате простого сложения профилей компетенций участников. Предложенная модель предполагает, что каждая задача требует определенного набора компетенций. При этом в качестве критериев, на основе которых сотрудник принимает решение о присоединении к команде, выступают список компетенций и профессиональный опыт. Логика принятия решений на разных этапах формирования команды моделируется функциями. Очередность, в которой выбираются сотрудники для применения следующего шага алгоритма, реализуется вероятностно. Для калибровки профиля компетенций члена команды были использованы внутренние данные о квалификации сотрудников научно-технического центра «Газпромнефть НТЦ».

Построенная модель является основой для дальнейших исследований процесса образования и функционирования проектных команд в научной среде, а также разработки методики оценки эффективности деятельности научных коллективов. Она позволяет прогнозировать потребность в кадрах с теми или иными компетенциями, планировать мероприятия по повышению квалификации сотрудников и укреплению связей в коллективе.

Ключевые слова: информационная модель команды; имитационное моделирование; характеристики научно-исследовательской деятельности; наукометрия; организационная гипотеза.

Цитирование: Вознесенская Т.В., Краснов Ф.В., Яворский Р.Э., Чеснокова П.В. Моделирование самоорганизующихся команд в научной среде // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 2. С. 7–17.
DOI: 10.17323/1998-0663.2019.2.7.17

Введение

Вопросы эффективности исследовательских проектов и влияющих на нее факторов рассматриваются во многих работах (например, [1–4]). Как правило, в этих публикациях научный коллектив рассматривается как «черный ящик», производящий научные результаты. Оценка его эффективности производится только на основе получаемых результатов, в то время как внутренняя структура исследовательской группы обычно не учитывается. Самоорганизующиеся команды подробно изучены в работе [5]. Отдельно исследуются мотивирующие факторы [4] и факторы, влияющие на результативность [3]. Вопросы моделирования и анализа командной работы активно исследуются с середины XX века [6–8]. Формальное описание профиля компетенций – это также тема многочисленных исследований и публикаций (например, [8, 9]).

В данной работе предложен подход к моделированию процесса образования команд на основе компетенций, для повышения эффективности управления научной деятельностью¹. Авторы ограничились упрощенной моделью, в рамках которой предполагается существование фиксированного набора определенных навыков. При этом профиль компетенций каждого сотрудника можно описать в виде вектора значений, в котором каждая координата описывает уровень его владения соответствующим навыком. Вектор, описывающий профиль компетенций команды, получается в результате простого сложения профилей компетенций участников. Такая модель возникает, если измерять уровень компетенций производительностью при выполнении соответствующего типа задач. Тогда естественно предполагать, что при совместной работе в команде производительность участников складывается. Аналогичным вектором можно также описать профиль задачи. Для подготовки и проведения научного исследования с учетом ограничения по времени требуется определенный уровень производительности для каждого типа задач. Строгое математическое описание данной модели приведено в разделе 2.

Статья имеет следующую структуру. В разделе 1 приведено неформальное описание модели компетенций и процесса формирования команды соавторов. Раздел 2 содержит математические определения и алгоритм формирования команды. Вычислительный эксперимент и его результаты описаны в разделе 3. В Заключении перечислены открытые вопросы и направления дальнейшей работы.

1. Процесс формирования команды соавторов

В данном разделе неформально описан процесс формирования команды и основные предпосылки, которые ниже (в разделе 2) будут переведены на математический язык.

1.1. Принятые допущения и ограничения

В данной работе рассматриваются самоорганизующиеся малые команды (до шести человек [10]), создание которых происходит по инициативе сотрудников. Данное допущение представляется актуальным для большинства научных коллективов, где администрация может различными способами мотивировать сотрудников подать заявку на участие в той или иной научной конференции или рекомендовать подготовить статью для определенного журнала, но итоговое решение, как правило, остается за научным сотрудником.

Предполагается, что каждый сотрудник принимает решение о присоединении к команде на основе определенных критериев, в качестве которых выступают список компетенций и профессиональный уровень.

В качестве входных данных модели рассматривается набор тем, которые соответствуют последовательности поступающих приглашений от конференций и журналов, в которых открыт прием заявок. Для каждого мероприятия или издания известна одна или несколько тем. Подготовка статьи по заданной тематике требует определенного набора компетенций.

Предполагается использование модели для анализа работы средних и больших коллективов, раз-

¹ Предварительные результаты исследования представлены в выпускной квалификационной работе П.В. Чесноковой, защищенной на факультете компьютерных наук НИУ ВШЭ в 2018 г.

мером от нескольких десятков до нескольких сотен человек, в течение длительного периода (1–3 года).

1.2. Начало процесса образования команды

Началом процесса образования команды является принятие одним из сотрудников решения о создании команды для подготовки заявки на конференцию или статьи в журнал (сборник). Это происходит следующим образом. Незанятый сотрудник просматривает список приглашений и оценивает свои компетенции на предмет соответствия объявленной тематике. Если хотя бы одна из его компетенций соответствует требованиям или превосходит их, сотрудник создает команду и становится ее первым участником. В начальный момент профиль компетенций команды совпадает с профилем первого участника. Затем к команде будут присоединяться новые участники, с учетом требований, соответствующих выбранной тематике, а также профилей компетенций других членов команды.

1.3. Присоединение к команде новых участников

Второй (и каждый последующий) участник узнает от одного из членов команды о цели проекта и текущей оценке компетенций команды. Эта информация становится известной сотрудникам, которые достаточно хорошо знакомы друг с другом. Мы предполагаем, что по сравнению с периодом работы над проектом временем на передачу коммуникационных сообщений в процессе организации команды можно пренебречь. В модели это представлено с помощью коммуникационного графа. Каждый последующий участник оценивает свои компетенции с точки зрения полезности для команды и принимает решение о присоединении. Решение является положительным, если хотя бы одна из компетенций нового участника при добавлении к профилю команды приближает ее к поставленной цели.

1.4. Финализация состава команды

Ввиду ограниченности времени на решение поставленной задачи, время на формирование команды тоже не может быть безграничным. Если в течение отведенного времени команду с необходимым набором компетенций сформировать не удалось, то происходит остановка процесса формирования команды. В этом случае участники освобождаются от принятых обязательств и переключаются на другие задачи.

Если же команда успешно сформирована, то можно считать, что входящие в ее состав сотрудники заняты в течение некоторого времени, и итогом этой работы является публикация.

2. Модель

В данном разделе приведены формальные математические определения для понятий и процедур, описанных выше.

2.1. Формальная модель компетенций

Пусть N – число ключевых навыков, необходимых для работы в данной предметной области, W – множество сотрудников организации. Тогда профиль компетенций сотрудника представляет собой вектор

$$\vec{k}(w) = (k_1, \dots, k_N), \text{ где } w \in W, k_i \in R^+$$

Профиль компетенций команды T , состоящей из M человек – это вектор той же размерности N , который определяется путем суммирования по всем участникам команды:

$$\vec{k}(T) = \sum_{i=1}^M \vec{k}(w_i), \text{ где } T = \{w_1, \dots, w_M : w_i \in W\}.$$

Неформально i -я компонента вектора характеризует производительность сотрудника и команды при выполнении определенного типа задач.

Профиль тематики p имеет тот же тип, а именно – является N -мерным вектором:

$$\vec{k}(p) = (k_1, \dots, k_N).$$

Здесь i -я компонента вектора характеризует минимальную производительность команды, при которой все соответствующие задачи будут гарантированно выполнены в срок, с требуемым качеством.

2.2. Модель принятия ключевых решений

Моделирование процесса образования команды предусматривает использование функций, которые характеризуют логику принятия решения на разных этапах формирования команды. К таким функциям относятся:

♦ $\alpha(w, p)$ – описывает выбор цели первым участником команды. Данная функция принимает значение 1, если сотрудник по итогам рассмотрения цели принимает положительное решение о создании команды, в противном случае функция принимает значение 0;

♦ $\beta(w, T, p)$ — служит для формализации принятия решения о присоединении к команде вторым и последующими участниками;

♦ $\gamma(T, p, t)$ — служит для моделирования решения о самороспуске в момент времени t на основании сопоставления профиля созданной команды и профиля задачи.

В данной статье предполагается, что α , β и γ являются функциями, принимающими значения на множестве $\{0, 1\}$, которые зависят только от профиля компетенций человека, команды и задачи соответственно. Таким образом,

$$\begin{aligned} \alpha(w, p) &= \alpha'(\bar{k}(w), \bar{k}(p)), \\ \beta(w, T, p) &= \beta'(\bar{k}(w), \bar{k}(T), \bar{k}(p)), \\ \gamma(T, p, t) &= \gamma'(\bar{k}(T), \bar{k}(p), t). \end{aligned}$$

Пусть K — все пространство возможных значений вектора компетенций. Зависимость алгоритма образования команды только от профилей компетенций участника, команды и цели, определяет тип функций α' , β' и γ' :

$$\alpha': K^2 \rightarrow \{0, 1\}, \quad \beta': K^3 \rightarrow \{0, 1\}, \quad \gamma': K^2 \rightarrow \{0, 1\}.$$

Эти функции могут быть представлены следующими логическими формулами:

$$\begin{aligned} \alpha'(x, y) &= 1 \Leftrightarrow \exists i (x_i \geq y_i) \\ \beta'(x, y, z) &= 1 \Leftrightarrow \exists i [(x_i > y_i) \wedge (y_i < z_i)] \\ \gamma'(x, y, t) &= 1 \Leftrightarrow \exists i (x_i < y_i) \wedge (t > \tau_{\max}). \end{aligned}$$

2.3. Процесс формирования команды

При образовании команды имеется фиксированный список открытых задач P , причем для каждой задачи $p \in P$ задан ее профиль $k(p)$. Также фиксировано множество сотрудников W , для каждого сотрудника $w \in W$ известен профиль его компетенций $k(w)$. Кроме того, задан граф коммуникаций между сотрудниками $G \subseteq W \times W$. Предполагается, что команда должна сформироваться в течение времени τ_{\max} .

На каждом шаге происходит следующая последовательность действий.

1. Сотрудник w_0 , не являющийся членом ни одной из команд и не получивший приглашение присоединиться к команде, рассматривает список целей P . Если находится цель p_0 , для которой $\alpha(w_0, p_0) = 1$, то сотрудник принимает решение о создании новой команды T_0 и приглашает всех знакомых войти

в состав команды (соседи в коммуникационном графе G).

2. Если сотрудник w_1 не состоит в команде и получил приглашение войти в команду T_1 , созданную для решения задачи p_1 , то он принимает приглашение в случае, если $\beta(w_1, T_1, p_1) = 1$, и направляет приглашения всем своим соседям в графе G . В противном случае приглашение отклоняется.

3. Если для какой-то команды T_2 , созданной для решения задачи p_2 , выполняется условие $\gamma(T_2, p_2) = 1$, то команда приступает к работе и все приглашения другим сотрудникам аннулируются.

4. Если для какой-то команды T_3 , созданной для решения задачи p_3 , спустя заданное время τ_{\max} выполняется условие $\gamma(T_3, p_3) = 0$, то эта команда расформировывается и все приглашения другим сотрудникам аннулируются.

Несмотря на то, что α , β и γ являются детерминированными, алгоритм допускает большую степень неопределенности, что объясняется вероятностным характером взаимодействия объектов внутри системы. В частности, на результат существенно влияют следующие вероятностные параметры:

- ♦ очередность рассмотрения свободным сотрудником списка задач;
- ♦ очередность рассмотрения сотрудником полученных приглашений;
- ♦ очередность, в которой выбираются сотрудники для применения очередного шага алгоритма.

3. Вычислительный эксперимент

Ключевыми параметрами модели, необходимыми для проведения вычислительного эксперимента, являются:

- ♦ структура пространства K возможных значений вектора компетенций;
- ♦ характеристики графа коммуникаций сотрудников $G \subseteq W \times W$;
- ♦ распределение профилей компетенций среди сотрудников $k(W)$;
- ♦ характеристики поступающих задач $k(P)$.

Данные параметры зависят от специфики моделируемой организации. Некоторые из них могут быть измерены или легко вычислены на основе доступной информации от кадровой службы и анализа данных, полученных из корпоративных информационных систем. Остальные параметры выбираются путем подбора значений, при которых

результаты моделирования наиболее близко соответствуют параметрам команд, наблюдаемых на практике [11, 12].

В данной работе входные данные для моделирования взаимодействия сотрудников были извлечены из журналов телефонных звонков, а также таких параметров офиса, как расписание внутренних мероприятий и собраний, характерные маршруты движения и т.п. Информация о компетенциях была получена из анализа публикационной активности организации.

Описанная выше модель реализована в системе AnyLogic [13, 14]. Были реализованы базовые классы *Компетенция*, *Тематика*, *Сотрудник*, *Команда*, *Публикация*, а также описанный выше процесс образования команд. Имитационные эксперименты проводились с использованием высокопроизводительного вычислительного кластера из десяти компьютеров с сетевым хранилищем данных.

3.1. Тематика исследований

В области исследований, связанной с добычей и обработкой нефти и газа, список актуальных тем постоянно изменяется. Исследование динамики изменения актуальных тем в нефтегазовой индустрии было проведено в работе [15]. Например, в 2018 году один из ведущих журналов по геофизике опубликовал список актуальных тем². Кроме того, заранее известен календарь важнейших научных и научно-практических конференций³. На основе этих данных производилась настройка параметров множества актуальных исследовательских задач *P*.

темы задач выбирались из журнала «Нефтяное хозяйство» за период с 2011 по 2017 годы.

Агенты принимали решение о формировании команд и соавторстве в соответствии с вышеописанным алгоритмом. На *рисунке 1* приведен один из шагов имитационного процесса. Видно, что некоторые сотрудники ведут совместную работу, они объединены графом соавторства.

3.2. Профили компетенций

Для калибровки профиля компетенций сотрудника были использованы внутренние данные о квалификации сотрудников научно-технического центра «Газпромнефть НТЦ», которые непрерывно собираются и обновляются. Всего в эксперименте было задействовано 20 сотрудников одного отдела. Авторами была использована модель управления персоналом из работы [16] для учета притока и увольнений сотрудников.

3.3. Коммуникационный граф организации

Для получения коммуникационного графа анализируются коммуникации голосом по телефону, средства коротких сообщений, переписка по электронной почте, собрания, а также коммуникации по заказу помещений, командировкам, обращениям в службы поддержки и т.п. [17, 18]. Отметим, что содержимое коммуникационных каналов может быть нецифровым, но в цифровом виде могут содержаться атрибуты коммуникации, например, за-

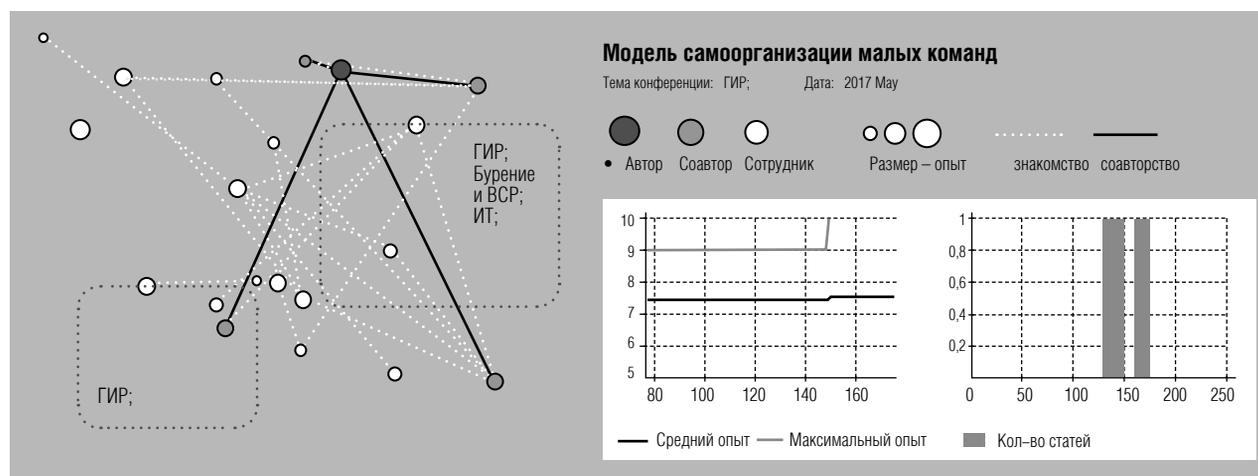


Рис. 1. Шаг имитационного процесса

² <http://fb.eage.org/index/guidelinesforauthors?p=103>
³ <http://www.spe.org/events/calendar/>

писи в календаре, повестки совещаний, приложенные документы, протоколы.

В контексте настоящего исследования важным является то, что при наличии доступа к корпоративным информационным системам граф коммуникаций G может быть вычислен путем анализа соответствующих данных.

Основной компонентой для образования группы является личное знакомство: если соавторы не знают друг о друге, то вероятность того, что они напишут совместную статью, равна нулю.

В данном эксперименте авторы абстрагировались от многих социальных составляющих, описанных в книгах [19, 20]. Например, личные симпатии [21] или чинопочитание [22] могут изменить картину взаимодействия сотрудников в офисе. Влияние социальных аспектов во многом зависит от культурных особенностей и отличается для различных стран и регионов. Поэтому на данном этапе в качестве основной компоненты для образования группы рассмотрено именно личное знакомство. В качестве дальнейших исследований возможно добавление в модель различных социокультурных особенностей.

3.4. Размер команды

Подробный анализ размера команды проведен в работе [10], где исследована статистика среднего размера коллектива авторов в разных областях науки (рисунки 2). В настоящее время среднее количество соавторов в статье колеблется в диапазоне от 2 до 6, эти данные были использованы для калибровки модели, а именно для уточнения шкалы компетенций для сотрудников и тематики.

3.5. Результаты вычислительного эксперимента

Проведенные вычислительные эксперименты с помощью описанной выше модели позволили экспертам для заданного графа коммуникаций выявить потенциальные профессиональные связи, добавление которых приводит к существенному повышению производительности работы. Эти результаты могут быть использованы для организации внутрикорпоративных мероприятий (семинаров и конференций) с явно определенным списком участников для обеспечения максимальной эффективности.

Заключение

Построенная имитационная модель позволяет проводить вычислительные эксперименты для сценарного анализа различных ситуаций, связанных с возможными кадровыми изменениями в научно-исследовательском центре. В частности, модель может быть использована для оценки возможных последствий привлечения в отдел нового сотрудника с определенным набором компетенций, увольнения одного из сотрудников, либо изменения профиля его компетенций по итогам программы повышения квалификации. Также представляется полезной возможность проигрывать разные сценарии, связанные с изменением графа коммуникаций. Таким образом, данная модель может быть использована руководителями научных подразделений, а также начальниками кадровых служб для ответа на следующие вопросы:

- ◆ Какое влияние на производительность команды может иметь увольнение или перевод в другое подразделение данного сотрудника?

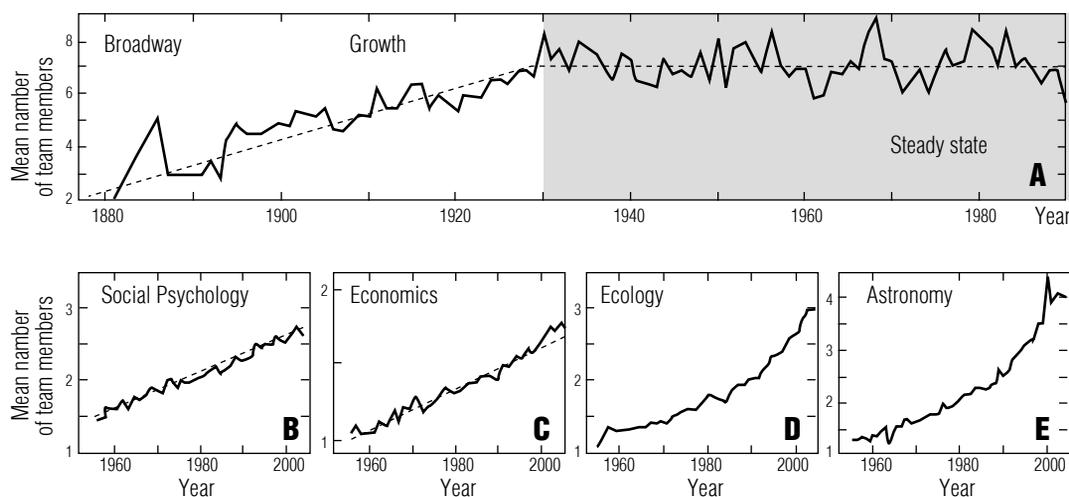


Рис. 2. Статистика среднего размера авторского коллектива в разных областях наук [10]

♦ Как наиболее эффективно организовать вовлечение нового сотрудника в командную работу, взаимодействие с кем из сотрудников нужно обеспечить в первую очередь?

♦ Какие недостающие коммуникации в социальном графе сотрудников нужно обеспечить для максимального повышения эффективности работы коллектива?

♦ Как наиболее эффективно использовать бюджет на повышение квалификации сотрудников, повышение каких компетенций каких сотрудников будет иметь максимальный эффект на общую результативность коллектива?

Проведенные ранее исследования [11] показывают, что в разных отраслевых исследовательских центрах структура графа соавторства может быть очень разной (рисунки 3 и 4), что нередко является следствием недостаточно хорошо налаженных коммуникаций.

Построенная модель является основой для дальнейших исследований процесса образования и функционирования проектных команд в научной среде. В частности, на ее основе планируется разработать методику оценки эффективности научно-исследовательской деятельности.

Также интересным направлением является уточнение и расширение модели, в частности, в следующих направлениях:

♦ Модели компетенций могут быть уточнены с привлечением аппарата нечеткой логики;

♦ При моделировании долгосрочных периодов появляется необходимость учитывать профессиональное и карьерное развитие сотрудников и сопряженные с этим изменения в их профилях компетенций;

♦ Отдельного внимания заслуживают синергетические эффекты, к которым, в первую очередь,

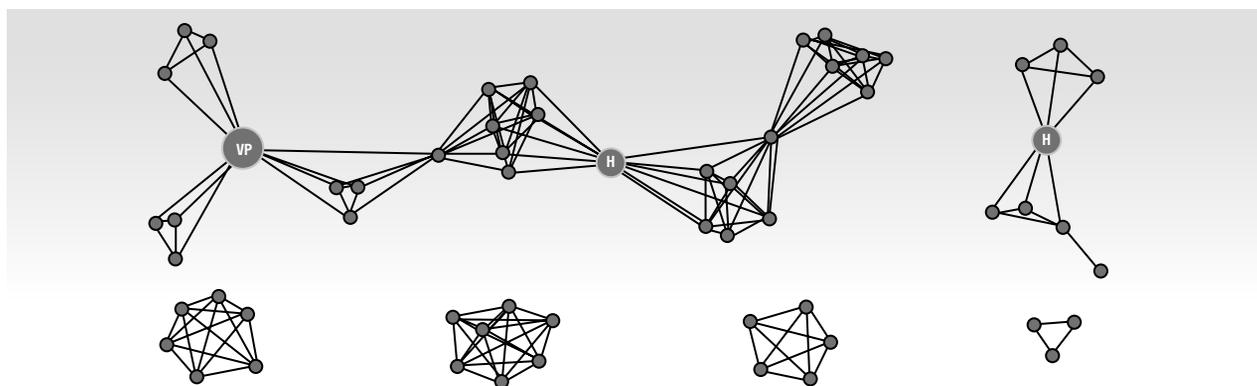


Рис. 3. Структура графа соавторства для исследовательского центра компании «Башнефть» [11]

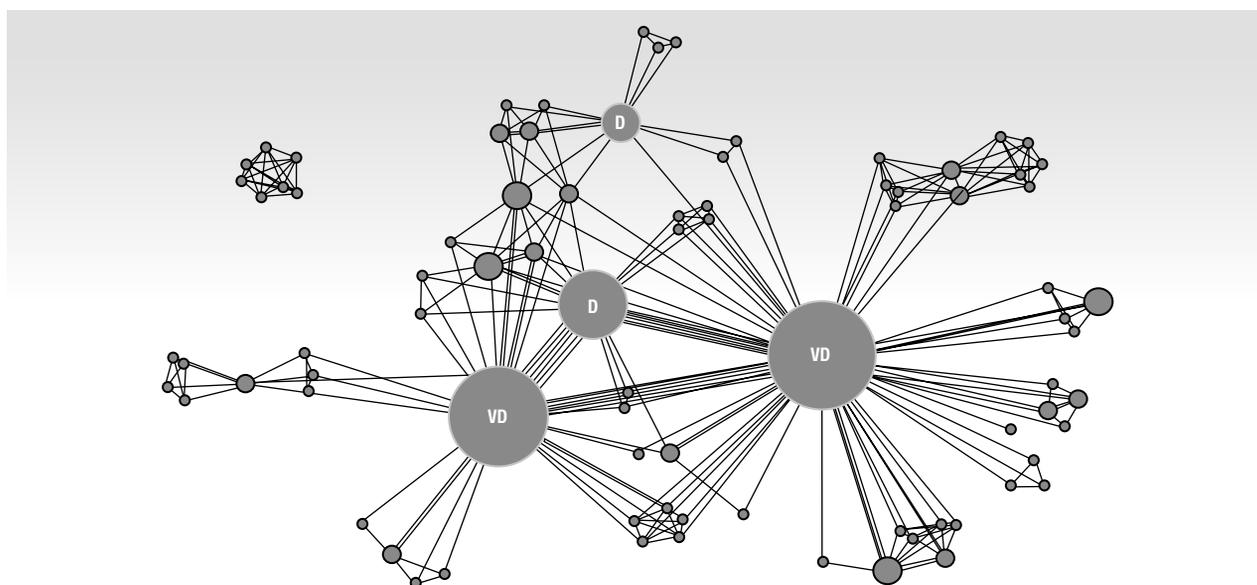


Рис. 4. Структура графа соавторства для исследовательского центра компании «Татнефть» [11]

авторы относят обмен знаниями в группе, наличие дополнительных (не требуемых для решения задачи) компетенций и возникновение наставничества. Синергетические эффекты должны быть учтены в изменяющихся во времени профилях компетенций команд;

◆ Функции α , β и γ , описывающие процесс принятия ключевых решений, могут быть уточнены путем учета других индивидуальных и командных характеристик, а также специфики задач;

◆ Алгоритм командообразования может иметь более сложную итеративную логику, учитывающую раз-

личные подходы к гибкому управлению проектами;

◆ Будет проработана ситуация с неуспешным завершением проекта. В терминах научной деятельности это означает, что написанная публикация не была принята к печати, но полученные результаты являются хорошим заделом для дальнейшей работы. В текущей работе авторы сделали допущение, что сотрудники не пишут «в стол», а каждое соавторство приводит к публикации. ■

Перечисленные направления находятся в поле зрения авторов, и по этим темам планируется продолжение исследований.

Литература

1. Щербаков А.И. Эффективность научной деятельности в СССР: Методологический аспект. М.: Экономика, 1982.
2. Овчинников О.А. К методологии оценки научной деятельности в научных и образовательных учреждениях Российской Федерации // Вестник Московского университета МВД России. 2009. № 3. С. 48–51.
3. Fursov K., Roschina Y., Balmush O. Determinants of research productivity: An individual-level lens // Foresight and STI Governance. 2016. Vol. 10. No 2. P. 44–56.
4. Shmatko N., Volkova G. Service or devotion? Motivation patterns of Russian researchers // Foresight and STI Governance. 2017. Vol. 11. No 2. P. 54–66.
5. Moe N.B., Dingsøyr T., Dybå T. Understanding self-organizing teams in agile software development // 19th Australian Conference on Software Engineering (ASWEC 2008). Perth, Australia, 26–28 March 2008. P. 76–85.
6. Bavelas A. A mathematical model for group structures // Human Organization. 1948. Vol. 7. No. 3. P. 16–30.
7. Новиков Д.А. Математические модели формирования и функционирования команд. М.: Издательство физико-математической литературы, 2008.
8. Бейльханов Д.К., Квятковская И.Ю. Использование модели компетенций в процессе командообразования // Технические науки – от теории к практике. 2014. № 30. С. 7–12.
9. Rózewski P., Ma achowski B. Competence management in knowledge-based organisation: Case study based on higher education organisation // Third International Conference on Knowledge Science, Engineering and Management (KSEM 2009). Vienna, Austria, 25–27 November 2009. P. 358–369.
10. Guimera R., Uzzi B., Spiro J., Amaral L.A.N. Team assembly mechanisms determine collaboration network structure and team performance // Science. 2005. Vol. 308. No 5722. P. 697–702.
11. Krasnov F., Dokuka S., Yavorskiy R. The structure of organization: The coauthorship network case // 5th International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts (AIST 2016). Yekaterinburg, Russia, 7–9 April 2016. P. 100–107.
12. Krasnov F., Dokuka S., Gorshkov I., Yavorskiy R. Analysis of strong and weak ties in oil & gas professional community // International Workshop on Formal Concept Analysis for Knowledge Discovery (FCA4KD 2017). Moscow, Russia, 1 June 2017. P. 22–33.
13. Боршев А. Применение имитационного моделирования в России – Состояние на 2007 г. // Бизнес-информатика. 2008. № 4 (06). С. 64–68.
14. Borshchev A. The big book of simulation modeling: Multimethod modeling with AnyLogic 6. AnyLogic North America, 2013.
15. Краснов Ф.В., Урмаев О.С. Разведка скрытых направлений исследований в нефтегазовой отрасли с помощью анализа библиотеки OnePetro // International Journal of Open Information Technologies. 2018. Т. 6. № 5. С. 7–14.
16. Курчакова Н.В., Краснов Ф.В. Моделирование изменений интеллектуального капитала в условиях повышенной нагрузки на персонал научно-исследовательской организации // Наукоедение. 2017. Т. 9. № 6. [Электронный ресурс]: <https://naukovedenie.ru/PDF/157TVN617.pdf> (дата обращения 01.09.2018).
17. Краснов Ф.В. Человек и коммуникации // Директор информационной службы. 2008. № 11. [Электронный ресурс]: <https://www.osp.ru/cio/2008/11/5480255/> (дата обращения 01.09.2018).
18. Krasnov F., Sergeev A. Segmentation of IT customers on internal market // Proceedings of the 5th Software Engineering Conference (SEC(R) 2008). Moscow, Russia, 21–25 October 2008. P. 457–465.
19. Homans G.C. The human group. Routledge, 2017.
20. Katz E., Lazarsfeld P.F., Roper E. Personal influence: The part played by people in the flow of mass communications. Routledge, 2017.
21. Mann R.D. A review of the relationships between personality and performance in small groups // Psychological Bulletin. 1959. Vol. 56. No 4. P. 241–270.
22. Hare A.P. Handbook of small group research. N.Y.: Free Press, 1976.

Об авторах

Вознесенская Тамара Васильевна

кандидат физико-математических наук;

доцент департамента больших данных и информационного поиска, факультет компьютерных наук,
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;

E-mail: tvoznesenskaya@hse.ru

Краснов Федор Владимирович

кандидат технических наук;

эксперт, ООО «Газпромнефть НТЦ», 190000, г. Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 75–79, литер Д;

E-mail: krasnov.fv@gazprom-neft.ru

Яворский Ростислав Эдуардович

кандидат физико-математических наук;

доцент департамента анализа данных и искусственного интеллекта, факультет компьютерных наук,
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;

E-mail: ryavorsky@hse.ru

Чеснокова Полина Владимировна

системный аналитик, Группа компаний ЛАНИТ, 129075, Москва, Мурманский проезд, д. 14, к. 1;

E-mail: chepolina27@gmail.com

Modeling self-organizing teams in a research environment

Tamara V. Voznesenskaya^a

E-mail: tvoznesenskaya@hse.ru

Fedor V. Krasnov^b

E-mail: krasnov.fv@gazprom-neft.ru

Rostislav E. Yavorsky^a

E-mail: ryavorsky@hse.ru

Polina V. Chesnokova^c

E-mail: chepolina27@gmail.com

^a National Research University Higher School of Economics
Address: 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia^b Gazprom Neft PJSC
Address: 75–79 liter D, Moika River Embankment, Saint Petersburg 190000, Russia^c LANIT Group
Address: 14 block 1, Murmansky Proezd, Moscow 129075, Russia**Abstract**

This paper presents the results of studies aimed at analyzing the effectiveness of a research center. The study focuses on the process of self-organization of project teams (groups of co-authors) for project implementation (writing a scientific article). The initiative to create a team comes from one of its members. The paper describes a formal model, based on a competence approach, which considers the types of tasks to be solved and the necessary skills of the staff. The paper also presents the results of simulation in the AnyLogic environment and problems for further research.

The competency profile of each employee is a vector where each coordinate describes the level of mastery of the corresponding skill. The competency profile of the team is a vector obtained as the result of simple addition of the competency profiles of the participants. The proposed model assumes that each task requires a certain set

of competencies and that the list of competencies and the level of experience are the criteria for deciding whether to join the team. The logic of decision making at various stages of team creation is modelled by functions. At each step of the modelling, the next employee is chosen randomly. To calibrate the team member's competency profile, internal data on employee qualifications of the Gazpromneft Research Center was used. The constructed model is the basis for further studies of the process by which project teams are created and function in a scientific environment and for developing a methodology to assess the effectiveness of the work of research teams. It helps to predict the need for personnel with different competencies, plan activities to improve the skills of employees and strengthen communication in the team.

Key words: team information model; simulation modeling; characteristics of research work; scientometrics; organizational hypothesis.

Citation: Voznesenskaya T.V., Krasnov F.V., Yavorsky R.E., Chesnokova P.V. (2019) Modeling self-organizing teams in a research environment. *Business Informatics*, vol. 13, no 2, pp. 7–17. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.2.7.17

References

1. Scherbakov A.I. (1982) *Efficiency of scientific activity in the USSR: Methodological aspect*. Moscow: Ekonomika (in Russian).
2. Ovchinnikov O.A. (2009) On the methodology of evaluation of scientific activity in scientific and educational institutions of the Russian Federation. *Bulletin of Moscow University of Russian Interior Ministry*, no 3, pp. 48–51 (in Russian).
3. Fursov K., Roschina Y., Balmush O. (2016) Determinants of research productivity: An individual-level lens. *Foresight and STI Governance*, vol. 10, no 2, pp. 44–56.
4. Shmatko N., Volkova G. (2017) Service or devotion? Motivation patterns of Russian researchers. *Foresight and STI Governance*, vol. 11, no 2, pp. 54–66.
5. Moe N.B., Dings yr T., Dyb T. (2008) Understanding self-organizing teams in agile software development. Proceedings of the *19th Australian Conference on Software Engineering (ASWEC 2008), Perth, Australia, 26–28 March 2008*, pp. 76–85.
6. Bavelas A. (1948) A mathematical model for group structures. *Human Organization*, vol. 7, no. 3, pp. 16–30.
7. Novikov D.A. (2008) *Mathematical models of formation and functioning of teams*. Moscow: Fizmatlit (in Russian).
8. Beilkhanov D.K., Kyatkovskaya I.Yu. (2014) Using the competence model in the process of team building. *Technical Sciences – From Theory to Practice*, no 30, pp. 7–12 (in Russian).
9. Rózewski P., Małachowski B. (2009) Competence management in knowledge-based organisation: Case study based on higher education organization. Proceedings of the *Third International Conference on Knowledge Science, Engineering and Management (KSEM 2009), Vienna, Austria, 25–27 November 2009*, pp. 358–369.
10. Guimera R., Uzzi B., Spiro J., Amaral L.A.N. (2005) Team assembly mechanisms determine collaboration network structure and team performance. *Science*, vol. 308, no 5722, pp. 697–702.
11. Krasnov F., Dokuka S., Yavorskiy R. (2016) The structure of organization: The coauthorship network case. Proceedings of the *5th International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts (AIST 2016), Yekaterinburg, Russia, 7–9 April 2016*, pp. 100–107.
12. Krasnov F., Dokuka S., Gorshkov I., Yavorskiy R. (2017) Analysis of strong and weak ties in oil & gas professional community. Proceedings of the *International Workshop on Formal Concept Analysis for Knowledge Discovery (FCA4KD 2017), Moscow, Russia, 1 June 2017*, pp. 22–33.
13. Borshev A. (2008) Application of simulation modeling in Russia – State for 2007. *Business Informatics*, no 4, pp. 64–68 (in Russian).
14. Borshev A. (2013) *The big book of simulation modeling: Multimethod modeling with AnyLogic 6*. AnyLogic North America.
15. Krasnov F.V., Ushmayev O.S. (2018) Exploration of hidden areas of research in the oil and gas industry by analyzing the OnePetro library. *International Journal of Open Information Technologies*, vol. 6, no 5, pp. 7–14 (in Russian).
16. Kurchakova N.V., Krasnov F.V. (2017) Modeling of intellectual capital changes in the conditions of increased load on the staff of the research organization. *Naukovedenie*, vol. 9, no 6. Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/157TVN617.pdf> (accessed 01 September 2018) (in Russian).
17. Krasnov F.V. (2008) A human and communications. *Director of Information Service*, no 11. Available at: <https://www.osp.ru/cio/2008/11/5480255/> (accessed 01 September 2018) (in Russian).
18. Krasnov F., Sergeev A. (2008) Segmentation of IT customers on internal market. Proceedings of the *5th Software Engineering Conference (SEC(R) 2008), Moscow, Russia, 21–25 October 2008*, pp. 457–465.
19. Homans G.C. (2017) *The human group*. Routledge.
20. Katz E., Lazarsfeld P.F., Roper E. (2017) *Personal influence: The part played by people in the flow of mass communications*. Routledge.
21. Mann R.D. (1959) A review of the relationships between personality and performance in small groups. *Psychological Bulletin*, vol. 56, no 4, pp. 241–270.
22. Hare A.P. (1976) *Handbook of small group research*. N.Y.: Free Press.

About the authors

Tamara V. Voznesenskaya

Cand. Sci. (Phys.-Math.);

Associate Professor, Big Data and Information Retrieval School,
Faculty of Computer Science, National Research University Higher School of Economics,
20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;

E-mail: tvozesenskaya@hse.ru

Fedor V. Krasnov

Cand. Sci. (Tech.);

Expert, Science & Technology Centre, Gazprom Neft PJSC, 75–79 liter D, Moika River Embankment, Saint Petersburg 190000, Russia;

E-mail: krasnov.fv@gazprom-neft.ru

Rostislav E. Yavorsky

Cand. Sci. (Phys.-Math.);

Associate Professor, School of Data Analysis and Artificial Intelligence,
Faculty of Computer Science, National Research University Higher School of Economics,
20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;

E-mail: ryavorsky@hse.ru

Polina V. Chesnokova

System Analyst, LANIT Group, 14 block 1, Murmansky Proezd, Moscow 129075, Russia;

E-mail: chepolina27@gmail.com

Определение ресурсов на восстановление системы вычислительных комплексов с элементами разной значимости

А.И. Марон^a

E-mail: amaron@hse.ru

Т.К. Кравченко^a

E-mail: tkravchenko@hse.ru

Т.Я. Шевгунов^{a,b}

E-mail: tshevgunov@hse.ru

^a Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Адрес: 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20

^b Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Адрес: 125993, г. Москва, Волоколамское ш., д. 4

Аннотация

Большие распределенные информационные системы (БРИС) являются основой цифровизации технологических процессов в промышленности, на транспорте и в государственном управлении. Организация технического обслуживания таких систем и, в первую очередь, оперативное восстановление при отказах является актуальной темой научных исследований. БРИС состоят из вычислительных комплексов, в состав которых входят как основные элементы, так и вспомогательные. В современной литературе нет решения задачи определения ресурсов на техническое обслуживание (РТО) с учетом разной значимости элементов вычислительных комплексов. Впервые эта задача поставлена и решена в данной статье.

Для решения поставленной задачи применен метод динамики средних. Применение этого метода обусловлено тем, что он дает возможность получить систему дифференциальных уравнений для описания изменения во времени средней численности элементов, находящихся в различных состояниях в процессе эксплуатации БРИС.

Анализ решения полученной системы дифференциальных уравнений динамики средних позволил найти аналитические выражения для определения численности персонала и количества запасных элементов, при которых математическое ожидание численности исправных вычислительных комплексов достигает максимума. Результаты применимы при расчете РТО реальных БРИС. Они также могут служить в качестве начальных приближений к оптимальному объему РТО при необходимости учета выявленных особенностей эксплуатации конкретных систем с помощью имитационного моделирования. Численное решение полученной системы дифференциальных уравнений дает возможность определить среднее количество исправных элементов БРИС и в том случае, когда на обслуживание выделяется меньше ресурсов, чем это необходимо для достижения максимального значения среднего количества исправных элементов. Это позволяет решать задачи оптимизации ресурсов на обслуживание БРИС по экономическим критериям тогда, когда доход от функционирования вычислительных комплексов и затраты на оплату персонала сопоставимы.

Ключевые слова: распределенные информационные системы; техническое обслуживание; надежность; теория массового обслуживания; метод динамики средних.

Цитирование: Марон А.И., Кравченко Т.К., Шевгунов Т.Я. Определение ресурсов на восстановление системы вычислительных комплексов с элементами разной значимости // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 2. С. 18–28. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.2.18.28

Введение

Большие распределенные информационные системы (БРИС) применяются для решения технологических задач в отраслях народного хозяйства и для осуществления функций государственного управления [1–6]. Примером такой системы является система отслеживания местоположения вагонов и контейнеров на железных дорогах России и стран СНГ, включающая в себя сеть центрального и периферийных вычислительных комплексов. Системы административного управления, созданные в рамках программы «Электронная Россия», также включают распределенные вычислительные комплексы [7]. К надежности таких систем предъявляются высокие требования, особенно если они обеспечивают процесс, являющийся основным для данной отрасли или сферы деятельности [8, 9]. Так, на железных дорогах России и стран СНГ эксплуатируются комплексные системы автоматизированного управления движением поездов, обеспечивающие выполнение рабочего графика движения поездов с учетом реальной пропускной способности различных участков [10, 11]. Надежность таких систем определяется не только показателями безотказности, но и характеристиками восстановления, которые, в свою очередь, зависят от того, насколько рационально оно организовано. Как показывает практика, для оперативного восстановления БРИС целесообразно создавать специализированные технические центры (СТЦ), которые централизованно обслуживают определенные регионы, используя в качестве основного метода восстановления агрегатные замены и последующий ремонт оборудования в стационарных условиях. Для выполнения возложенных на него задач СТЦ должен иметь адекватные трудовые и материальные ресурсы – ресурсы на техническое обслуживание (РТО). Если объем этих ресурсов будет мал, то в системе будет накапливаться неработоспособное оборудование, в результате чего эффективность системы будет, как минимум, существенно снижена. Если же объем ресурсов слишком велик, то это просто ненужные затраты.

Каждая из перечисленных выше систем состоит из вычислительных комплексов. Отказ вычисли-

тельного комплекса не приводит к отказу системы, но снижает эффективность ее функционирования. В работе [12] задача определения РТО решена для БРИС, состоящей из вычислительных комплексов, каждый из которых состоит из элементов, одинаково необходимых для его работоспособности. Примером такой системы является система учета потребления электроэнергии. Однако многие системы состоят из вычислительных комплексов, в которых одни элементы (элементы первого типа) обязательны для функционирования вычислительных комплексов, а другие (элементы второго типа) – нет. Отказ элемента первого типа приводит к отказу вычислительного комплекса. Отказ элемента второго типа делает комплекс неисправным: снижается эффективность его функционирования, но это не приводит к его неработоспособности. Решение задачи определения РТО для таких систем в литературе отсутствует. Данная работа посвящена ликвидации этого пробела. Актуальность исследования состоит в том, что большинство реально существующих БРИС относится именно к рассматриваемому классу.

Целью настоящей работы является повышение экономической эффективности БРИС за счет рационального выбора РТО.

Работа имеет следующую структуру. В первом разделе сформулирована математическая постановка задачи и введены используемые обозначения. Второй раздел состоит из трех подразделов. В первом из них выводятся дифференциальные уравнения, описывающие динамику изменения средней численности элементов, находящихся в различных состояниях в процессе функционирования БРИС. Большое внимание здесь уделено выводу значений интенсивностей переходов элемента из одного состояния в другое. Показано, что эти интенсивности в общем случае не являются постоянными, в силу чего дифференциальные уравнения нелинейны. Во втором подразделе выводятся формулы для определения объема РТО, при котором среднее количество исправных вычислительных комплексов достигает максимума. В третьем подразделе приведен пример расчета РТО. В третьем разделе статьи обсуждается, какие из ограничений, сделанных при постановке задачи, наиболее существенны. Кроме того, объяснено, по-

чему для аналитического решения поставленной задачи нельзя применить классический метод расчета систем массового обслуживания, основанный на уравнениях Колмогорова, и приходится прибегать к методу динамики средних. В четвертом разделе даны рекомендации, когда целесообразно применять полученные в работе формулы расчета РТО, а когда придется численно решать жесткую систему нелинейных дифференциальных уравнений динамики средних. В Заключении перечислены новые научные результаты, полученные в данной работе.

1. Постановка задачи

Рассмотрим БРИС, состоящую из N вычислительных комплексов, в состав каждого из которых входят два элемента. Один из них (элемент первого типа) обязателен для работоспособности комплекса, отказ другого (элемента второго типа) лишь снижает эффективность его функционирования. Отказ одного вычислительного комплекса не приводит к неработоспособности всей системы, но снижает эффективность ее функционирования.

Введем для элементов первого и второго типов следующие показатели: среднее время безотказной работы – $\bar{T}_0^{(1)}, \bar{T}_0^{(2)}$; среднее время замены – $\bar{T}_{3М}^{(1)}, \bar{T}_{3М}^{(2)}$; среднее время ремонта – $\bar{T}_{РМ}^{(1)}, \bar{T}_{РМ}^{(2)}$. При этом среднее время безотказной работы элементов первого и второго типов больше суммарного времени, требуемого на их замену и ремонт. Для восстановления системы создан СЦ. Замену элементов осуществляет бригада курьеров из r человек. Ремонт выполняет другая бригада, в которой выделены специализированные группы для элементов первого и второго типов численностью $R^{(1)}$ и $R^{(2)}$ соответственно. В начальный момент имеется $n^{(1)}$ запасных элементов первого типа и $n^{(2)}$ второго типа.

Требуется определить численность персонала и количество запасных элементов, при которых среднее число исправных комплексов стабилизируется к максимальному значению.

2. Метод решения

2.1. Модель восстановления системы вычислительных комплексов, состоящих из неоднородных зависимых элементов

Предположим, что случайные величины «время безотказной работы», «время замены», «время ремонта элемента первого типа» и «время ремон-

та элемента второго типа» распределены показательно с параметрами $\lambda_0^{(1)}, \lambda_0^{(2)}, \lambda_{3М}^{(1)}, \lambda_{3М}^{(2)}, \lambda_{РМ}^{(1)}, \lambda_{РМ}^{(2)}$. Значение каждого параметра является величиной, обратной среднему значению соответствующего времени. Тогда для описания изменения средних численностей элементов, находящихся в различных состояниях, можно применить метод динамики средних [13].

В этом случае граф состояний элементов системы состоит из двух подграфов, представленных на рисунке 1. В отличие от системы из независимых элементов, эти подграфы не идентичны.

Первый из подграфов описывает возможные состояния элемента первого типа, отказ которого приводит к неработоспособности комплекса, в который он входит. Данный подграф содержит следующие вершины:

$S_1^{(1)}$ – элемент первого типа исправен и функционирует в составе одного из комплексов;

$S_2^{(1)}$ – элемент первого типа отказал и ждет замены;

$S_3^{(1)}$ – элемент первого типа неработоспособен, доставлен в ремонтный центр, ожидает ремонта или ремонтируется;

$S_4^{(1)}$ – элемент первого типа исправен и находится на складе ремонтного центра.

Подграф, описывающий состояния элемента второго типа, имеет, в отличие от первого подграфа, не четыре, а пять вершин. Четыре из них, – $S_1^{(2)}, S_2^{(2)}, S_3^{(2)}, S_4^{(2)}$, – соответствуют состояниям элемента второго типа, аналогичным $S_1^{(1)}, S_2^{(1)}, S_3^{(1)}, S_4^{(1)}$. Пятая вершина характеризует состояние $S_5^{(2)}$ – элемент второго типа работоспособен, находится в составе комплекса, но не функционирует ввиду отказа эле-

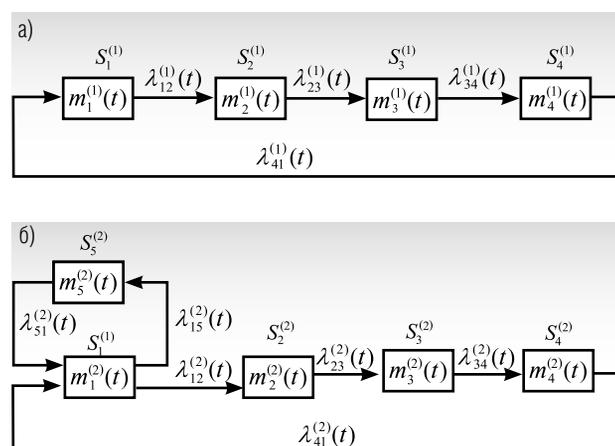


Рис. 1. Граф состояний (а) элемента первого типа, (б) элемента второго типа

мента первого типа. Именно возможность такого состояния объясняет зависимость между элементами первого и второго типов.

Изменение численности элементов описывается решением системы дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dm_1^{(1)}(t)}{dt} &= -\lambda_{12}^{(1)}m_1^{(1)}(t) + \lambda_{41}^{(1)}m_4^{(1)}(t), \\ \frac{dm_2^{(1)}(t)}{dt} &= -\lambda_{23}^{(1)}m_2^{(1)}(t) + \lambda_{12}^{(1)}m_1^{(1)}(t), \\ \frac{dm_3^{(1)}(t)}{dt} &= -\lambda_{34}^{(1)}m_3^{(1)}(t) + \lambda_{23}^{(1)}m_2^{(1)}(t), \\ \frac{dm_4^{(1)}(t)}{dt} &= -\lambda_{41}^{(1)}m_4^{(1)}(t) + \lambda_{34}^{(1)}m_3^{(1)}(t), \\ m_1^{(1)}(t) + m_2^{(1)}(t) + m_3^{(1)}(t) + m_4^{(1)}(t) &= N + n^{(1)}, \\ \frac{dm_1^{(2)}(t)}{dt} &= -[\lambda_{12}^{(2)} + \lambda_{15}^{(2)}]m_1^{(2)}(t) + \lambda_{41}^{(2)}m_4^{(2)}(t) + \lambda_{51}^{(2)}m_5^{(2)}(t), \\ \frac{dm_2^{(2)}(t)}{dt} &= -\lambda_{23}^{(2)}m_2^{(2)}(t) + \lambda_{12}^{(2)}m_1^{(2)}(t), \\ \frac{dm_3^{(2)}(t)}{dt} &= -\lambda_{34}^{(2)}m_3^{(2)}(t) + \lambda_{23}^{(2)}m_2^{(2)}(t), \\ \frac{dm_4^{(2)}(t)}{dt} &= -\lambda_{41}^{(2)}m_4^{(2)}(t) + \lambda_{34}^{(2)}m_3^{(2)}(t), \\ \frac{dm_5^{(2)}(t)}{dt} &= -\lambda_{51}^{(2)}m_5^{(2)}(t) + \lambda_{15}^{(2)}m_1^{(2)}(t), \\ m_1^{(2)}(t) + m_2^{(2)}(t) + m_3^{(2)}(t) + m_4^{(2)}(t) + m_5^{(2)}(t) &= N + n^{(2)}, \end{aligned} \right. \quad (1)$$

при начальных условиях

$$\left. \begin{aligned} m_1^{(1)}(0) = m_1^{(2)}(0) = N; \quad m_4^{(1)}(0) = n^{(1)}; \quad m_4^{(2)}(0) = n^{(2)}; \\ m_2^{(1)}(0) = m_2^{(2)}(0) = m_3^{(1)}(0) = m_3^{(2)}(0) = m_5^{(2)}(0) = 0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Существует связь между количеством элементов различных типов. Интенсивность переходов элементов из одних состояний в другие зависит от распределения элементов по состояниям. Вид выражений, определяющих значения величин $\lambda_i^{(1)}(t)$ ($i = 1, 2, 3, 4$) и $\lambda_j^{(2)}(t)$ ($j = 1, 2, 3, 4, 5$), будет различаться при различных соотношениях между приоритетами элементов. Типовыми являются два случая:

♦ приоритеты элементов первого и второго типов одинаковы;

♦ элементы первого типа заменяются вне очереди, поскольку их работоспособность является обязательным условием для функционирования комплексов системы.

Рассмотрим второй случай, когда приоритет на обслуживание элементов первого типа выше, чем у элементов второго типа.

Определим интенсивность переходов элементов из одних состояний в другие. Некоторые из этих значений постоянны, а остальные зависят от численностей элементов, находящихся в других состояниях. Поэтому система (1) является нелинейной. Численность элементов, находящихся в различных состояниях, не известна. Следуя принципу Динера, будем заменять неизвестные нам значения численности элементов, находящихся в различных состояниях, их средними значениями, и в дальнейшем употреблять выражения «численность элементов» и «средняя численность элементов» как синонимы. Начнем с $\lambda_{12}^{(1)}(t)$ – интенсивности перехода элемента первого типа из состояния $S_1^{(1)}$ в состояние $S_2^{(1)}$. Она является постоянной. Действительно, если в момент времени t функционирует $m_1^{(1)}(t)$ элементов первого типа, то суммарная интенсивность их отказов составит

$$\Lambda^{(1)}(t) = \lambda_0^{(1)}m_1^{(1)}(t), \quad (3)$$

что в расчете на один элемент дает:

$$\lambda_{12}^{(1)}(t) = \frac{\Lambda^{(1)}(t)}{m_1^{(1)}(t)} = \lambda_0^{(1)}. \quad (4)$$

Определим $\lambda_{23}^{(1)}(t)$: эта интенсивность перехода не будет постоянной. Действительно, допустим, что в момент времени t $m_2^{(1)}(t)$ элементов первого типа не работоспособны и ожидают прибытия курьера для замены их на запасные. Здесь возможными являются два варианта типовых действий курьера:

♦ доставлять элементы в ремонт, независимо от того, есть ли чем их заменять, а затем устанавливать запасные элементы по мере их поступления из ремонта;

♦ в случае отсутствия запасных элементов ждать получения отремонтированных элементов и не выполнять доставку в ремонт без замены.

По сравнению со вторым вариантом, первый вариант действий курьера, как правило, позволяет несколько снизить потребность в запасных элементах, поэтому рассмотрим его подробнее. Здесь интенсивность перехода $\lambda_{23}^{(1)}(t)$ зависит лишь от соотношения между численностью курьеров r и элементов в состоянии $S_2^{(1)}$. Действительно, если $r \geq m_2^{(1)}(t)$, то суммарная интенсивность перехода из состояния $S_2^{(1)}$ в $S_3^{(1)}$ будет равна

$$\Lambda_{23}(t) = \lambda_{3M}^{(1)}m_2^{(1)}(t), \quad (5)$$

что в расчете на один элемент составляет:

$$\lambda_{23}^{(1)}(t) = \lambda_{3M}^{(1)}. \quad (6)$$

Если же $r < m_2^{(1)}(t)$, то суммарная интенсивность перехода из состояния $S_2^{(1)}$ в $S_3^{(1)}$ будет равна

$$\Lambda_{23}(t) = \lambda_{3M}^{(1)} r, \quad (7)$$

что в расчете на один элемент составляет:

$$\lambda_{23}^{(1)}(t) = \frac{\lambda_{3M}^{(1)} r}{m_2^{(1)}(t)}. \quad (8)$$

Аналогично может быть определена интенсивность ремонта в расчете на один элемент:

$$\lambda_{34}^{(1)}(t) = \begin{cases} \lambda_{PM}^{(1)}, & R \geq m_3^{(1)}(t); \\ \frac{\lambda_{PM}^{(1)} R^{(1)}}{m_3^{(1)}(t)}, & R < m_3^{(1)}(t). \end{cases} \quad (9)$$

Интенсивность перехода элемента первого типа из состояния $S_4^{(1)}$ в $S_1^{(1)}$ определяется соотношениями между $m_{TP}^{(1)}(t)$ – численностью элементов первого типа, которые необходимо направить в момент t для установки в систему, численностью курьеров r и количеством запасных элементов, имеющих в наличии на складе. Величина $m_{TP}^{(1)}(t)$ равна разности между общим количеством элементов первого типа в исправной системе N и численностью функционирующих элементов первого типа $m_1^{(1)}(t)$:

$$m_{TP}^{(1)}(t) = N - m_1^{(1)}(t). \quad (10)$$

В некоторые моменты времени потребность в элементах может не совпадать с числом ожидающих замены $m_2^{(1)}(t)$, поскольку курьеры забирают отказавшие элементы для стационарного ремонта даже тогда, когда заменить их нечем. Поэтому имеет место соотношение:

$$m_{TP}^{(1)}(t) = N - m_1^{(1)}(t) \neq m_2^{(1)}(t). \quad (11)$$

Это будет иметь место при недостатке запасных элементов или мощности ремонтной бригады. Учитывая последнее, окончательно получим следующие выражения для интенсивности перехода $\lambda_{41}^{(1)}(t)$:

$$\lambda_{41}^{(1)}(t) = \frac{\lambda_{3M}^{(1)} \min\{[N - m_1^{(1)}(t)], r, m_4^{(1)}(t)\}}{m_4^{(1)}(t)}. \quad (12)$$

Теперь определим интенсивности переходов для элемента второго типа. Особенностью элемента второго типа является то, что он может быть исправен, находиться в составе комплекса, но не функционировать ввиду отказа элемента первого типа.

Аналогично тому, как это было сделано для элемента первого типа, можно показать, что

$$\lambda_{12}^{(2)}(t) = \lambda_0^{(2)}, \quad (13)$$

Интенсивность перехода элемента второго типа из состояния $S_2^{(2)}$ в $S_3^{(2)}$, при наличии у элемента первого типа более высокого приоритета на замену, зависит от соотношения численности элементов второго типа, которые необходимо доставить в ремонт $m_2^{(2)}(t)$, и количеством курьеров $r_{cb}(t)$, не занятых работой с элементами первого типа.

Нетрудно убедиться, что

$$r_{cb}(t) = r - m_{TP}^{(1)}(t) = r - [N - m_1^{(1)}(t)] = r + m_1^{(1)}(t) - N. \quad (14)$$

Соответственно

$$\lambda_{23}^{(2)}(t) = \begin{cases} 0, & r_{cb} \leq 0; \\ \frac{\lambda_{3M}^{(2)} \min\{r_{cb}(t), m_2^{(2)}(t)\}}{m_4^{(2)}(t)}, & r_{cb}(t) > 0. \end{cases} \quad (15)$$

Интенсивность перехода из ремонтного центра на склад для элемента второго типа:

$$\lambda_{34}^{(2)}(t) = \begin{cases} \lambda_{PM}^{(2)}, & m_3^{(2)}(t) \leq R^{(2)}; \\ \frac{\lambda_{PM}^{(2)} R}{m_3^{(2)}(t)}, & m_3^{(2)}(t) > R^{(2)}. \end{cases} \quad (16)$$

Интенсивность $\lambda_{41}^{(2)}(t)$ зависит от соотношений между численностями свободных курьеров $r_{cb}(t)$, запасных элементов второго типа на складе $m_4^{(2)}(t)$ и потребностью в запасных элементах второго типа, которые необходимо установить в систему – $m_{TP}^{(2)}(t)$.

Величина $m_{TP}^{(2)}(t)$, в отличие от $m_{TP}^{(1)}(t)$, не равна разности между общим количеством комплексов в системе и численностью функционирующих элементов данного типа. Это связано с тем, что элементы второго типа могут не функционировать ввиду отказа элемента первого типа. Поэтому

$$m_{TP}^{(2)}(t) = m_1^{(1)}(t) - m_1^{(2)}(t). \quad (17)$$

Учитывая это, окончательно получим

$$\lambda_{41}^{(2)}(t) = \begin{cases} 0, & r_{cb} \leq 0; \\ \frac{\lambda_{3M}^{(2)} \min\{r_{cb}(t), m_{TP}^{(2)}(t), m_4^{(2)}(t)\}}{m_4^{(2)}(t)}, & r_{cb}(t) > 0. \end{cases} \quad (18)$$

Выведем формулу для определения интенсивности $\lambda_{15}^{(2)}(t)$. В состоянии $S_5^{(2)}$ элементы второго типа переводят отказы элементов первого типа, имеющие суммарную интенсивность

$$\Lambda_5(t) = \lambda^{(1)} m_1^{(1)}(t). \quad (19)$$

В расчете на один элемент второго типа, находящийся в состоянии $S_1^{(1)}$, получим

$$\lambda_{15}^{(2)}(t) = \frac{\lambda_0^{(1)} m_1^{(1)}(t)}{m_1^{(2)}(t)}. \quad (20)$$

Интенсивность перехода $\lambda_{s1}^{(2)}(t)$ равна отношению суммарной интенсивности переходов элементов первого типа в рабочее состояние к численности элементов второго типа, находящихся в состоянии $S_5^{(2)}$:

$$\lambda_{s1}^{(2)}(t) = \frac{\lambda_{3M}^{(1)} \min \{ [N - m_1^{(1)}(t)], r, m_4^{(1)}(t) \}}{m_5^{(2)}(t)}. \quad (21)$$

Путем численного решения системы (1) при найденных значениях интенсивностей, являющихся коэффициентами входящих в нее уравнений, можно определить распределение элементов по состояниям при любой численности курьеров, ремонтников и запасных элементов. Уравнения системы (1) являются жесткими [14], прежде всего, поскольку наработка на отказ у современных вычислительных комплексов может быть на несколько порядков больше, чем средние значения длительности замены и ремонта. Вместе с тем сложность расчетов не выходит за пределы методов, реализованных в MathCAD [14, 15].

2.2. Оценка необходимого объема ресурсов на техническое обслуживание

Перейдем к определению достаточного объема РТО, при котором средняя численность исправных комплексов системы будет стабилизироваться к максимуму. Эта задача сводится к определению численности персонала и запасных элементов, при которых решение системы не выйдет за границы области малых очередей.

Границы области малых очередей в данном случае можно задать системой неравенств

$$\begin{cases} r_{cb}(t) \geq m_{TP}^{(1)}(t) + m_{TP}^{(2)}(t), \\ R^{(1)} \geq m_3^{(1)}(t), \\ R^{(2)} \geq m_3^{(2)}(t), \\ m_4^{(1)}(t) \geq m_{TP}^{(1)}(t), \\ m_4^{(2)}(t) \geq m_{TP}^{(2)}(t). \end{cases} \quad (22)$$

В области малых очередей коэффициенты системы (1) принимают значения:

$$\begin{aligned} \lambda_{12}^{(1)} &= \lambda_0^{(1)}; \lambda_{23}^{(1)} = \lambda_{3M}^{(1)}; \lambda_{34}^{(1)} = \lambda_{PM}^{(1)}; \lambda_{41}^{(1)} = \frac{\lambda_{3M}^{(1)}(N - m_1^{(1)})}{m_4^{(1)}}; \\ \lambda_{12}^{(2)} &= \lambda_0^{(2)}; \lambda_{23}^{(2)} = \lambda_{3M}^{(2)}; \lambda_{34}^{(2)} = \lambda_{PM}^{(2)}; \lambda_{41}^{(2)} = \frac{\lambda_{3M}^{(2)}(m_1^{(1)} - m_1^{(2)})}{m_4^{(2)}}; \\ \lambda_{15}^{(2)} &= \frac{\lambda_0^{(1)} m_1^{(1)}}{m_1^{(2)}}; \lambda_{s1}^{(2)} = \frac{\lambda_{3M}^{(1)}(N - m_1^{(1)})}{m_5^{(2)}}. \end{aligned} \quad (23)$$

Решение системы (1) в области малых очередей (22) стабилизируется к предельным значениям $m_i^{(1)}$ и $m_j^{(2)}$. Для их нахождения достаточно решить алгебраическую систему, получаемую из (1) путем подстановки в нее значений коэффициентов (23) и замены на ноль всех производных от численностей состояний по времени. В результате окончательно получим:

$$\begin{aligned} m_1^{(1)} &= K_r^{(1)} N; \\ m_2^{(1)} &= (1 - K_r^{(1)}) N; \\ m_3^{(1)} &= \frac{\bar{T}_{PM}^{(1)}}{\bar{T}_0^{(1)} + \bar{T}_{3M}^{(1)}} N; \\ m_4^{(1)} &= n^{(1)} - m_3^{(1)}; \\ m_1^{(2)} &= K_r^{(1)} K_r^{(2)} N; \\ m_2^{(2)} &= K_r^{(1)} (1 - K_r^{(2)}) N; \\ m_3^{(2)} &= K_r^{(1)} \frac{\bar{T}_{PM}^{(2)}}{\bar{T}_0^{(2)} + \bar{T}_{3M}^{(2)}} N; \\ m_4^{(2)} &= n^{(2)} - m_3^{(2)}; \\ m_5^{(2)} &= N - m_1^{(1)}; \end{aligned} \quad (24)$$

где $K_r^{(1)}$, $K_r^{(2)}$ – максимальные установившиеся значения коэффициентов готовности элементов первого и второго типов:

$$\begin{aligned} K_r^{(1)} &= \frac{\bar{T}_0^{(1)}}{\bar{T}_0^{(1)} + \bar{T}_{3M}^{(1)}}, \\ K_r^{(2)} &= \frac{\bar{T}_0^{(2)}}{\bar{T}_0^{(2)} + \bar{T}_{3M}^{(2)}}. \end{aligned} \quad (25)$$

При установившемся распределении численностей элементов границы областей малых очередей можно задать системой неравенств:

$$\begin{cases} r_{cb} \geq m_{TP}^{(1)} + m_{TP}^{(2)}, \\ R^{(1)} \geq m_3^{(1)}, \\ R^{(2)} \geq m_3^{(2)}, \\ m_4^{(1)} \geq m_{TP}^{(1)}, \\ m_4^{(2)} \geq m_{TP}^{(2)}. \end{cases} \quad (26)$$

Здесь r_{cb} , $m_{TP}^{(1)}$, $m_{TP}^{(2)}$ – предельные значения, к которым в области малых очередей стремятся функции $r_{cb}(t)$, $m_{TP}^{(1)}(t)$, $m_{TP}^{(2)}(t)$ при $t \rightarrow \infty$.

Определим избыточный набор ресурсов, при котором неравенства (26) будут выполнены. Этот набор является достаточным для обеспечения стабилизации математического ожидания числа исправных комплексов, в которых функционируют оба элемента, к максимальному значению при $t \rightarrow \infty$.

Для этого определим величины $m_{TP}^{(1)}$ и $m_{TP}^{(2)}$. Учитывая (10), (17), (26), получим:

$$\begin{aligned} m_{TP}^{(1)} &= N - m_1^{(1)} = (1 - K_r^{(1)})N; \\ m_{TP}^{(2)} &= K_r^{(1)}(1 - K_r^{(2)})N. \end{aligned} \quad (27)$$

Второе и третье неравенства системы (26) выполняются при всех $R_0^{(1)} \geq R_0^{(1)}$ и $R_0^{(2)} \geq R_0^{(2)}$, где:

$$\begin{aligned} R_0^{(1)} &= \left[\frac{\bar{T}_P^{(1)}}{\bar{T}_0^{(1)} + \bar{T}_{3M}^{(1)}} N \right], \\ R_0^{(2)} &= \left[K_r^{(1)} \frac{\bar{T}_P^{(2)}}{\bar{T}_0^{(2)} + \bar{T}_{3M}^{(2)}} N \right]. \end{aligned} \quad (28)$$

Подставляя (27) в первое неравенство системы (26), получим, что первое неравенство системы (26) выполняется при $r \geq r_0$, где

$$r_0 = \left[N(1 - K_r^{(1)}K_r^{(2)}) \right]. \quad (29)$$

Аналогично можно убедиться, что условие отсутствия очередей на замену ввиду отсутствия запасных элементов выполняется тогда, когда для количества запасных элементов первого типа справедливо неравенство $n^{(1)} > n_0^{(1)}$, а для количества запасных элементов второго типа – $n^{(2)} > n_0^{(2)}$, где:

$$\begin{aligned} n_0^{(1)} &= \left[\frac{\bar{T}_P^{(1)} + \bar{T}_{3M}^{(1)}}{\bar{T}_0^{(1)} + \bar{T}_{3M}^{(1)}} N \right], \\ n_0^{(2)} &= \left[K_r^{(1)} \frac{\bar{T}_P^{(2)} + \bar{T}_{3M}^{(2)}}{\bar{T}_0^{(2)} + \bar{T}_{3M}^{(2)}} N \right]. \end{aligned} \quad (30)$$

Окончательно получим, что необходимым является набор ресурсов $v_0 = \{R_0^{(1)}, R_0^{(1)}, r_0, n_0^{(1)}, n_0^{(2)}\}$. Он обеспечивает среднюю численность исправных вычислительных комплексов, математическое ожидание которой стабилизируется со временем к максимальному значению

$$m_{и} = m_1^{(1)} - m_2^{(2)} = K_r^{(1)}K_r^{(2)}N. \quad (31)$$

2.3. Пример расчета необходимого объема ресурсов на техническое обслуживание

Предположим, что в системе используется 1000 вычислительных комплексов, каждый из которых включает основной вычислительный блок (элемент первого типа) и устройство резервного хранения вводимых данных (элемент второго типа), которое не является обязательным. Их наработки на отказ составляют: $T_0^{(1)} = 6000$ часов, $T_0^{(2)} = 3500$ часов. Затраты времени на замену равны $T_{3M}^{(1)} = 12$ часов и $T_{3M}^{(2)} = 14$ часов, а затраты времени на ремонт составляют $T_{PM}^{(1)} = 72$ часов и $T_{PM}^{(2)} = 48$ часов.

Требуется определить численность персонала и количество запасных элементов, которые необходимы для организации агрегатного восстановления.

Используя формулы (28)–(30), получим: $r_0 = 7$; $R_0^{(1)} = 12$; $R_0^{(2)} = 14$; $n_0^{(1)} = 14$, $n_0^{(2)} = 18$. При таком наборе РТО средняя численность исправных вычислительных комплексов достигает максимума, определяемого формулой (31): $m_{и} = 994$. Если же возникает необходимость оценить, возможно ли компенсировать недостаток в ремонтниках за счет увеличения числа запасных элементов, то это можно сделать, решая систему (1) при различных $R^{(1)}$, $R^{(2)}$, $n^{(1)}$ и $n^{(2)}$. При этом указанные выше значения предельно сужают диапазон, в котором имеет смысл их изменять.

3. Дискуссия

Таким образом, в результате исследования получены аналитические выражения для расчета РТО. Обсудим, насколько значимы принятые ограничения и как выбранный метод решения на влияет результаты.

1. Предположение о двух элементах вычислительного комплекса сделано для простоты изложения и не уменьшает общности полученных результатов. Они могут быть легко обобщены на случай, когда в состав вычислительного комплекса входят несколько элементов первого типа и несколько элементов второго типа.

2. Сформулированное условие о том, что наработка на отказ любого элемента больше, чем суммарное время его замены и ремонта, существенно для стабилизации решения системы (1).

3. В данной работе задача решена методом динамики средних, который относится к приближенным аналитическим методам решения задач мас-

сового обслуживания. Метод динамики средних позволяет составить уравнения изменения математических ожиданий (средних) численности элементов системы, находящихся в различных возможных состояниях. За счет этого он применим для больших систем, в отличие от точных методов, основанных на уравнениях Колмогорова, описывающих изменения вероятностей состояний всей системы в целом [16–21]. Применение принципа Динера при определении интенсивностей переходов делает результаты решения системы (1) приближенными. Соответственно, истинное время стабилизации может отличаться от расчетного. Однако для области малых очередей (26) это различие не существенно.

4. Подчинение наработки на отказ, времени ремонта и времени замены показательному закону существенно (хотя известно, что метод динамики средних дает неплохие результаты и при законах распределения, аппроксимируемых показательным).

5. Только с помощью имитационного моделирования можно проверить, насколько сильно законы распределения влияют на требуемый объем РТО [22, 23]. При этом надо иметь в виду, что моделируется замкнутая система массового обслуживания с большим количеством сущностей [24]. Также с помощью имитационного моделирования надо определить, как влияет сменный характер работы персонала на необходимый объем РТО для систем, рассмотренных в данной работе.

4. Рекомендации

На основе проведенного исследования сформируем следующие рекомендации:

◆ Формулы (28)–(30) следует применять для определения объема РТО, когда потери от неисправности вычислительного комплекса существенно выше затрат на оплату персонала и стоимости запасных элементов. Именно такая ситуация имеет место для ответственных систем на железнодорожном транспорте.

◆ Если затраты, связанные с РТО, сопоставимы с доходом от функционирования исправного вычислительного комплекса в системе, то возникает задача определения РТО, при котором прибыль будет максимальна [25]. Такая ситуация возникает, например, при сдаче оборудования в аренду. В этом случае для определения прибыли за период надо решать систему (1).

◆ При решении системы (1) надо учитывать, что, как правило, это жесткая система нелинейных дифференциальных уравнений, поскольку интенсивность отказов намного меньше интенсивности замен и ремонтов. Необходимо правильно выбрать метод решения.

◆ Изменяя начальные условия при решении системы (1), можно определить сколько времени потребуется персоналу СЦ для восстановления БРИС, если в силу каких-либо причин в ней будут накоплены неисправные вычислительные комплексы.

Заключение

В результате проведенного исследования получены следующие новые результаты.

Разработана математическая модель восстановления БРИС, состоящей из вычислительных комплексов, каждый из которых включает в себя элементы, имеющие различную значимость для его работоспособности. Модель представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений. Решение системы описывает изменение во времени численностей элементов, находящихся в различных состояниях (включая наиболее значимые состояния: работоспособен, неработоспособен) в зависимости от объема РТО.

Определены численность персонала и запасных элементов, при которых математическое ожидание (средняя численность) исправных вычислительных комплексов стабилизируется со временем к максимальному значению. Эти результаты можно использовать для определения ресурсов на обслуживание реальных БРИС. ■

Литература

1. Белов А.А., Гвоздев А.В. Модульное построение автоматизированной системы управления организационными процессами // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2007. № 3. С. 94–98.
2. Кравченко Т.К., Пресняков В.Ф. Инфокоммуникационные технологии управления предприятием. М.: ГУ-ВШЭ. 2003.
3. Кузьминов Я.И., Яковлев А.А., Гохберг Л.М. Новая экономика – шанс для России: Тезисы. Препринт WP5/2003/01. М.: ГУ ВШЭ, 2003.

4. Розенберг Е.Н., Батраев В.В. Инновационное развитие систем интервального регулирования // Автоматика, связь, информатика. 2018. № 7. С. 5–9.
5. Розенберг Е.Н., Дзюба Ю.В., Батраев В.В. О направлениях развития цифровой железной дороги // Автоматика, связь, информатика. 2018. № 1. С. 9–13.
6. Розенберг Е.Н., Коровин А.С. Глобальные тренды развития интеллектуальных транспортных систем // Автоматика, связь, информатика. 2018. № 12. С. 14–19.
7. Данилин А.В. Электронные государственные услуги и административные регламенты: от политической задачи к архитектуре «электронного правительства». М.: ИНФРА-М, 2004.
8. Лисенков В.М. Статистическая теория безопасности движения поездов. М: ВИНТИ, 1999.
9. Пронкин А.В. Системы СЦБ как основа цифровой железной дороги // Автоматика, связь, информатика. 2018. № 12. С. 41–42.
10. Макарова А.А. Автоматизированная система оперативного управления перевозками // Сборник научных трудов национальной научно-практической конференции «Экосистема цифровой экономики: проблемы, реалии и перспективы». Орел, 23–25 апреля 2018 г. / под ред. Л.И. Малявкиной. С. 114–118.
11. Мамилов Б.Е., Липская М.А., Толымбекова Б.Е. Автоматизированная система оперативного управления перевозками // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2018. № 1 (104). С. 139–146.
12. Лохманов В.М., Марон А.И. Определение экономически обоснованной численности персонала и ЗИП для сложных систем в электроэнергетике // Вестник Московской академии рынка труда и информационных технологий. 2002. № 4. С. 18–22.
13. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Советское радио. 1972.
14. Сахаров М.К. Корректность и точность решений жестких систем ОДУ в системе MathCAD14 // Научно-технические технологии и интеллектуальные системы. М.: МГТУ, 2011. С. 16–19.
15. Воскобойников Ю.Е., Задорожный А.Ф. Основы вычислений и программирования в пакете MathCAD PRIME. СПб: Лань, 2016.
16. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М.: URSS, 2019.
17. Каштанов В.А., Ивченко Г.И., Коваленко И.Н. Теория массового обслуживания. М.: Либроком, 2012.
18. Каштанов В.А., Медведев А.И. Теория надежности сложных систем. М.: Физматлит, 2010.
19. Кирпичников А.П. Методы прикладной теории массового обслуживания. М.: URSS, 2018.
20. Тихоненко О.М. Модели массового обслуживания в информационных системах. Минск: Технопринт, 2003.
21. Хинчин А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания. М.: URSS, 2004.
22. Акопов А.С. Имитационное моделирование. М.: Юрайт, 2014.
23. Исаев Д.В. Моделирование реализации проектов внедрения аналитических информационных систем // Аудит и финансовый анализ. 2014. № 6. С. 416–422.
24. Kelton W.D., Sadowski R.P., Zupick N.B. Simulation with Arena. N.Y.: McGraw Hill, 2014.
25. Скрипкин К.Г. Экономическая эффективность информационных систем. М.: ДМК-Пресс, 2002.

Об авторах

Марон Аркадий Исаакович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник;

доцент кафедры бизнес-аналитики, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;

E-mail: amaron@hse.ru

Кравченко Татьяна Константиновна

доктор экономических наук, профессор;

заведующая кафедрой бизнес-аналитики, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;

E-mail: tkravchenko@hse.ru

Шевгунов Тимофей Яковлевич

кандидат технических наук;

доцент кафедры бизнес-аналитики, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;

доцент кафедры «Теоретическая радиотехника», Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 125993, г. Москва, Волоколамское ш., д. 4;

E-mail: tshevgunov@hse.ru

Estimation of resources required for restoring a system of computer complexes with elements of different significance

Arkady I. Maron^a

E-mail: amaron@hse.ru

Tatiana K. Kravchenko^a

E-mail: tkravchenko@hse.ru

Timofey Ya. Shevgunov^{a,b}

E-mail: tshevgunov@hse.ru

^a National Research University Higher School of Economics
Address: 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia

^b Moscow Aviation Institute (National Research University)
Address: 4, Volokolamskoe Shosse, Moscow 125993, Russia

Abstract

Large distributed information systems (LDIS) are the basis for digitization of production processes in industry, transport and public administration. Organization of their engineering servicing (ES) for timely restoration in case of failure is a topical issue of scientific research. LDIS consists of computer complexes which include both major and additional elements. The literature provides no solution which allows us to define the engineering servicing resources (ESR), considering the variable significance of elements of computer complexes. The task was first set and solved in this publication.

For solution of this task, we applied the mean dynamic method. This method was chosen because it makes it possible to obtain a system of differential equations for describing the change over time of the mean number of elements in different states.

Analysis of the differential equations system solution allowed us to find analytical expressions for determining ESR – the number of staff and the number of spare elements at which the mean number of computer complexes in perfect state reaches its maximum. The results are applicable when calculating the ESR of real LDIS. They can also serve in simulation modeling as initial approximations of the optimal volume of ESR if it necessary to take into account the specific features of the system. In addition, the solution of differential equations makes it possible to solve the problem of optimizing the resources for servicing the LDIS according to economic criteria, when the costs of staff and spare elements are comparable with the income from operating the computer complexes.

Key words: distributed information systems; engineering servicing; dependability; queuing theory; mean dynamics method.

Citation: Maron A.I., Kravchenko T.K., Shevgunov T.Ya. (2019) Estimation of resources required for restoring systems of computer complexes with elements of different significance. *Business Informatics*, vol. 13, no 2, pp. 18–28.
DOI: 10.17323/1998-0663.2019.2.18.28

References

1. Belov A.A., Gvozdev A.V. (2007) Modular construction of an automated control system of organizational processes. *Vestnik of Ivanovo State Power Engineering University*, no 3, pp. 94–98 (in Russian).
2. Kravchenko T.K., Presnyakov V.F. (2003) *Info-communication technologies of enterprise management*. Moscow: HSE (in Russian).
3. Kuzminov Ya.I., Yakovlev A.A., Gokhberg L.M. (2003) *New economy – a chance for Russia*. Preprint WP5/2003/01. Moscow: HSE (in Russian).

4. Rozenberg E.N., Batraev V.V. (2018) Innovative development of interval regulation systems. *Automation, Communication and Informatics*, no 7, pp. 5–9 (in Russian).
5. Rozenberg E.N., Dzyuba Yu.V., Batraev V.V. (2018) On the directions of the digital railway development. *Automation, Communication and Informatics*, no 1, pp. 9–13 (in Russian).
6. Rozenberg E.N., Korovin A.S. (2018) Global trends of intellectual transportation systems development. *Automation, Communication and Informatics*, no 12, pp. 14–19 (in Russian).
7. Danilin A.V. (2004) *State electronic services and administrative regulations: from political task to e-government architecture*. Moscow: INFRA-M (in Russian).
8. Lisenkov V.M. (1999) *Statistical theory of train traffic safety*. Moscow: VINITI (in Russian)
9. Pronkin A.V. (2018) Automation systems as a base for digital railway. *Automation, Communication and Informatics*, no 12, pp. 41–42 (in Russian).
10. Makarova A.A. (2018) Automated system of operational transportation management. Proceedings of the *National Scientific and Practice Conference "Ecosystem of the digital economy: problems, realities and perspectives"*, Orel, Russia, April 23–25, 2018, pp. 114–118.
11. Mamilov B.E., Lipskaya M.A., Tolymbekova B.E. (2018) An automated system of operational transportation management. *Bulletin of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpaev*, no 1, pp. 139–146 (in Russian).
12. Lokhmanov V.M., Maron A.I. (2002) Determination of economically justified number of personnel and spare parts for complex systems in power industry. *Bulletin of the Moscow Academy of Labor Market and Information Technologies*, no 4, pp. 18–22 (in Russian).
13. Ventcel E.S. (1972) *Operation research*. Moscow: Soviet Radio (in Russian).
14. Sakharov M.K. (2011) Correctness and the accuracy of decisions of the ODES rigid systems in the MathCAD14 system. *High Technologies and Intellectual Systems*. Moscow: MSTU, pp. 16–19 (in Russian).
15. Voskoboynikov Yu.E., Zadorozhnyj A.F. (2016) *Fundamentals of computing and programming using MathCAD PRIME software*. Saint Petersburg: Lan' (in Russian).
16. Gnedenko B.V., Belyaev Yu.K., Soloviev A.D. (2019) *Mathematical methods in the reliability theory*. Moscow: URSS (in Russian).
17. Kashtanov V.A., Ivchenko G.I., Kovalenko I.N. (2012) *Queueing theory*. Moscow: Librokom (in Russian).
18. Kashtanov V.A., Medvedev A.I. (2010) *Reliability theory of complex systems*. Moscow: Fizmatlit (in Russian).
19. Kirpichnikov A.P. (2018) *Methods of applied queueing theory*. Moscow: URSS (in Russian).
20. Tikhonenko O.M. (2003) *Models of queueing theory in information systems*. Minsk: Tekhnoprint (in Russian).
21. Khinchin A.Ya. (2004) *Works on mathematical queueing theory*. Moscow: URSS (in Russian).
22. Akopov A.S. (2014) *Simulation modeling*. Moscow: Urait (in Russian).
23. Isaev D.V. (2014) Modeling of analytical information systems implementation projects. *Audit and Financial Analysis*, no 6, pp. 416–422 (in Russian).
24. Kelton W.D., Sadowski R.P., Zupick N.B. (2014) *Simulation with Arena*. N.Y.: McGraw Hill.
25. Skripkin K.G. (2002) *Economic efficiency of information systems*. Moscow: DMK Press (in Russian).

About the authors

Arkady I. Maron

Cand. Sci. (Tech.), Senior Researcher;

Associate Professor, Department of Business Analytics, National Research University Higher School of Economics, 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;

E-mail: amaron@hse.ru

Tatiana K. Kravchenko

Dr. Sci. (Econ.);

Professor, Head of Department of Business Analytics, National Research University Higher School of Economics, 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;

E-mail: tkravchenko@hse.ru

Timofey Ya. Shevgunov

Cand. Sci. (Tech.);

Associate Professor, Department of Business Analytics, National Research University Higher School of Economics, 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;

Associate Professor, Department of Theoretical Radio Engineering, Moscow Aviation Institute (National Research University), 4, Volokolamskoe Shosse, Moscow 125993, Russia;

E-mail: tshevgunov@hse.ru

Отбор признаков для нечеткого классификатора с использованием алгоритма паукообразных обезьян

И.А. Ходашинский

E-mail: hodashn@rambler.ru

М.М. Немирович-Данченко

E-mail: nemdan2011@gmail.com

С.С. Самсонов

E-mail: samsonicx@mail.ru

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 40

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы построения нечетких классификаторов. Определены три этапа построения нечеткого классификатора: формирование базы нечетких правил, отбор информативных признаков, оптимизация параметров функций принадлежности нечетких правил. Генерация структуры нечеткого классификатора выполнялась алгоритмом формирования базы правил по минимальным и максимальным значениям признаков в каждом классе. Применение такого алгоритма позволяет сформировать базу с минимальным числом правил, равным количеству меток классов в исходном классифицируемом наборе данных. Отбор признаков проводился методом обертки бинарным алгоритмом паукообразных обезьян. Отбор признаков, как метод предварительной обработки данных, может способствовать не только повышению эффективности алгоритмов обучения, но и повышению способности обобщения. В процессе отбора информативных признаков проведено исследование динамики изменения точности классификации по итерациям при различных параметрах бинарного алгоритма, выявлено влияние параметров бинарного алгоритма на скорость сходимости. Для оптимизации параметров антецедентов нечетких правил используется другой алгоритм обезьян, работающий с непрерывными числовыми данными. Эффективность нечетких классификаторов, построенных на правилах и признаках, отобранных с помощью указанных алгоритмов, проверена на наборах данных из репозитория KEEL. Проведены сравнения с алгоритмами-аналогами, протестированными на тех же наборах данных. Результаты сравнения показали, классификаторы могут быть разработаны с минимальным количеством правил и существенно сокращенным количеством признаков при статистически неразличимой точности с классификаторами-аналогами.

Ключевые слова: отбор признаков; метод обертки; бинарный алгоритм паукообразных обезьян; нечеткий классификатор; бинарные метаэвристики; нечеткое правило.

Цитирование: Ходашинский И.А., Немирович-Данченко М.М., Самсонов С.С. Отбор признаков для нечеткого классификатора с использованием алгоритма паукообразных обезьян // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 2. С. 29–42. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.2.29.42

Введение

Классификация относится к области распознавания образов и машинного обучения. К настоящему времени разработано довольно много различных алгоритмов классификации (классификаторов). При выборе адекватного алгоритма необходимо учитывать, каким критериям должен соответствовать полученный результат: точность классификации, интерпретируемость полученного результата, время обучения, время классификации и т.д. Классифицировать объект – значит указать имя (метку) класса, к которому данный объект будет отнесен. Традиционный классификатор ставит исследуемому объекту в соответствие единственную метку класса. Нечеткий классификатор может присваивать степени принадлежности или мягкие метки всем классам. Достоинством нечетких классификаторов является их высокая интерпретируемость и точность [1–3]. Полученную интерпретируемую модель можно легко использовать в процессе принятия решений [4].

Одной из важных задач в интеллектуальном анализе данных и распознавании образов является отбор релевантных признаков. Признак – это индивидуальное измеримое свойство наблюдаемого объекта, процесса или явления. Используя набор признаков, алгоритм машинного обучения может выполнять классификацию. Задача отбора признаков формулируется как поиск оптимального подмножества признаков, обладающего минимальной избыточностью и максимальной прогностической способностью. Компактное подмножество исходного множества признаков позволяет уменьшить вычислительные затраты и повысить эффективность классификации [5]. Методы отбора признаков классифицируют по различным основаниям. В зависимости от вида данных в обучающей выборке (помеченные, непомеченные, частично помеченные) выделяют супервизорные (с учителем), не супервизорные (без учителя) и полу-супервизорные методы. В зависимости от способа взаимодействия между алгоритмами отбора признаков и классификаторами выделяют три группы методов отбора: фильтры (filters), обертки (wrappers) и встроенные (embedded) методы. Метод фильтров не зависит от алгоритма построения классификатора и обладает следующими достоинствами: невысокая вычислительная сложность, неплохая обобщающая способность, независимость от классификатора. Основной недостаток метода заключается в том, что признаки, как правило, отбираются

независимо друг от друга. Метод обертки включен в процесс построения классификатора и использует меру оценки эффективности классификатора для оценки отобранного подмножества признаков. Такое взаимодействие с классификатором, как правило, дает лучшие результаты, чем метод фильтра, однако при этом существенно увеличивается сложность алгоритма и существует риск переобучения [6, 7]. Во встроенных методах отбор признаков выполняется в процессе обучения и включается в алгоритм построения классификатора.

Отбор признаков по методу обертки относится к классу NP-сложных проблем, поэтому в этом случае целесообразно использовать эвристические и метаэвристические методы [8–10]. Метаэвристики можно разделить на два класса: дискретные и непрерывные. Дискретные метаэвристики, такие как генетический алгоритм [11–15], алгоритм муравьиной колонии [16–18] и гармонический поиск [19, 20] давно и успешно применяются для решения задач отбора признаков.

Отбор признаков – задача бинарной оптимизации, поэтому применению большинства непрерывных метаэвристик для решения задачи отбора предшествует этап выполнения бинаризации этих метаэвристик. Бинаризация чаще всего выполняется с использованием функций трансформации [21], которые определяют шанс изменения элементов вектора-решения с 0 на 1 и наоборот. По указанному принципу проводится отбор признаков алгоритмом роящихся частиц [22, 23], алгоритмом гравитационного поиска [24, 25], алгоритмом мозгового штурма [26], алгоритмом «учение через обучение» (teaching learning based optimization) [27], алгоритмом черной дыры [8], алгоритмом кузнечика [28], алгоритмом скопления сальпов [29, 30], алгоритмом муравьиного льва [31].

Недавно предложенный алгоритм паукообразных обезьян, имитирующий их социальное поведение, относится к алгоритмам роевого интеллекта [32]. Алгоритм показал хорошие результаты при оптимизации унимодальных и мультимодальных тестовых функций [32], а также при решении оптимизационных задач в электроэнергетике, электронике, телекоммуникации, биологии, медицине, обработке изображений и др. [33].

Согласно теореме о бесплатных завтраках (no free lunch theorem), ни один конкретный алгоритм не дает наилучших результатов для всех задач численной оптимизации [34, 35]. Как следствие, разрабатываются

новые алгоритмы оптимизации. При этом в работе [6] отмечается, что не существует единственно лучшего метода отбора признаков, поэтому усилия специалистов должны быть сосредоточены на поиске хорошего метода для каждой конкретной проблемы.

Цель работы – исследование бинарного алгоритма паукообразных обезьян для отбора по методу обертки оптимального числа информативных признаков при построении нечеткого классификатора.

1. Методы

1.1. Отбор признаков

Пусть имеется набор данных, содержащий Z образцов, каждый из которых характеризуется D признаками $X = \{x_1, x_2, \dots, x_D\}$. Отбор признаков состоит в том, чтобы выбрать d признаков из D ($d \leq D$), оптимизирующих целевую функцию. Иными словами, задача отбора признаков заключается в поиске на заданном множестве признаков X такого их подмножества, которое при уменьшении числа признаков не приводило бы к существенному уменьшению точности классификации. Решение по отбору признаков задается в виде бинарного вектора $\mathbf{S} = (s_1, s_2, \dots, s_D)^T$, в котором $s_i = 0$ означает, что i -й признак исключен из классификации, а $s_i = 1$ указывает на использование i -го признака в классификаторе. Каждое подмножество признаков оценивается точностью классификации.

1.2. Нечеткий классификатор

Традиционный классификатор задается следующей функцией:

$$f : \mathfrak{R}^D \rightarrow \{0, 1\}^m,$$

где $\overline{f(\mathbf{x}; \boldsymbol{\theta})} = (h_1, h_2, \dots, h_m)^T$, причем $h_i = 1$, а $h_j = 0$, $j = 1, m$, $i \neq j$, когда объект, заданный вектором \mathbf{x} , принадлежит к классу $c_i \in C$, $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ – множество классов, $\boldsymbol{\theta}$ – вектор параметров классификатора.

Нечеткий классификатор определяет класс объекта с некоторой степенью уверенности:

$$f : \mathfrak{R}^D \rightarrow [0, g]^m.$$

Продукционное правило нечеткого классификатора с отбором признаков задается следующим образом:

$$R_j : \text{IF } s_1 \wedge x_1 = A_{1j} \text{ AND } s_2 \wedge x_2 = A_{2j} \text{ AND } \dots \\ \text{AND } s_D \wedge x_D = A_{Dj} \text{ THEN class} = c_j, j = 1, \dots, R,$$

где A_{kj} – нечеткий терм, характеризующий k -й признак в j -м правиле ($k = 1, \dots, D$); запись $s_i \wedge x_i$ указывает на наличие ($s_i = 1$) или отсутствие ($s_i = 0$) признака в классификаторе; R – число правил.

Ниже приведены формулы, определяющие итоговое решение.

$$\text{class} = c_t, t = \arg \max_{1 \leq j \leq m} \{\beta_j\},$$

$$\mu_j(\mathbf{x}_p) = \mu_{A_{j1}}(x_{p1}) \cdot \dots \cdot \mu_{A_{jn}}(x_{pn}) = \prod_{k=1}^n \mu_{A_{jk}}(x_{pk}),$$

$$\beta_t(\mathbf{x}_p) = \sum_{C_j = \text{class } t} \mu_j(\mathbf{x}_p) = \sum_{C_j = \text{class } t} \prod_{k=1}^n \mu_{A_{jk}}(x_{pk}),$$

где $\mu_{A_{jk}}(x_{pk})$ – функция принадлежности нечеткого термина A_{jk} в точке x_{pk} .

На наборе данных $\{(\mathbf{x}_p; c_p), p = 1, \dots, Z\}$, определим меру точности классификации [20, 24]:

$$E(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}) = \frac{\sum_{p=1}^Z \begin{cases} 1, & \text{если } c_p = \arg \max_{1 \leq j \leq m} f_j(\mathbf{x}_p; \boldsymbol{\theta}, \mathbf{S}) \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}}{Z},$$

где $f(\mathbf{x}_p; \boldsymbol{\theta}, \mathbf{S})$ – выход нечеткого классификатора, заданного вектором параметрами $\boldsymbol{\theta}$ и вектором признаков \mathbf{S} .

Отбор признаков по методу обертки относится к классу NP-сложных проблем, для ее решения предлагается метаэвристика под названием «бинарный алгоритм паукообразных обезьян» (binary spider monkey optimization algorithm).

1.3. Бинарный алгоритм паукообразных обезьян

Предложенный авторами работы [32] популяционный алгоритм паукообразных обезьян работает в непрерывном пространстве поиска и поэтому не подходит для решения задач бинарной оптимизации. Авторы работы [36] адаптировали алгоритм для работы в двоичном пространстве поиска. В работах [33, 36] утверждается, что предложенный алгоритм исключительно эффективен для двоичной оптимизации, он быстро сходится и имеет меньше шансов застрять на локальных оптимумах.

В процессе работы бинарного алгоритма паукообразных обезьян (БАПО) популяция делится на несколько групп, в каждой из которых присутствует свой лидер с наилучшим решением в группе. В популяции также присутствует и глобальный лидер, ассоциирующийся с лучшим решением, най-

денным в популяции. Работа алгоритма может быть описана следующими основными этапами: инициализация, фаза локального лидера, фаза глобального лидера, фаза принятия решения. БАПО задается следующими параметрами: M – количество обезьян в популяции; позиция каждой i -й обезьяны представляет решение, задаваемое вектором $S_i = (s_{i,1}, s_{i,2}, \dots, s_{i,D})$; L – максимальное количество локальных лидеров; T – количество итераций; $p, pr \in [0, 1]$ – константы.

Инициализация j -го элемента i -го решения производится следующим образом:

$$s_{i,j} = \begin{cases} 0 & \text{если } rand(0, 1) < p \\ 1 & \text{иначе.} \end{cases} \quad (1)$$

В БАПО основные уравнения непрерывного алгоритма модифицируются с использованием логических операторов AND (\otimes), OR (\oplus) и XOR (\oplus).

Фаза локального лидера используется для обновления позиций обезьян в соответствии с позицией локального лидера по следующей формуле:

$$s_{i,j}^{new} = \begin{cases} s_{i,j} \oplus (b \otimes (LL_{k,j} \oplus s_{i,j})) + (d \otimes (s_{r,j} \oplus s_{i,j})), & \text{если } rand > pr \\ s_{i,j}, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (2)$$

где b, d принимают случайные значения из множества $\{0; 1\}$; LL_k – вектор, определяющий координаты локального лидера k -й группы, S_r – вектор, определяющий координаты случайной обезьяны из той же группы.

Фаза глобального лидера задает координаты обезьян в соответствии с положением глобального лидера

$$s_{i,j}^{new} = \begin{cases} s_{i,j} \oplus (b \otimes (GL_{k,j} \oplus s_{i,j})) + (d \otimes (s_{r,j} \oplus s_{i,j})), & \text{если } rand > P_i \\ s_{i,j}, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (3)$$

где GL – вектор, определяющий координаты глобального лидера,

$$P_i = 0,9 \cdot \frac{E(\theta, S_i)}{\max E(\theta, S)} + 0,1. \quad (4)$$

Фаза принятия решения задает координаты обезьян в соответствии с положением глобального и локального лидеров.

$$s_{i,j}^{new} = \begin{cases} s_{i,j} \oplus (b \otimes (LL_{k,j} \oplus s_{i,j})) + (d \otimes (GL_j \oplus s_{i,j})), & \text{если } rand > pr \\ s_{i,j}, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (5)$$

Псевдокод БАПО представлен ниже:

Вход: $M, C, T, p, pr, \theta, D$.

Выход: S_{best}

цикл по i от 1 до M

цикл по j от 1 до D

инициализация популяции по формуле 1;

конец цикла

конец цикла

$C_{current} := 1$;

цикл по i от 1 до M

$GL := search_global_best(E(\theta, S_i))$;

$LL := search_group_best(E(\theta, S_i))$;

конец цикла

цикл по t от 1 до T

$GLold := GL$;

цикл по i от 1 до M

цикл по j от 1 до D

вычисление по формуле 2;

конец цикла

конец цикла

цикл по i от 1 до M

$LL := search_group_best(E(\theta, S_i))$;

конец цикла

цикл по i от 1 до M

цикл по j от 1 до D

вычисления по формулам 3 и 4;

конец цикла

конец цикла

цикл по i от 1 до M

$GL := search_global_best(E(\theta, S_i))$;

конец цикла

цикл по i от 1 до M

цикл по j от 1 до D

вычисление по формуле 5;

конец цикла

конец цикла

цикл по i от 1 до M

$GL := search_global_best(E(\theta, S_i))$;

$LL := search_group_best(E(\theta, S_i))$;

конец цикла

если ($GLold = GL$) то

$C_{current} := C_{current} + 1$;

если ($C_{current} > C$) то

Объединить всех агентов в одну

группу;

$C_{current} := 1$;

иначе

Разделить наибольшую группу на две и

для новой группы сгенерировать новые

начальные значения по формуле 1;

конец если

конец если

конец цикла

Вывод $S_{best} := best_solution(S)$;

1.4. Алгоритм формирования базы нечетких правил

Алгоритм формирует компактную начальную базу нечетких правил, в которой каждый класс представлен одним правилом [20, 24]. Правило формируется на основе минимальных и максимальных значений по каждому классу в обучающей таблице наблюдений $\{(x_p; t_p)\}$.

Алгоритм имеет следующие параметры: D – число признаков, m – число классов.

Вход: $D, m, \{(x_p; t_p)\}$.

Выход: База нечетких правил Ω^* .

Инициализация пустой базы правил $\Omega := \emptyset$;

цикл по j от 1 до m

цикл по k от 1 до D

нахождение минимального и максимального значения признака k в классе j
 $\max_{class_{jk}} := \max_p(x_{pk}); \min_{class_{jk}} := \min_p(x_{pk});$
 генерация нечеткого термина A_{jk} , покрывающего интервал $[\min_{class_{jk}}, \max_{class_{jk}}]$;

конец цикла

формирование правила R_j на основе термов

A_{jk} , относящего наблюдение к c_j классу;

$\Omega^* := \Omega \cup \{R_j\}$;

конец цикла

вывод Ω^* .

1.5. Наборы данных

Проверка эффективности работы алгоритма отбора признаков на основе БАПО была выполнена на 38 наборах данных из репозитория KEEL (Knowledge Extraction based on Evolutionary Learning, <https://sci2s.ugr.es/keel/datasets.php>). В *таблице 1* приведено описание использованных наборов данных. Здесь #Fall – количество признаков в исходном наборе данных, #I – количество образцов, #C – количество классов.

2. Результаты

Эксперименты были проведены в соответствии с принципом 10-кратной кросс-валидации, исследуемый набор данных разбивался на обучающие и тестовые выборки в соотношении 9:1. Построение классификатора осуществлялась на обучающих выборках, а оценка точности производилась на тестовых. Усредненное значение точности на тестовых и

Таблица 1.

Описание наборов данных

Набор данных	#Fall	#I	#C	Набор данных	#Fall	#I	#C
appendicitis	7	106	2	phoneme	5	5404	2
balance	4	625	3	pima	8	768	2
banana	2	5300	2	ring	20	7400	2
bupa	6	345	2	satimage	36	6435	7
cleveland	13	297	5	segment	19	2310	7
coil2000	85	9822	2	shuttle	9	58000	7
contraceptive	9	1473	3	sonar	60	208	2
dermatology	34	358	6	spambase	57	4597	2
ecoli	7	336	8	spectfheart	44	267	2
glass	9	214	7	texture	40	5500	11
haberman	3	306	2	thyroid	21	7200	3
heart	13	270	2	titanic	3	2201	2
hepatitis	19	80	2	twonorm	20	7400	2
ionosphere	33	351	2	vehicle	18	846	4
iris	4	150	3	vowel	13	990	11
monk-2	6	432	2	wdbc	30	569	2
newthyroid	5	215	3	wine	13	178	3
page-blocks	10	5472	5	wisconsin	9	683	2
penbased	16	10992	10	yeast	8	1484	10

обучающих данных определялось путем вычисления среднего значения:

$$Accuracy = \frac{1}{V} \sum_{j=1}^V E(\theta, S),$$

где V – число запусков БАПО на одной и той же выборке, в наших экспериментах $V = 10$.

Количество отобранных признаков определялось как среднее на всех обучающих выборках.

БАПО имеет четыре настраиваемых параметра: количество лидеров (C), пороговые значения p , pr и размер популяции (M). Значения параметров алгоритма по умолчанию следующие: размер популяции – 40, число лидеров – 8, число итераций – 100, параметры алгоритма p и pr равны 0,4 и 0,5 соответственно. Для наборов данных, имеющих 16 и больше признаков, размер популяции увеличен до 70.

В процессе отбора информативных признаков проведено исследование динамики изменения точности классификации по итерациям при раз-

личных параметрах БАПО. Кривые сходимости для четырех наборов данных Ionosphere, Hepatitis, Spectfheart, Wine представлены на *рисунках 1–4*. Здесь обозначение $p00$ соответствует значению параметра p , равному 0,0; аналогичные обозначения приняты для параметра pr ; обозначение $p010$ соответствует размеру популяции, равному 10; обозначение $L2$ соответствует числу лидеров $C = 2$.

С использованием t -критерия парных выборок проверялись распределения средней точности на наборе данных Wine при изменении количества лидеров. Нулевая гипотеза сформулирована на уровне значимости 0,05 следующим образом: сравниваемые распределения одинаковы. Результаты сравнения (p -value) приведены в *таблице 2*. Здесь s – знак разности ($\#L_i - \#L_j$), где i – указатель столбца, а j – указатель строки.

В *таблице 3* приведены результаты отбора признаков без оптимизации параметров нечеткого классификатора. Здесь $\#F$ – усредненное количество отобранных признаков, $\#Rt$ – отношение исходного количества признаков к отобранному алгоритмом, $\#Tra$ – усредненное значение точности на обучающей выборке, $\#Tst$ – усредненное значение точности на тестовой выборке.

3. Дискуссия

Экспериментальные исследования по отбору признаков с использованием БАПО на 38 наборах данных позволяют сделать вывод о том, что количество признаков может быть сокращено в среднем в три раза при приемлемой точности классификации. Небольшие расхождения между значениями точности классификации на обучающих и тестовых данных могут свидетельствовать об отсутствии переобучения.

Пороговым значением p можно регулировать скорость сходимости алгоритма. Малые значения параметра p , равные 0,0, или 0,1, уменьшают скорость сходимости. При значениях параметра близких к 1 алгоритм быстро сходится, но не всегда к глобальному оптимуму. Рекомендуемые значения параметра p должны быть установлены близкими к значению, равному 0,5. Влияние параметра pr менее выражено, устанавливать его рекомендуется в диапазоне 0,3–0,6. Размер популяции рекомендуется устанавливать близким к максимальному – 80–100. Число лидеров играет менее заметную роль в сходимости алгоритма, при этом оптимальным будет значение из интервала 6–10.

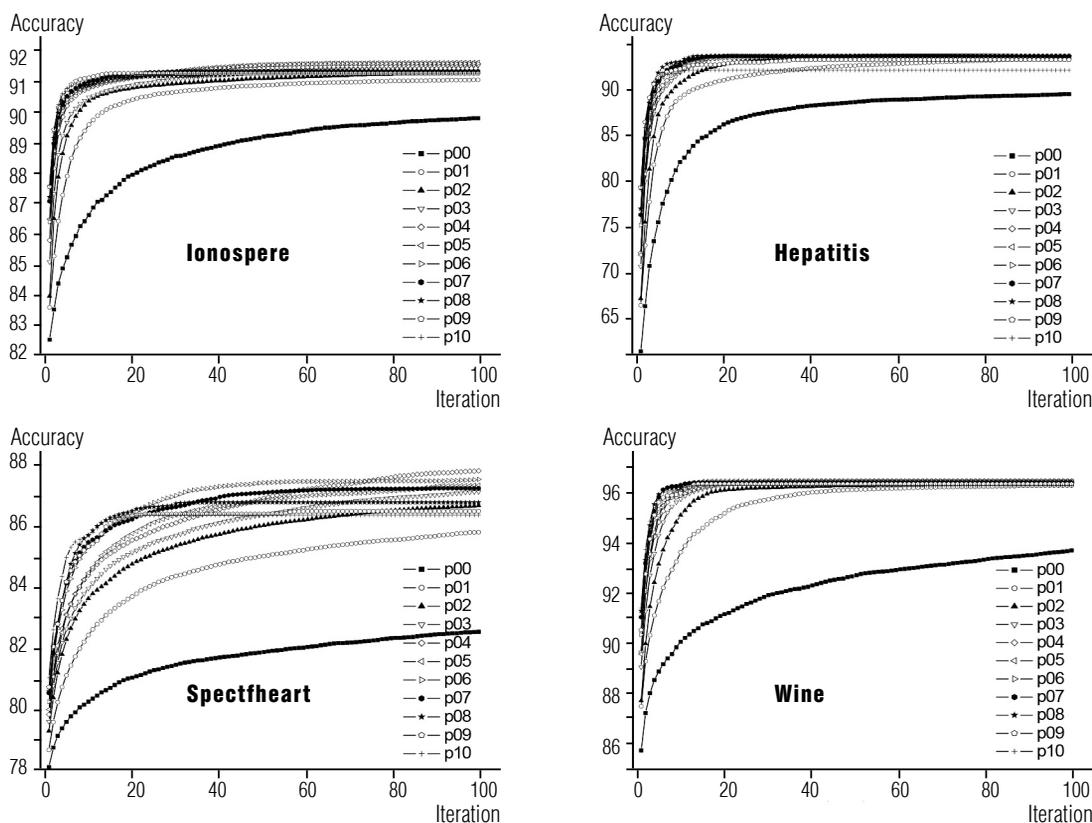


Рис. 1. Кривые сходимости алгоритма для одиннадцати значений параметра p

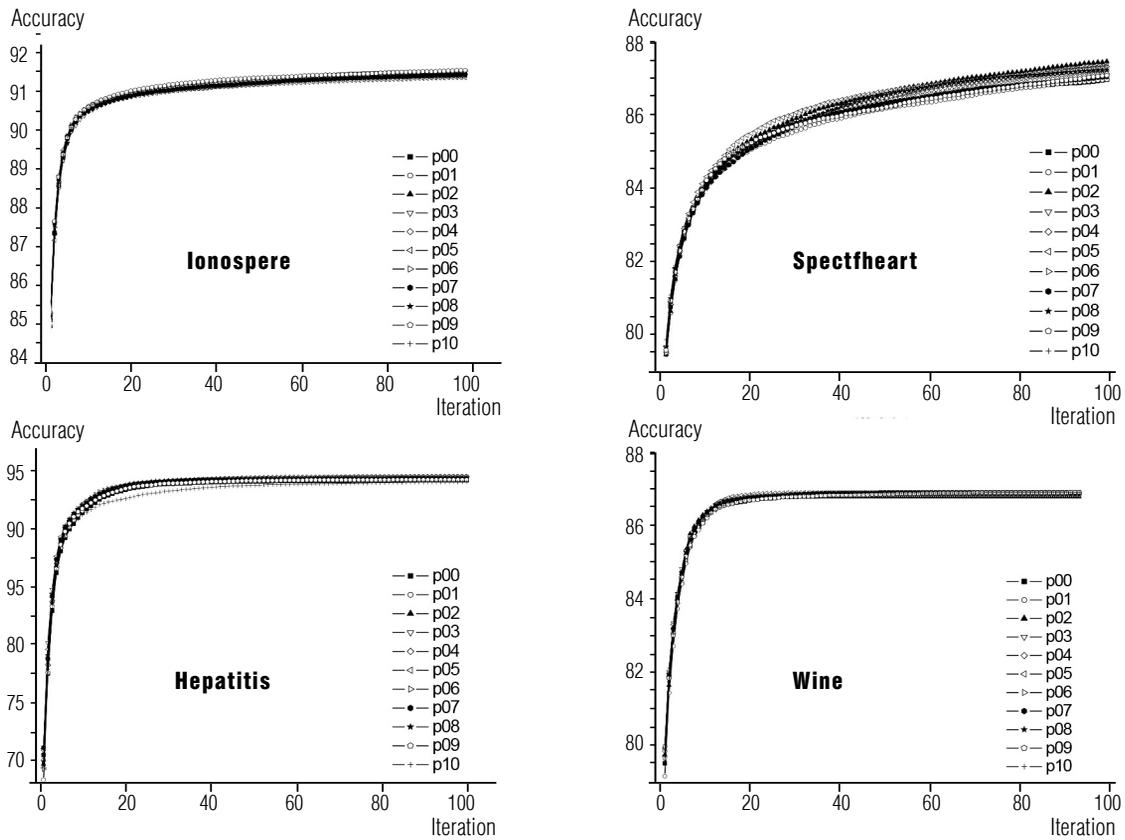


Рис. 2. Кривые сходимости алгоритма для одиннадцати значений параметра pr

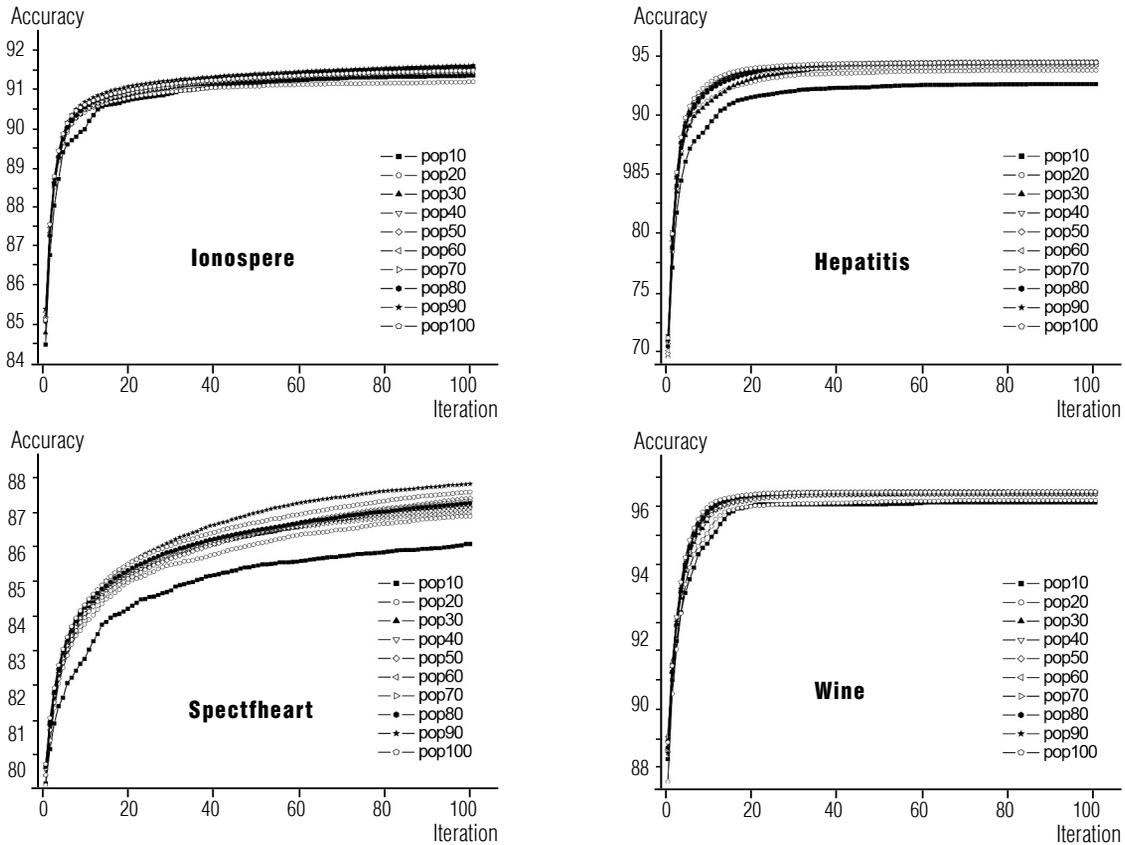


Рис. 3. Кривые сходимости алгоритма для десяти значений параметра «размер популяции»

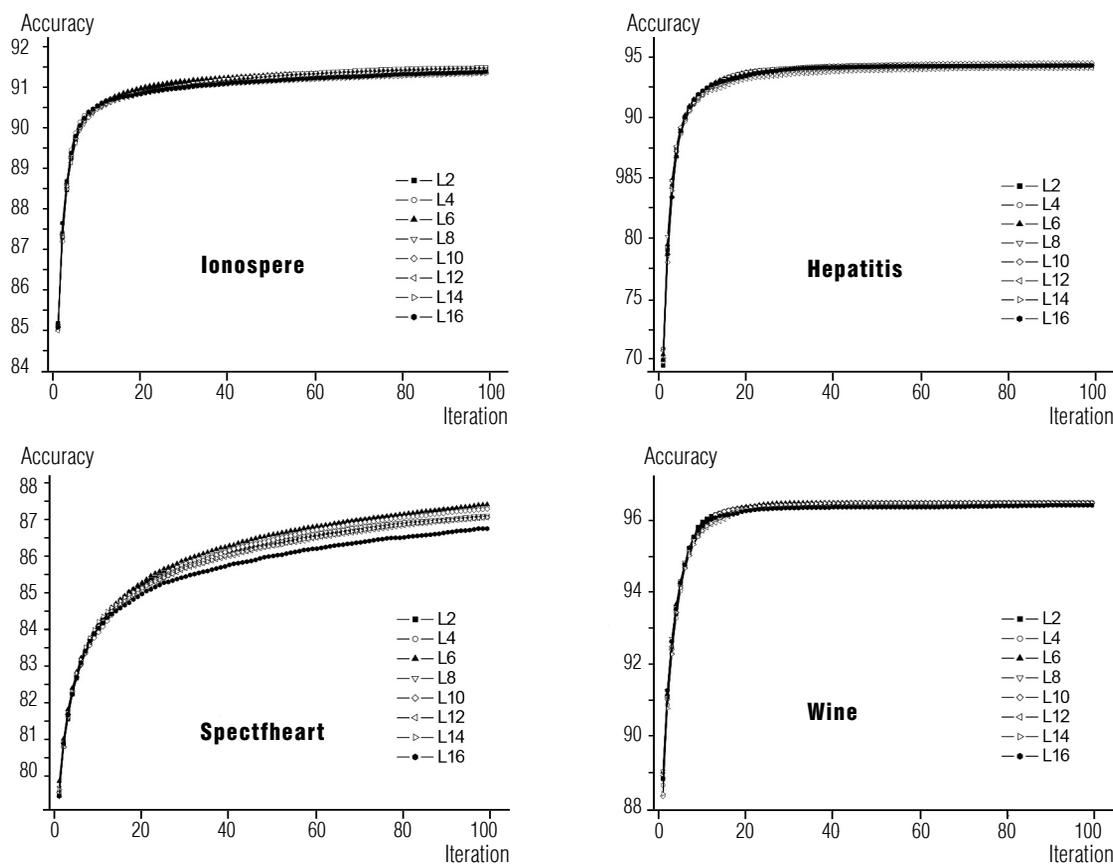


Рис. 4. Кривые сходимости алгоритма для восьми значений параметра C

В таблице 4 приведено сравнение результатов отбора признаков алгоритмом БАПО с последующей оптимизацией параметров нечеткого классификатора алгоритмом обезьян (АО) [37] и результатов работы классификаторов-аналогов D-MOFARC и FARC-HD [38]. В данной таблице указано среднее количество правил (#R), количество признаков (#F), средняя точность на обучающих выборках (#L) и тестовых выборках (#T).

Используя ранее описанный принцип 10-кратной кросс-валидации для каждого набора признаков, полученных алгоритмом БАПО на каждом отдельном наборе данных, осуществлялось построение классификатора на обучающих выборках. Параметры классификатора оптимизировались алгоритмом обезьян. Усредненное значение точности на тестовых и обучающих данных определялось вычислением среднего значения. Далее для одного набора данных отбирался классификатор, имеющий наибольшую усредненную точность на тестовых выборках.

Оценка статистической значимости различий в точности классификации, количестве признаков и количестве правил классификаторов, сформиро-

ванных алгоритмами обезьян и классификаторов-аналогов, проводилась на основе критерия парных сравнений Уилкоксона.

1. Критерий указывает на значимое различие между количеством правил в классификаторах на основе алгоритма обезьян и классификаторах-аналогах ($p\text{-value} < 0,001$).

2. Критерий указывает на значимое различие между количеством признаков в классификаторах на основе алгоритма обезьян и классификаторах-аналогах ($p\text{-value} < 0,001$).

3. Критерий указывает на отсутствие значимого различия между точностью классификации на тестовых выборках в сравниваемых классификаторах: $p\text{-value} = 0,153$ для пары (БАПО+АО – D-MOFARC), $p\text{-value} = 0,148$ для пары (БАПО+АО – FARC-HD).

Можно сделать следующие выводы по результатам статистического сравнения: сокращение количества правил и признаков не привело к существенному уменьшению точности классификации; классификаторы с меньшим количеством признаков и правил

Таблица 2.

**Сравнение средней точности на наборе Wine
в зависимости от числа лидеров**

Число лидеров	#L_2		#L_4		#L_6		#L_8		#L_10		#L_12		#L_14		#L_16	
	s	t	s	t	s	t	s	t	s	t	s	t	s	t	s	t
#L_2			+	0,238	+	0,000	+	0,006	-	0,058	-	0,000	-	0,227	-	0,000
#L_4	-	0,238			+	0,010	+	0,201	-	0,001	-	0,000	-	0,001	-	0,000
#L_6	-	0,000	-	0,010			-	0,009	-	0,000	-	0,000	+	0,000	-	0,000
#L_8	-	0,006	-	0,201	+	0,009			-	0,001	-	0,000	-	0,004	-	0,000
#L_10	+	0,058	+	0,001	+	0,000	+	0,001			-	0,000	+	0,974	-	0,000
#L_12	+	0,000	+	0,000	+	0,000	+	0,000	+	0,000			+	0,000	-	0,111
#L_14	+	0,227	+	0,001	+	0,000	+	0,004	-	0,974	-	0,000			-	0,000
#L_16	+	0,000	+	0,000	+	0,000	+	0,000	+	0,000	+	0,111	+	0,000		

Таблица 3.

**Результаты отбора признаков
без оптимизации параметров классификатора**

Набор данных	#F	#Rt	#Tra	#Tst	Набор данных	#F	#Rt	#Tra	#Tst
appendicitis	2,9	2,4	82,81	76,36	phoneme	4	1,3	76,35	76,22
balance	4	1	46,24	46,24	pima	4,1	2	73,63	72,67
banana	1	2	59,42	59,36	ring	1	20	58,51	58,39
bupa	2,7	2,2	60,61	58,17	satimage	10,2	3,5	65,48	64,69
cleveland	8,2	1,6	56,38	54,15	segment	9	2,1	81,80	81,90
coil2000	31,3	2,7	74,93	74,96	shuttle	3,9	2,3	88,82	88,81
contraceptive	2,8	3,2	44,32	44,06	sonar	27,2	2,2	85,05	73,46
dermatology	21,6	1,6	97,95	90,99	spambase	23,7	2,4	75,01	74,27
ecoli	3,9	1,8	54,20	51,22	spectfheart	20,7	2,1	91,21	84,55
glass	6,2	1,5	60,29	56,12	texture	12,1	3,3	74,01	73,69
haberman	1,1	2,7	70,44	67,96	thyroid	1,8	11,7	91,06	90,93
heart	5,4	2,4	79,14	74,21	titanic	1,4	2,1	77,60	77,60
hepatitis	8,1	2,3	94,45	85,51	twonorm	19,7	1	96,87	96,74
ionosphere	16,8	2	93,06	91,58	vehicle	5,9	3,1	49,28	47,87
iris	1,8	2,2	96,81	94,67	vowel	5,3	2,5	47,28	47,68
monk-2	1	6	63,89	63,95	wdbc	10,4	2,9	97,06	95,18
newthyroid	3,5	1,4	97,88	96,77	wine	6,2	2,1	96,5	96,08
page-blocks	2	5	80,42	80,52	wisconsin	5,3	1,7	94,45	93,59
penbased	7	2,3	51,58	51,84	yeast	5,1	1,6	43,67	41,91

Результаты сравнения работы нескольких алгоритмов

№	Набор данных	Алгоритмы											
		БАПО+АО				D-MOFARC				FARC-HD			
		#R	#F	#L	#T	#R	#F	#L	#T	#R	#F	#L	#T
1	balance	3	4	87,5	86,7	20,1	4	89,4	85,6	18,8	4	92,2	91,2
2	banana	2	2	78,9	78,4	8,7	2	90,3	89	12,9	2	86	85,5
3	bupa	2	3	74,2	70,4	7,7	6	82,8	70,1	10,6	6	78,2	66,4
4	cleveland	5	8	60,7	57,1	45,6	13	90,9	52,9	42,1	13	82,2	58,3
5	ecoli	7	4	72,6	64,0	26,2	7	94	82,7	32,2	7	91,6	81,2
6	glass	7	7	69	63,3	27,4	9	95,2	70,6	18,2	9	79	69
7	haberman	2	1	79,2	74,8	9,2	3	81,7	69,4	5,7	3	79,2	73,5
8	heart	2	6	81,6	80,2	18,7	13	94,4	84,4	27,8	13	93,1	83,7
9	hepatitis	2	10	96,8	91,1	11,4	19	100	90	10,4	19	99,4	88,7
10	iris	3	2	97,8	96,3	5,6	4	98,1	96	4,4	4	98,6	95,3
12	newthyroid	3	4	98,7	96,8	9,5	5	99,8	95,5	9,6	5	99,2	94,4
13	page-blocks	5	2	95,5	95,3	21,5	10	97,8	97	18,4	10	95,5	95
14	penbased	10	6	73,7	72,6	119,2	16	97,4	96,2	152,7	16	97	96
15	phoneme	2	4	79,9	79,2	9,3	5	84,8	83,5	17,2	5	83,9	82,4
16	pima	2	4	75,5	74,3	10,4	8	82,3	75,5	20,2	8	82,3	76,2
17	segment	7	8	88,7	82,3	26,2	19	98	96,6	41,1	19	94,8	93,3
23	spambase	2	25	77,9	76,3	24,3	57	91,7	90,5	30,5	57	92,4	91,6
18	thyroid	3	2	99,6	99,3	5,9	21	99,3	99,1	4,9	21	94,3	94,1
19	titanic	2	2	79,5	79,0	10,4	3	78,9	78,7	4,1	3	79,1	78,8
20	twonorm	2	20	97,5	97,1	10,2	20	94,5	93,1	60,4	20	96,6	95,1
21	wine	3	8	98,9	96,6	8,6	13	100	95,8	8,3	13	100	95,5
22	wisconsin	2	5	96,8	96,4	9	9	98,6	96,8	13,6	9	98,3	96,2

более предпочтительны в силу большей возможности их интерпретации.

Заключение

В статье рассмотрен подход к построению нечетких классификаторов. База правил классификатора формировалась на основе минимальных и максимальных значений признака в каждом классе. Отбор признаков проводился в режиме обертки с использованием бинарного алгоритма паукообразных обезьян. Значения параметров функций принадлежности, используемых в нечетких правилах, были получены с помощью алгоритма обезьян, работающего в непрерывной области поиска. Эффективность предлагаемого подхода была проверена экспериментально на нескольких наборах данных. Первый

эксперимент, проведенный на 38 наборах данных, был направлен на сокращение исходного множества и поиск информативных признаков, а также на исследование влияния параметров бинарного алгоритма паукообразных обезьян на сходимость алгоритма. Во втором эксперименте проведено сравнение с двумя хорошо известными метаэвристическими методами с использованием критерия парных сравнений Уилкоксона. Проведенные исследования подтвердили эффективность и конкурентные преимущества предлагаемого подхода. ■

Благодарности

Исследование выполнено в рамках проектной части государственного задания министерства образования и науки Российской Федерации на 2017-2019 гг. № 2.3583.2017/4.6.

Литература

1. Alonso J.M., Castiello C., Mencar C. Interpretability of fuzzy systems: Current research trends and prospects // Springer Handbook of Computational Intelligence. Berlin: Springer, 2015. P. 219–237.
2. Мех М.А., Ходашинский И.А. Сравнительный анализ применения методов дифференциальной эволюции для оптимизации параметров нечетких классификаторов // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2017. № 4. С. 65–75.
3. Zhang Y., Ishibuchi H., Wang S. Deep Takagi–Sugeno–Kang fuzzy classifier with shared linguistic fuzzy rules // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2018. Vol. 26. No 3. P. 1535–1549.
4. Lucca G., Dimuro G.P., Fernández J., Bustince H., Bedregal B.R.C., Sanz J.A. (2019) Improving the performance of fuzzy rule-based classification systems based on a nonaveraging generalization of CC-integrals named C_{FI_2} -integrals / G. Lucca [et al.] // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2019. Vol. 27. No 1. P. 124–134.
5. Zhang P., Gao W., Liu G. Feature selection considering weighted relevancy // Applied Intelligence. 2018. Vol. 48. P. 4615–4625.
6. Bolon-Canedo V., Sanchez-Marono N., Alonso-Betanzos A. Feature selection for high-dimensional data. London: Springer, 2015.
7. Cai J., Luo J., Wang S., Yang S. Feature selection in machine learning: A new perspective // Neurocomputing. 2018. No 300. P. 70–79.
8. Pashaei E., Aydin N. Binary black hole algorithm for feature selection and classification on biological data // Applied Soft Computing. 2017. No 56. P. 94–106.
9. Yusta S. C. Different metaheuristic strategies to solve the feature selection problem // Pattern Recognition Letters. 2009. No 30. P. 525–534.
10. Kohavi R., John G.H. Wrappers for feature subset selection // Artificial Intelligence. 1997. No 97. P. 273–324.
11. Dong H., Li T., Ding R., Sun J. A novel hybrid genetic algorithm with granular information for feature selection and optimization // Applied Soft Computing. 2018. No 65. P. 33–46.
12. Sayed S., Nassef M., Badr A., Farag I. A nested genetic algorithm for feature selection in high-dimensional cancer Microarray datasets // Expert Systems with Applications. 2019. No 121. P. 233–243.
13. Ma B., Xia Y. A tribe competition-based genetic algorithm for feature selection in pattern classification // Applied Soft Computing. 2017. No 58. P. 328–338.
14. Wu Y.-L., Tang C.-Y., Hor M.-K., Wu P.-F. Feature selection using genetic algorithm and cluster validation // Expert Systems with Applications. 2011. No 38. P. 2727–2732.
15. Sikora R., Piramuthu S. Framework for efficient feature selection in genetic algorithm based data mining // European Journal of Operational Research. 2007. No 180. P. 723–737.
16. Vieira S.M., Sousa J.M.C., Runkler T.A. Ant colony optimization applied to feature selection in fuzzy classifiers // IFSA 2007, LNAI 4529. Berlin: Springer, 2007. P. 778–788.
17. Ghimatgar H., Kazemi K., Helfroush M.S., Aarabi A. An improved feature selection algorithm based on graph clustering and ant colony optimization // Knowledge-Based Systems. 2018. No 159. P. 270–285.
18. Dadaneh B.Z., Markid H.Y., Zakerolhosseini A. Unsupervised probabilistic feature selection using ant colony optimization // Expert Systems with Applications. 2016. No 53. P. 27–42.
19. Diao R., Shen Q. Feature Selection with Harmony Search // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – PART B: Cybernetics. 2012. No 42. P. 1509–1523.
20. Ходашинский И.А., Мех М.А. Построение нечеткого классификатора на основе методов гармонического поиска // Программирование. 2017. № 1. С. 54–65.
21. Mirjalili S., Lewis A. S-shaped versus V-shaped transfer functions for binary particle swarm optimization // Swarm and Evolutionary Computation. 2013. No 9. P. 1–14.
22. Yadav S., Ekbal A., Saha S. Feature selection for entity extraction from multiple biomedical corpora: A PSO-based approach // Soft Computing. 2018. No 22. P. 6881–6904.
23. Ajit Krishna N.L., Deepak V. K., Manikantan K., Ramachandran S. Face recognition using transform domain feature extraction and PSO-based feature selection // Applied Soft Computing. 2014. No 22. P. 141–161.
24. Bardamova M., Konev A., Hodashinsky I., Shelupanov A. A fuzzy classifier with feature selection based on the gravitational search algorithm // Symmetry. 2018. No 10 (11), 609.
25. Rashedi E., Nezamabadi-pour H. Feature subset selection using improved binary gravitational search algorithm // Journal of Intelligent & Fuzzy Systems: Applications in Engineering and Technology. 2014. No 26. P. 1211–1221.
26. Papa J.P., Rosa G.H., de Souza A.N., Afonso L.C.S. Feature selection through binary brain storm optimization // Computers and Electrical Engineering. 2018. No 72. P. 468–481.
27. Kiziloz H.E., Deniz A., Dokeroglu T., Cosar A. Novel multiobjective TLBO algorithms for the feature subset selection problem // Neurocomputing. 2018. No 306. P. 94–107.
28. Binary grasshopper optimisation algorithm approaches for feature selection problems / Mafarja M. [et al.] // Expert Systems with Applications. 2019. No 117. P. 267–286.
29. Sayed G.I., Khoriba G., Haggag M.H. A novel chaotic salp swarm algorithm for global optimization and feature selection // Applied Intelligence. 2018. No 48. P. 3462–3481.
30. An efficient binary salp swarm algorithm with crossover scheme for feature selection problems / Faris H. [et al.] // Knowledge-Based Systems. 2018. No 154. P. 43–67.

31. Emary E., Zawbaa H.M., Hassanien A.E. (2016) Binary ant lion approaches for feature selection // *Neurocomputing*. No 213. P. 54–65.
32. Bansal J.C., Sharma H., Jadon S.S. Clerc M. Spider monkey optimization algorithm for numerical optimization // *Memetic Computing*. 2014. No 6. P. 31–47.
33. Agrawal V., Rastogi R., Tiwari D.C. Spider monkey optimization: a survey // *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 2018. No 9. P. 929–941.
34. Wolpert D.H. The existence of a priori distinctions between learning algorithms // *Neural Computation*. 1996. No 8. P. 1341–1390.
35. Wolpert D.H. The lack of a priori distinctions between learning algorithms // *Neural Computation*. 1996. No 8. P. 1391–1420.
36. Singh U., Salgotra R., Rattan M. A novel binary spider monkey optimization algorithm for thinning of concentric circular antenna arrays // *IETE Journal of Research*. 2016. No 62. P. 736–744.
37. Hodashinsky I.A., Samsonov S.S. Design of fuzzy rule based classifier using the monkey algorithm // *Business Informatics*. 2017. No 1. P. 61–67.
38. Fazzolari F., Alcalá R., Herrera F. A multi-objective evolutionary method for learning granularities based on fuzzy discretization to improve the accuracy-complexity trade-off of fuzzy rule-based classification systems: D-MOFARC algorithm // *Applied Soft Computing*. 2014. No 24. P. 470–481.

Об авторах

Ходашинский Илья Александрович

доктор технических наук, профессор;

профессор кафедры комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 40;
E-mail: hodashn@rambler.ru

Немирович-Данченко Михаил Михайлович

доктор физико-математических наук;

профессор кафедры комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 40;
E-mail: nemdan2011@gmail.com

Самсонов Сергей Сергеевич

аспирант кафедры комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 40;
E-mail: samsonicx@mail.ru

Feature selection for fuzzy classifier using the spider monkey algorithm

Ilya A. Hodashinsky

E-mail: hodashn@rambler.ru

Mikhail M. Nemirovich-Danchenko

E-mail: nemdan2011@gmail.com

Sergey S. Samsonov

E-mail: samsonicx@mail.ru

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR)

Address: 40, Prospect Lenina, Tomsk 634050, Russia

Abstract

In this paper, we discuss the construction of fuzzy classifiers by dividing the task into the three following stages: the generation of a fuzzy rule base, the selection of relevant features, and the parameter optimization of membership functions for fuzzy rules. The structure of the fuzzy classifier is generated by forming the fuzzy rule base with

use of the minimum and maximum feature values in each class. This allows us to generate the rule base with the minimum number of rules, which corresponds to the number of class labels in the dataset to be classified. Feature selection is carried out by a binary spider monkey optimization (BSMO) algorithm, which is a wrapper method. As a data preprocessing procedure, feature selection not only improves the efficiency of training algorithms but also enhances their generalization capability. In the process of feature selection, we investigate the dynamics of changes in classification accuracy, iteration by iteration, for various parameter values of the binary algorithm and analyze the effect of its parameters on its convergence rate. The parameter optimization of fuzzy rule antecedents uses another spider monkey optimization (SMO) algorithm that processes continuous numerical data. The performance of the fuzzy classifiers based on the rules and features selected by these algorithms is tested on some datasets from the KEEL repository. Comparison with two competitor algorithms on the same datasets is carried out. It is shown that fuzzy classifiers with the minimum number of rules and a significantly reduced number of features can be developed with their accuracy being statistically similar to that of the competitor classifiers.

Key words: feature selection; wrapper method; binary spider monkey algorithm; fuzzy classifier; binary metaheuristics; fuzzy rule.

Citation: Hodashinsky I.A., Nemirovich-Danchenko M.M., Samsonov S.S. (2019) Feature selection for fuzzy classifier using the spider monkey algorithm. *Business Informatics*, vol. 13, no 2, pp. 29–42. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.2.29.42

References

1. Alonso J.M., Castiello C., Mencar C. (2015) Interpretability of fuzzy systems: Current research trends and prospects. *Springer Handbook of Computational Intelligence*. Berlin: Springer, pp. 219–237.
2. Mekh M.A., Hodashinsky I.A. (2017) Comparative analysis of differential evolution methods to optimize parameters of fuzzy classifiers. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, no 56, pp. 616–626.
3. Zhang Y., Ishibuchi H., Wang S. (2018) Deep Takagi–Sugeno–Kang fuzzy classifier with shared linguistic fuzzy rules. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 26, no 3, pp. 1535–1549.
4. Lucca G., Dimuro G.P., Fernández J., Bustince H., Bedregal B.R.C., Sanz J.A. (2019) Improving the performance of fuzzy rule-based classification systems based on a nonaveraging generalization of CC-integrals named C_{F1F2} -integrals. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 27, no 1, pp. 124–134.
5. Zhang P., Gao W., Liu G. (2018) Feature selection considering weighted relevancy. *Applied Intelligence*, no 48, pp. 4615–4625.
6. Bolon-Canedo V., Sanchez-Marono N., Alonso-Betanzos A. (2015) *Feature Selection for High-Dimensional Data*. London: Springer.
7. Cai J., Luo J., Wang S., Yang S. (2018) Feature selection in machine learning: A new perspective. *Neurocomputing*, no 300, pp. 70–79.
8. Pashaei E., Aydin N. (2017) Binary black hole algorithm for feature selection and classification on biological data. *Applied Soft Computing*, no 56, pp. 94–106.
9. Yusta S.C. (2009) Different metaheuristic strategies to solve the feature selection problem. *Pattern Recognition Letters*, no 30, pp. 525–534.
10. Kohavi R., John G.H. (1997) Wrappers for feature subset selection. *Artificial Intelligence*, no 97, pp. 273–324.
11. Dong H., Li T., Ding R., Sun J. (2018) A novel hybrid genetic algorithm with granular information for feature selection and optimization. *Applied Soft Computing*, no 65, pp. 33–46.
12. Sayed S., Nassef M., Badr A., Farag I. (2019) A nested genetic algorithm for feature selection in high-dimensional cancer microarray datasets. *Expert Systems with Applications*, no 121, pp. 233–243.
13. Ma B., Xia Y. (2017) A tribe competition-based genetic algorithm for feature selection in pattern classification. *Applied Soft Computing*, no 58, pp. 328–338.
14. Wu Y.-L., Tang C.-Y., Hor M.-K., Wu P.-F. (2011) Feature selection using genetic algorithm and cluster validation. *Expert Systems with Applications*, no 38, pp. 2727–2732.
15. Sikora R., Piramuthu S. (2007) Framework for efficient feature selection in genetic algorithm based data mining. *European Journal of Operational Research*, no 180, pp. 723–737.
16. Vieira S.M., Sousa J.M.C., Runkler T.A. (2007) Ant colony optimization applied to feature selection in fuzzy classifiers. *IFSA 2007, LNAI 4529*. Berlin: Springer, pp. 778–788.
17. Ghimatgar H., Kazemi K., Helfroush M.S., Aarabi A. (2018) An improved feature selection algorithm based on graph clustering and ant colony optimization. *Knowledge-Based Systems*, no 159, pp. 270–285.
18. Dadaneh B.Z., Markid H.Y., Zakerolhosseini A. (2016) Unsupervised probabilistic feature selection using ant colony optimization. *Expert Systems with Applications*, no 53, pp. 27–42.
19. Diao R., Shen Q. (2012) Feature selection with harmony search. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – PART B: Cybernetics*, no 42, pp. 1509–1523.
20. Hodashinsky I.A., Mekh M.A. (2017) Fuzzy classifier design using harmonic search methods. *Programming and Computer Software*, no 43, pp. 37–46.

21. Mirjalili S., Lewis A. (2013) S-shaped versus V-shaped transfer functions for binary particle swarm optimization. *Swarm and Evolutionary Computation*, no 9, pp. 1–14.
22. Yadav S., Ekbal A., Saha S. (2018) Feature selection for entity extraction from multiple biomedical corpora: A PSO-based approach. *Soft Computing*, no 22, pp. 6881–6904.
23. Ajit Krishna N.L., Deepak V.K., Manikantan K., Ramachandran S. (2014) Face recognition using transform domain feature extraction and PSO-based feature selection. *Applied Soft Computing*, no 22, pp. 141–161.
24. Bardamova M., Konev A., Hodashinsky I., Shelupanov A. (2018) A fuzzy classifier with feature selection based on the gravitational search algorithm. *Symmetry*, no 10 (11), 609.
25. Rashedi E., Nezamabadi-pour H. (2014) Feature subset selection using improved binary gravitational search algorithm. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems: Applications in Engineering and Technology*, no 26, pp. 1211–1221.
26. Papa J.P., Rosa G.H., de Souza A.N., Afonso L.C.S. (2018) Feature selection through binary brain storm optimization. *Computers and Electrical Engineering*, no 72, pp. 468–481.
27. Kiziloz H.E., Deniz A., Dokeroglu T., Cosar A. (2018) Novel multiobjective TLBO algorithms for the feature subset selection problem. *Neurocomputing*, no 306, pp. 94–107.
28. Mafarja M., Aljarah I., Faris H., Hammouri A.I., Ala'M A.Z., Mirjalili S. (2019) Binary grasshopper optimisation algorithm approaches for feature selection problems. *Expert Systems with Applications*, no 117, pp. 267–286.
29. Sayed G.I., Khoriba G., Haggag M.H. (2018) A novel chaotic salp swarm algorithm for global optimization and feature selection. *Applied Intelligence*, no 48, pp. 3462–3481.
30. Faris H., Mafarja M.M., Heidari A.A., Aljarah I., Al-Zoubi A.M., Mirjalili S., Fujita H. (2018) An efficient binary salp swarm algorithm with crossover scheme for feature selection problems. *Knowledge-Based Systems*, no 154, pp. 43–67.
31. Emary E., Zawbaa H.M., Hassanien A.E. (2016) Binary ant lion approaches for feature selection. *Neurocomputing*, no 213, pp. 54–65.
32. Bansal J.C., Sharma H., Jadon S.S. Clerc M. (2014) Spider monkey optimization algorithm for numerical optimization. *Memetic Computing*, no 6, pp. 31–47.
33. Agrawal V., Rastogi R., Tiwari D.C. (2018) Spider monkey optimization: a survey. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, no 9, pp. 929–941.
34. Wolpert D.H. (1996) The existence of a priori distinctions between learning algorithms. *Neural Computation*, no 8, pp. 1341–1390.
35. Wolpert D.H. (1996) The lack of a priori distinctions between learning algorithms. *Neural Computation*, no 8, pp. 1391–1420.
36. Singh U., Salgotra R., Rattan M. (2016) A novel binary spider monkey optimization algorithm for thinning of concentric circular antenna arrays. *IETE Journal of Research*, no 62, pp. 736–744.
37. Hodashinsky I.A., Samsonov S.S. (2017) Design of fuzzy rule based classifier using the monkey algorithm. *Business Informatics*, no 1, pp. 61–67.
38. Fazzolari F., Alcalá R., Herrera F. (2014) A multi-objective evolutionary method for learning granularities based on fuzzy discretization to improve the accuracy-complexity trade-off of fuzzy rule-based classification systems: D-MOFARC algorithm. *Applied Soft Computing*, no 24, pp. 470–481.

About the authors

Ilya A. Hodashinsky

Dr. Sci. (Tech.), Professor;

Professor, Department of Complex Information Security of Computer Systems,
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR), 40, Prospect Lenina, Tomsk 634050, Russia;
E-mail: hodashn@rambler.ru

Mikhail M. Nemirovich-Danchenko

Dr. Sci. (Phys.-Math.);

Professor, Department of Complex Information Security of Computer Systems,
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR), 40, Prospect Lenina, Tomsk 634050, Russia;
E-mail: nemdan2011@gmail.com

Sergey S. Samsonov

Doctoral Student, Department of Complex Information Security of Computer Systems,
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR), 40, Prospect Lenina, Tomsk 634050, Russia;
E-mail: samsonic@mail.ru

Разработка подхода для ранжирования инновационных ИТ-проектов

В.И. Грекул

E-mail: grekoul@hse.ru

Е.А. Исаев

E-mail: eisaev@hse.ru

Н.Л. Коровкина

E-mail: nkorovkina@hse.ru

Т.С. Лисиенкова

E-mail: tlisienkova@hse.ru

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Адрес: 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20

Аннотация

Цифровая трансформация бизнеса – актуальная задача для многих компаний. Ее неотъемлемой частью является применение «прорывных» технологий. Сегодня между понятием «инновации» и «информационные технологии» часто ставится знак равенства, поскольку именно ИТ способны обеспечить реализацию инновационной стратегии и цифровую трансформацию бизнеса.

Из-за высокой скорости развития ИТ-рынка и появления новых технологий компании часто внедряют их без обоснованного отбора и ранжирования, что приводит к высокой доле провальных инновационных ИТ-проектов. Часто в результате реализации проекта компания не получает коммерчески успешный продукт или услугу, которые выделяются среди конкурентов с точки зрения потребителя. Основным подходом к оценке и ранжированию инновационных ИТ-проектов остается анализ финансовых показателей на основе ожидаемых результатов, при этом оценка стратегической согласованности проекта игнорируется.

В рамках исследования предложено решение для ранжирования инновационных ИТ-проектов в крупных компаниях. Подход заключается в комплексной оценке влияния предполагаемых результатов проекта на стратегический, окружающий, организационный и технологический аспекты компании. В основу подхода легла модифицированная модель принятия инноваций Фляйшера–Торняцки.

На первом этапе исследования определено понятие инноваций, выделены особенности инновационных проектов в сфере информационных технологий. На втором этапе проведен сравнительный анализ подходов к оценке инновационных проектов, выбрана и модифицирована модель принятия ИТ-инноваций, которая легла в основу предлагаемого подхода. На третьем этапе выполнена апробация подхода в крупной российской ИТ-компании в сфере интернет-технологий. По имеющимся данным, за два года применения подхода подтверждена его адекватность и предложены перспективы его развития.

Ключевые слова: инновационный ИТ-проект; ИТ-инновации; жизненный цикл инноваций; модели адаптации инноваций; модели принятия инноваций; модель ТОЕ Торняцки–Фляйшера.

Цитирование: Грекул В.И., Исаев Е.А., Коровкина Н.Л., Лисиенкова Т.С. Разработка подхода для ранжирования инновационных ИТ-проектов // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 2. С. 43–58. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.2.43.58

Введение

Цифровизация экономики продолжает набирать обороты. Согласно прогнозу компании McKinsey, уже к 2020 году доля цифрового бизнеса в мировом ВВП составит 34% [1]. Бизнесы стараются как можно быстрее стать цифровыми — отчасти это обусловлено высокой скоростью появления и развития «прорывных» технологий¹, а также желанием быть ближе к потребителю, в жизни которого с каждым днем становится больше «цифровой» составляющей. Для такого изменения организации существует термин: «цифровая трансформация» — фундаментальное преобразование продуктов и услуг компании, а также модели ее деятельности с помощью информационных технологий.

Неотъемлемой частью цифровой трансформации является применение новых инновационных технологий, например, для таких компаний как Huawei [3], Luxoft [4], Samsung [5], компаний туристической отрасли [6] и др. Примечательно, что сегодня именно информационные технологии чаще всего являются источником инноваций: инновации в виде новых технологий и продуктов на их основе появляются на ИТ-рынке, как минимум, раз в 1–1,5 года [7]. Однако не всем компаниям удается грамотно внедрять новые информационные технологии. Так, в глобальном исследовании компании PWC эксперты провели оценку цифровой зрелости компаний из разных отраслей и выявили, что к «цифровым лидерам»² относится лишь одна десятая часть опрошенных компаний; еще около половины относятся к «цифровым новаторам», которых характеризует активное внедрение новых технологий, но без должной согласованности со стратегией компании, а также без экспертизы и поддержки высшего руководства при их реализации [8].

Зачастую между понятием «инновации» и «информационные технологии» ставится знак равенства: согласно исследованиям, именно информационные технологии способны обеспечить реализацию инновационных стратегий большинства современных предприятий в рамках цифровой трансформации [9]. Статистика также свидетельствует о том, что лишь 10% инновационных ИТ-проектов считаются успешными (то есть имеют на выходе коммерчески

успешный продукт или услугу) [10]. Таким образом, большинство инновационных ИТ-проектов признаются провальными.

В реальных условиях чтобы стать «цифровым лидером», компании стремятся внедрять «прорывные» технологии путем реализации инновационных проектов, с учетом их важности и соответствия стратегии компании. Это особенно актуально для средних и крупных компаний, которые ведут проектную деятельность своими силами и где зачастую параллельно реализуется несколько проектов. Для таких компаний ранжирование проектов может стать основой успешной системы управления. Ранжирование проектов — процесс, позволяющий повысить вероятность успеха стратегических проектов и увеличить согласованность реализуемых проектов со стратегическими целями [11]. Выполнение инновационных проектов без предварительного отбора и ранжирования лишает компанию согласованности действия и уводит ее с пути «цифрового лидера» в сторону менее зрелого «цифрового новатора».

Для проверки того, насколько инновация подходит компании, в зарубежной практике сформировался класс моделей принятия инноваций (innovation adoption), однако их применение не распространено в силу присущего им теоретического характера.

Особенностью многих инновационных проектов является их отложенное влияние на бизнес, когда компания начинает получать выгоду от проекта не сразу по его завершении, а лишь спустя некоторое время. Кроме того, следует отметить, что заранее оценить экономическую эффективность таких проектов довольно сложно [12]. В ряде источников обсуждается проблема отсутствия связи инновационных проектов со стратегическими целями компании, и эта проблема является одной из наиболее часто встречающихся причин неудачи проектов [13, 14]. Таким образом, на сегодняшний день вопросы определения приоритетов инновационных ИТ-проектов проработаны недостаточно. В результате приобретают актуальность более глубокие исследования, в частности, в области разработки методов и инструментов, обеспечивающих на практике комплексный подход к ранжированию инновационных ИТ-проектов.

¹ Технологии, которые создают новые рынки и/или меняют соотношение ценностей на текущем рынке, делая старые продукты неконкурентоспособными, так как их преимущества теряют свое значение (пример: искусственный интеллект, интернет вещей, блокчейн, нано-материалы и пр.) [2]

² Компании, которые с помощью новых цифровых технологий обеспечивают согласованность действий на всех уровнях организации, последовательно реализуют общую стратегию, предоставляя конечным потребителям конкурентные продукты и услуги с отличительными особенностями

В настоящее время наиболее распространенным подходом к ранжированию инновационных проектов (в том числе в сфере ИТ), остается анализ ожидаемых финансовых результатов внедрения, например, анализ уровня доходности, срока окупаемости проектов и т.д. [12]. При этом рассматривается влияние инноваций только на финансовую сторону бизнеса.

Целью данного исследования является разработка подхода к комплексной оценке влияния инновационных ИТ-проектов на компанию³.

1. Определение особенностей ИТ-инноваций

На сегодняшний день термин «инновация» является неотъемлемым для большинства сфер жизни общества. В зависимости от контекста, в данный термин вкладывается разный смысл. Так, в работах Eurostat [15], Й. Шумпетера [16], А.А. Аньшиной [17], Э.А. Козловской и др. [18] инновации представляются как внедрение и использование на предприятии результатов научных разработок. Б. Санто [19], В.Г. Медынский [20], А.В. Барышева [21] представляют инновацию именно как процесс научной разработки и исследований, без акцента на дальнейшее использование и внедрение. В.В. Глухов и др. [22], Б. Твисс [23], Организация экономического сотрудничества и развития [24] и Г. Эдисон [25] выделяют в своих определениях коммерческую составляющую инноваций – момент, когда результаты исследований приобретают экономическую составляющую.

Резюмируя изученные определения, можно выделить следующие особенности понятия «инновация»:

- ◆ многие определения содержат описание последовательности действий (этапов) инновационного процесса;
- ◆ создание новой технологии или какое-либо другое воплощение идеи не означает завершение инновационного процесса: от также включает мероприятия по коммерциализации – маркетингу, вывод продукта на рынок и последующее продвижение, стимулирование спроса и т.д.;
- ◆ определения содержат характеристику результата конечного процесса – воплощенной в жизнь идеи в виде новых продуктов, услуг, технологий;
- ◆ инновационная деятельность требует определенной организационной поддержки – выделения

необходимых ресурсов, изменения организационной структуры, создание новых функций и т.д.;

- ◆ в рекомендациях по сбору и анализу данных об инновациях [19] вводится термин «диффузия» – как способ распространения инновации и доведения ее до потребителей (экономическая ценность инноваций).

Также можно выделить особенности инноваций в сфере ИТ. Определение понятия «ИТ-инновации» чаще всего встречается в индивидуальных исследованиях [12, 27, 28, 32]. Обобщая предложенные трактовки, ИТ-инновации можно определить как совокупность технических нововведений, поддерживающих технологии обмена информацией, в результате которого информация становится важной составляющей производственного процесса, изменяет производственные и рыночные параметры продукции, повышая ее добавленную стоимость. Одной из задач ИТ-инноваций является совершенствование информационных потоков организации и повышение качества информации (ее оперативности, релевантности для пользователя, достоверности, достаточности).

На основе анализа вышеупомянутых работ можно выделить следующие особенности инновационных ИТ-проектов:

- ◆ повышенная неопределенность в части результатов (зачастую бывает сложно предсказать результат такого проекта и спрогнозировать степень его успешности);
- ◆ сложность определения заказчика продукта и конечных пользователей, на которых проект будет оказывать влияние;
- ◆ использование новых практик (подходов к разработке, сбору требований, программных сред, продуктов и пр.);
- ◆ сложность прототипирования конечного результата проекта;
- ◆ высокая неопределенность в оценке сроков реализации проектов: первоначальная оценка сроков может значительно измениться после конкретизации решаемой задачи, заказчика и конечного пользователя, концепции результата проекта;
- ◆ сложность оценки промежуточных результатов проекта, затрудненный мониторинг выполнения плана реализации проекта;
- ◆ положительное влияние на добавленную стоимость продукта компании: внедрение инновации

³ Предварительные результаты исследования представлены в выпускной квалификационной работе Т.С. Лисиенковой, выполненной на факультете бизнеса и менеджмента НИУ ВШЭ в 2017 г.

может положительно сказаться на оптимизации операционной деятельности компании, однако, прежде всего, инновация должна затронуть клиентов компании в виде улучшенных характеристик производимого продукта или услуги.

2. Существующие подходы к оценке инновационных ИТ-проектов

По мере повышений актуальности инноваций и накопления опыта управления инновационными проектами, растет и необходимость формирования способов оценки отдачи от них. В ряде работ, посвященных оценке результатов инновационных проектов, в качестве существенных проблем указаны нечеткость требований к результатам проекта и высокая вероятность значительных отклонений фактических результатов от ожидаемых [26]. Авторы работы [27] выделяют четыре группы оценки инновационных проектов: финансовые, многокритериальные, подходы с учетом соотношений и подходы оценки портфелей проектов.

Финансовые подходы соответствуют классической теории управленческого учета, а именно – принятия решений на основе сопоставления инвестиций и получаемых экономических выгод, представленных в денежном выражении. К наиболее распространенным методам финансовой оценки относятся методы бухгалтерской нормы прибыли, периода окупаемости проекта, чистой приведенной стоимости проекта, внутренней нормы рентабельности.

Для оценки нематериальных последствий внедрения информационных технологий необходимы показатели, выходящие за рамки финансовых. Здесь сложность заключается как в единицах измерения материальных и нематериальных последствий, так и необходимостью учета важности разных критериев. Для решения этой задачи применим многокритериальный подход, когда непосредственной оценке инвестиционного проекта предшествует формирование набора критериев. Таким критериям присваиваются веса, отражающие их важность, а сами проекты впоследствии сравниваются по интегральному показателю. К числу наиболее полных методов, учитывающих разнородные критерии, относятся метод информационной экономики и метод SIESTA (Strategic Investment Evaluation and Selection Tool Amsterdam) [28].

Подходов с учетом относительных нацелен на сравнение проектов между собой. В частности, для

ИТ-проектов предложено несколько показателей (например, доля дохода от ИТ-инвестиций в общих доходах компании). При этом могут учитываться не только финансовые показатели: можно сравнивать численность задействованных в проекте сотрудников, число усовершенствованных бизнес-процессов или количество новых продуктов и услуг компании. Одним из методов, относящимся к данной группе, является метод возврата инвестиций от менеджмента (ROM), позволяющий оценить уровень управления в компании.

Подходы оценки портфелей проектов позволяют оценить проекты на различных организационных уровнях, рассматривая не только характеристики проектов или программ, но и наиболее важные бизнес-показатели, а в некоторых случаях – даже бизнес-модель. В рамках данной группы подходов ставятся вопросы не только о целесообразности инвестиций в конкретный проект, но и о том, какие важные бизнес-активности компания хочет улучшить, или о том, какие информационные системы поддерживают ключевые бизнес-процессы и какие проекты позволяют их улучшить. К таким подходам относят метод Бедея [28], метод инвестиционного маппинга и метод формирования инвестиционного портфеля [27].

Для выбора подхода к ранжированию инновационных ИТ-проектов проведен выполнен сравнительный анализ описанных выше методов (*таблица 1*). На основе выявленных особенностей инновационных ИТ-проектов сформирован перечень критериев для сравнения подходов:

1. охват подхода: использует ли подход только данные проекта или учитывает особенности организации, влияние результатов проекта на деятельность различных подразделений компании, достижение стратегических целей и др.);
2. возможность учета неопределенности результатов проекта;
3. возможность учета неопределенности в сроках реализации проекта;
4. возможность учета влияния результата проекта на добавленную стоимость продукта или услуги;
5. характер критериев оценки подхода (качественные или количественные);
6. характер результатов подхода: применение разных типов шкал – номинальной, порядковой или интервальной [29];
7. методологическая оснащенность: имеются ли рекомендации по сбору информации, расчету нема-

Таблица 1.

Сравнение подходов к оценке инновационных проектов¹

Подходы \ Критерии сравнения	Финансовые подходы	Многокритериальные подходы	Подходы с учетом соотношений	Подходы к оценке портфелей проектов
Охват подхода	ИТ-проект	ИТ-проект, организация	ИТ-проект, организация	ИТ-проект, организация
Учет неопределенности успешности проекта	+	+	+	+
	(при расчете итогового показателя)	(может быть задан через отдельный критерий)	(при расчете итогового показателя)	(расчет нескольких сценариев проекта)
Учет неоднозначности сроков реализации	-	+	-	+
Учет влияния результата проекта на добавленную стоимость	+/-	+	+/-	+
		(может быть задан через отдельный критерий)		
Количественная оценка	+	+	+	+
	(финансовые индикаторы)		(финансовые индикаторы)	
Качественная оценка	-	+	-	+
Методологическая оснащенность методов	+/-	+/-	+/-	+/-
Сложность применения подхода	Требует финансовой квалификации	Требует финансовой квалификации	Требует финансовой квалификации	
Характер результатов подхода	Интервальная шкала оценок	Порядковая шкала оценок (ранжирование)	Интервальная шкала оценок	Интервальная или порядковая шкала оценок

териальных выгод, задействованных при оценке проектов специалистов, процедур и временных рамок оценки;

8. сложность применения подхода: сложность сбора информации для применения метода, наглядность полученных результатов, необходимость в специальных компетенциях сотрудников.

Наибольший интерес представляет группа многокритериальных подходов. Такие подходы не ограничиваются только финансовой оценкой, что важно при анализе инновационных ИТ-проектов, результатами которых могут быть нематериальные выгоды. Более того, многокритериальный подход применим не только на уровне отдельного проекта, но и на более высоких уровнях (например, на уровне стратегических целей организации), путем включения в модель соответствующих критериев. Многокритериальные методы являются более гибкими в части учета неопределенности срока реализации проекта. Порядковая шкала оценок позволяет сравнивать и ранжировать проекты разного характера, в одной

плоскости критериев, которые представляются важными для конкретной компании, а не для рынка или отрасли в целом. Однако при оценке высокорискованных инновационных проектов необязательная оценка риска проекта в виде критерия недостаточна. Более приемлемым выглядит расчет нескольких сценариев проекта, по аналогии с подходами к анализу портфелей проекта.

3. Разработка подхода к ранжированию инновационных ИТ-проектов

По мере развития ИТ и анализа инноваций данной сферы в научном сообществе выделилось отдельное направление исследований о «принятии» ИТ-инноваций (IT innovation adoption). Под «принятием» подразумевается успешное внедрение ИТ-инновации в компанию, что приводит к качественному улучшению ее деятельности и результативности [28]. Имеются исследования факторов, которые влияют на принятие или «отторжение» ИТ-

¹ Знак «+» означает положительную оценку подхода по данному критерию, «-» означает отрицательную оценку, а «+ / -» означает наличие ограничений

инноваций. Результаты таких исследований обобщены в моделях, фреймворках и рекомендациях, позволяющих оценить возможности принятия той или иной инновации.

Наиболее распространенными из таких моделей являются модели принятия технологий [30] и потенциального применения технологий [31], фреймворки «Диффузия инноваций» [32] и «Запланированное принятие» [33], а также модель технологического, организационного и окружающего контекста (technology–organization–environment model) [34].

Исследование перечисленных моделей позволило выделить критерии для их сравнения, учитывающие ограничения моделей, предмет их анализа и результаты применения. К таким критериям относятся:

- 1) тип подхода;
- 2) привязка к размеру компании;
- 3) ограничение стадией жизненного цикла ИТ-инновации;
- 4) уровень оценки принятия;
- 5) учет стратегической согласованности;

- б) объект анализа принятия ИТ-инновации;
- 7) результат применения модели.

Результаты сравнительного анализа приведены в *таблице 2*.

Как показывает сравнение, наибольший интерес представляет модель технологического, организационного и окружающего контекста Фляйшера–Торняцки [34]. Применение этой модели не привязано к размерам компании или стадии проработки оцениваемой инновации: оценка проводится на уровне организации в целом и рассматривает ее деятельность с разных стороны (три контекста). Именно в этом подходе просматривается неявная оценка стратегической согласованности.

Авторы модели ТОЕ выделяют три контекста, процессы и характеристики которых оказывают влияние на успешность «принятия» ИТ-инноваций: технологический, организационный и окружающий [34].

Технологический контекст определяет, насколько ИТ-компании готовы к внедрению технологии, насколько технология освоена на рынке и осуществима при технических условиях и возможностях

Таблица 2.

Сравнительная характеристика моделей принятия ИТ-инноваций

№	Название	КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПОДХОДОВ						
		Тип подхода	Привязка к размеру компании	Ограничение стадией ЖЦ ИТ-инновации	Уровень оценки принятия	Учет стратегической согласованности	Объект анализа	Результат применения модели
1	Модель принятия технологий	Модель	Малые	Стадия зарождения инновации	Индивидуальный (сотрудник / роль)	–	Внутренние характеристики компании	Оценка принятия ИТ-инновации конкретной позицией
2	Диффузия инноваций	Фреймворк	Крупные, средние и малые	Не обнаружено	Корпоративный	–	Внутренние и внешние характеристики компании	Оценка принятия ИТ-инновации компанией
3	Фреймворк «Запланированное принятие»	Фреймворк	Средние и малые	Стадия зарождения инновации	Индивидуальный и корпоративный	–	Лидерские способности, инновационный потенциал сотрудников	Оценка готовности корпоративной культуры к внедрению ИТ-инновации
4	Модель потенциального использования технологий	Модель	Крупные и средние	Не обнаружено	Индивидуальный (сотрудник / роль)	–	Компетенции сотрудников	Сценарии использования ИТ-инновации сотрудником
5	Модель ТОЕ	Модель	Крупные, средние и малые	Не обнаружено	Корпоративный	+ / – ⁵	Организационный, технологический и окружающий контексты	Оценка принятия ИТ-инновации компанией

⁵ Присутствует в модели, но не выделен как обязательный критерий

компании. Организационный контекст описывает, насколько размер компании, ее организационная структура, коммуникационные процессы и внутренние драйверы изменений отразятся на адаптации ИТ-инновации. Окружающий контекст оценивает влияние ИТ-инновации на положение компании в отрасли и среди конкурентов. Он также учитывает ограничения, с которыми внедряемая ИТ-инновация может столкнуться со стороны государства, а также преобразования, необходимые для ее поддержки.

Более подробно каждый контекст проиллюстрирован в статьях [35–37]. Особенностью реализации инновационных ИТ-проектов является необходимость их согласованности со стратегией компании, однако оригинальная модель не позволяет оценить эту связь в явном виде. Для учета данного ограничения в модель добавлен стратегический контекст, позволяющий дать оценку соответствия ИТ-инновации стратегии компании, а также ее влияние на достижение стратегических целей (рисунок 1).

В работах по использованию модели Фляйшера–Торняцки авторы раскрывают контексты с помощью общеизвестных моделей, фреймворков и инструментов стратегического, организационного и ИТ-менеджмента (например, фреймворк пяти сил



Рис. 1. Схема модифицированной модели Фляйшера–Торняцки принятия ИТ-инноваций

Портера, цепочка добавленной стоимости, канва Остервальдера–Пинье, PEST-анализ, SWOT-анализ, модели архитектуры предприятия TOGAF, Захмана и др.). Выбор моделей предоставляется компании или организации, которая проводит оценку принятия ИТ-инновации. Основываясь на рекомендациях по исследованию инновационной деятельности компаний в документе «Руководство Осло» [15] выделены три этапа процесса ранжирования (рисунок 2).



Рис. 2. Основные этапы ранжирования инновационных ИТ-проектов

Этап 1. Инициация и планирование мероприятий по ранжированию проектов. В рамках данного этапа проводятся подготовительные работы – отбор инновационных ИТ-проектов с помощью диаграмм Гантта и контрольных событий, составление планов и расписаний мероприятий по оценке проектов, назначение ответственных лиц и участников экспертной команды с помощью матрицы ответственности.

Для определения инновационности проекта и его включения в перечень проектов-кандидатов для последующей оценки и ранжирования предлагается ряд методов и рекомендаций (например, [38–40]). В данном исследовании процесс отбора инновационных проектов не рассматривается: принимается допущение, что рассматриваемые проекты действительно являются инновационными.

Этап 2. Проведение мероприятий по сбору данных для ранжирования проектов. На данном этапе проводятся основные работы по оценке приоритетности проектов, на основе модифицированной модели принятия ИТ-инноваций Торняцки–Фляйшера. Работы данного этапа включают подготовку базы для оценки проектов (выделение критериев, формирование инструмента оценки), сбор данных для проведения оценки и анализ результатов.

Для выделения критериев по четырем контекстам могут использоваться следующие модели:

- ♦ стратегический контекст: канва бизнес-модели Остервальдера–Пинье, цепочка добавленной стои-

мости, модель пяти сил Портера, сбалансированная система показателей;

- ◆ окружающий контекст: SWOT-анализ, PEST-анализ, конкурентный бенчмаркинг, T.E.M.P.L.E.S. анализ;

- ◆ организационный контекст: модель организационной структуры компании, модели организационного слоя по фреймворкам архитектуры предприятия TOGAF и Захмана;

- ◆ технологический контекст: модели слоя технологий, приложений, информационных систем, данных фреймворков архитектуры предприятия TOGAF и Захмана.

Выставление оценок экспертами может происходить как коллективно, в ходе обсуждений (мозговой штурм) или открытого выставления оценок с последующей калибровкой, так и закрыто, независимо друг от друга, с расчетом среднего арифметического по всем оценкам.

Этап 3. Анализ результатов ранжирования. Итоговая обработка полученных данных и ранжирование проектов является заключительным этапом. При этом достигается поставленная цель – получение ранжированного списка (рейтинга) инновационных ИТ-проектов. Полученные анкеты обрабатываются, для каждого критерия выставляется средний балл по всем экспертам, после чего проектам-кандидатам выставляется итоговая оценка, которая в равной степени учитывает четыре контекста, аналогично оригинальной модели.

Процесс реализации этапов ранжирования зависит от специфики компании – ее размеров, штатного состава, опыта и уровня зрелости проектного управления. При этом внутренние наработки по работе с инновациями будут определять периодичность применения подхода, список и численность должностей для команды экспертов, формат взаимодействия во время проведения оценки и другие организационные аспекты.

4. Применение разработанного подхода в российской ИТ-компании

Апробация разработанного подхода проведена в одной из ведущих российских компаний, работающей в сфере интернет-технологий. Компания владеет крупной системой поиска в сети интернет и сопровождающими сервисами. Основными рынками для компании являются Россия, страны СНГ, Турция и Израиль. В пакет услуг компании входит

предоставление рекламных мест различного формата, а также консультирование клиентов по вопросам сервисов и предоставление аналитических материалов.

Разработанный подход впервые был применен в компании в 2017 году. В рамках первого этапа специалистами группы перспективных продуктов был сформирован список из шести проектов-кандидатов. За каждым проектом был закреплен ответственный менеджер, который предоставлял всю необходимую информацию о проекте (паспорт проекта, его содержание, список необходимых ресурсов, ожидаемые результаты и т.д.) и принимал участие в мероприятиях по ранжированию проектов. Также была сформирована команда экспертов. При этом было важно задействовать специалистов из областей, соответствующих четырем контекстам модели принятия ИТ-инновация. Таким образом, в команду экспертов привлечены специалисты из нескольких профильных отделов.

Кроме того, было сформировано расписание встреч и определены сроки предоставления ответственными менеджерами информации по проектам-кандидатам, в соответствии с разработанными формами.

В рамках второго этапа на основе модифицированной модели принятия ИТ-инноваций определен список критериев оценки приоритетности инновационных ИТ-проектов. Для формирования критериев стратегического контекста, в рамках которого необходимо проанализировать влияние проекта на бизнес-логику компании, выбрана канва Остарвальдера–Пинье, которая описывает деятельность компании в девяти блоках: ключевые ресурсы, ключевые партнеры, ключевые активности, ценностное предложение, сегменты потребителей, каналы сбыта, построение взаимоотношений, структура затрат, структура доходов [41]. Заполненная канва была передана экспертам, которые обозначили проблемные элементы модели бизнеса (*рисунк 3*). В частности, в блоке «ключевые партнеры» это элемент рекламные агентства, в блоке «ключевые активности» – продажа рекламных услуг, в блоке «ценностное предложение» – рекламные поверхности и персональная аналитика, в блоке «сегменты потребителей» – малый и средний бизнес, в блоке «построение взаимоотношений» – персональный менеджер, в блоке «структура доходов» – реклама. Таким образом, оцениваемые проекты должны были ориентироваться на обозначенные проблемные сущности.



Рис. 3. Графическое представление бизнес–модели компании в канве Остервальдера–Пинье⁶

Для прочих контекстов построены следующие модели:

- ◆ организационный контекст: мотивационная модель объединенного подхода к архитектуре предприятия TOGAF и Archimate [42];
- ◆ технологический контекст: многослойная модель архитектуры предприятия [43] (в данном случае – коммерческого департамента);
- ◆ окружающий контекст: SWOT-анализ.

По аналогии со стратегическим контекстом, эксперты обозначили проблемные области остальных контекстов, на их основе были сформированы вопросы для анкеты. Для вопросов стратегического контекста было предложено использовать качественную шкалу, для технологического, окружающего и организационного – количественную шкалу. Выбор шкалы может варьироваться в зависимости от моделей, выбранных для раскрытия контекстов.

Для оценки влияния проектов-кандидатов на выделенные проблемные области в рамках исследования разработана анкета (таблица 3) и введена шкала качественной оценки влияния проекта на эти области, со значениями от единицы до пяти: 1 – повлияет отрицательно; 2 – не окажет влияния; 3 – повлия-

ет косвенно; 4 – повлияет положительно; 5 – проект непосредственно нацелен на деятельность данного сегмента.

Таким образом, в результате второго этапа проведено анкетирование, собраны материалы и оценки экспертов для шести проектов-кандидатов по четырем контекстам.

В рамках третьего этапа проводилась обработка полученных оценок, проектам выставлялся итоговый балл и формировался ранжированный список проектов. Итоговый балл по контекстам выставлялся в виде относительной оценки проекта (в процентах) от максимально возможной по конкретному контексту. Итоговый балл проекта рассчитывался как среднее арифметическое по четырем критериям, основываясь на принципе равенства контекстов, заложенном в оригинальной модели принятия ИТ-инноваций [34]. Далее проекту присваивался ранг в зависимости от величины комплексной относительной оценки: чем выше балл, тем выше ранг проекта. Оценки проектов по четырем контекстам представлены на рисунке 4 в виде лепестковой диаграммы, где «идеальный» проект имел бы значение 100% по всем контекстам.

⁶ Серым цветом на рисунке обозначены проблемные области рассматриваемой компании

Таблица 3.

**Вопросы анкеты для оценки
четырех контекстов**

Группы вопросов по контекстам модифицированной модели принятия ИТ-инноваций	
1. Стратегический контекст (на основе канвы Остервальдера)	
1.1	Как повлияет реализация проекта на клиентский сегмент «Малый и средний бизнес»?
1.2	Как повлияет реализация проекта на партнерский сегмент «Рекламные агентства»?
1.3	Как повлияет реализация проекта на сегмент взаимоотношений «Персональный менеджер»?
1.4	Как повлияет реализация проекта на сегмент ценностного предложения «Рекламные места»?
1.5	Как повлияет реализация проекта на сегмент ценностного предложения «Персональная аналитика»?
1.6	Как повлияет реализация проекта на сегмент ключевых активностей «Продажа услуг и решений»?
1.7	Как повлияет реализация проекта на сегмент ключевых активностей «Поддержка клиентов»?
1.8	Как повлияет реализация проекта на сегмент потоков поступления доходов «Реклама»?
2. Окружающий контекст (на основе SWOT-анализа)	
2.1	На реализацию скольких из обозначенных возможностей повлияет результат проекта?
2.2	Сколько из обозначенных угроз позволит снизить результат проекта?
2.3	Сколько из обозначенных слабых сторон «избегает» проект?
2.4	Сколько из обозначенных сильных сторон задействует проект?
3. Организационный контекст (на основе мотивационной модели объединенного подхода к архитектуре предприятия TOGAF и Archimate)	
3.1	На достижение скольких целей организации повлияет проект?
3.2	На повышение скольких оценок организации повлияет проект?
3.3	На сколько драйверов организации ориентирован проект?
3.4	На работу со сколькими внешними стейкхолдерами организации повлияет проект?
4. Технологический контекст (на основе многослойной модели архитектуры предприятия объединенного подхода TOGAF и Archimate)	
4.1	Сколько компонентов приложений и сервисов из тех, с которыми будет интегрирован результат проекта, не требует кардинальной доработки/разработки с нуля?
4.2	Сколько сервисов из тех, куда будут внедрены результаты проекта, не требует кардинальной доработки/разработки с нуля?
4.3	На сколько вспомогательных бизнес-процессов влияют результаты проекта?
4.4	На сколько основных бизнес-процессов влияют результаты проекта?
4.5	На сколько бизнес-сервисов влияют результаты проекта?
4.6	На работу скольких внешних исполнителей влияют результаты проекта?



Рис. 4. Графическое представление оценки проектов по осям четырех критериев

Для проверки адекватности результатов разработанного подхода ранги проектов, полученные в результате применения процедуры, сравнивались с рангами тех же проектов, полученными на основе внутренних источников компании (таблица 4). Согласно результатам, четыре из шести проектов получили одинаковый ранг. Ранги проектов «Умная кластеризация клиентов» и «Умное прогнозирование рекламного бюджета», полученные по внутренним данным и в рамках подхода, различались на один пункт.

Изучение внутренней информации позволило выяснить, что по проекту «Умная кластеризация клиентов» был выставлен меньший ранг, так как на момент расстановки приоритетов в компании отсутствовало четкое разделение клиентских сегментов. Продуктовая линейка не учитывала особенности разных типов рекламодателей, отсутствовала явно выраженная необходимость кастомизации рекламных решений.

Аналогичным образом предлагаемый подход повторно применен в 2018 году, результаты представлены в таблице 5. В отличие от первого применения, ранги всех проектов, полученные в рамках

Таблица 4.

**Сравнительная оценка ранжированных списков
инновационных ИТ-проектов (2017 г.) в результате применения
предложенного подхода и на основе внутренних данных компании**

Проект	Ранжирование		
	На основе предлагаемого подхода		По внутренним данным
	Относительная оценка (%)	Ранг	Ранг
«Умное» рекламное предложение	78%	1	1
«Умное» создание рекламного плана	72%	2	2
«Умная» кластеризация клиентов	67%	3	4
«Умное» прогнозирование рекламного потенциала	64%	4	3
«Умная» обработка потока резюме	52%	5	5
«Умное» предсказание аномалий в доходах компании	48%	6	6

Таблица 5.

**Сравнительная оценка ранжированных списков
инновационных ИТ-проектов (2018 г.) в результате применения
предложенного подхода и на основе внутренних данных компании**

Проект	Ранжирование		
	На основе предлагаемого подхода		По внутренним данным
	Относительная оценка (%)	Ранг	Ранг
«Умный» аудит рекламного размещения клиента	75%	1	1
«Умная» оценка потенциала географического расширения рекламных кампаний клиента	71%	2	2
«Умное» прогнозирование оттока клиентов	67%	3	3
«Умная» оценка потенциала рекламных агентств	65%	4	4
«Умное» прогнозирование бизнес-показателей коммерческого департамента	61%	5	5
«Умное» распределение задач по участникам рабочих команд	50%	6	6

подхода, совпадали с рангами, полученными на основе внутренних источников компании.

При первом применении процедуры отклонение от принятого в компании рейтинга составило около 6%, при втором применении отклонений в рейтингах не выявлено. Идентичность рейтингов проектов говорит о том, что разработанный подход близок к используемому способу принятия решений о ранжировании проектов. Применение разработанного подхода в 2017–2018 годах позволило создать базу моделей и материалов, разработать шаблоны и форматы проведения встреч и анкетирования, что позволит сократить время реализации подхода в будущем.

Более того, с помощью подхода удалось формализовать отчасти интуитивный и субъективный фактор принятия решений. Ранее процесс ранжирования в компании представлялся как «черный ящик»: на вход подавался набор проектов-кандидатов, на выходе появлялся ранжированный список проектов для реализации. Для инициаторов проектов-кандидатов сроки проведения оценки, формат взаимодействия, состав команды, которая проводила оценку, оставались неизвестными практически в течение всего процесса.

Презентационные материалы о результатах реализации процедуры представлены на квартальных встречах коммерческого департамента.

После обсуждения нового подхода к ранжированию инновационных ИТ-проектов принято решение продолжать его использование для накопления данных и подтверждения адекватности модели. При этом реализация подхода будет проходить параллельно с текущим «интуитивным» способом приоритизации проектов: это позволит провести калибровку состава процедуры или корректировку отдельных шагов.

Планируется, что регулярное применение процедуры позволит уточнить список компетенций экспертной команды с учетом четырех контекстов. Основываясь на первой итерации процедуры, возможно разработать требования к форме и содержанию сопроводительных документов, которые помогут экспертам проводить оценку проектов.

Заключение

Разработанный подход позволяет провести комплексную оценку и ранжирование инновационных ИТ-проектов на основе анализа влияния их ожидаемых результатов на четыре аспекта предприятия: стратегический, организационный, окружающий и

технологический. Подход может быть использован в следующих ситуациях:

- ◆ компания выбирает новую инновационную технологию среди нескольких альтернатив;
- ◆ компания проводит отбор инновационных проектов для реализации из списка проектов-кандидатов;
- ◆ компания проводит приоритизацию проектов для определения последовательности их реализации.

Разработанный подход успешно апробирован в крупной российской ИТ-компании, что позволило сформулировать практические рекомендации по применению процедуры.

Перспективы исследования заключается в концептуальном развитии подхода — исследовании значимости каждого из четырех контекстов при оценке приоритетности инновационных ИТ-проектов и последующая калибровка их весовых коэффициентов значимости в итоговом балле. Еще одним направлением исследования является разработка процедуры отбора инновационных проектов на основе итераций применения разработанного подхода. ■

Литература

1. Цифровая Россия: новая реальность // ООО «Мак-Кинзи и Компания СиАйЭс», 2017. [Электронный ресурс]: <https://www.mckinsey.com/ru/~ /media/mckinsey/locations/europe%20and%20middle%20east/russia/our%20insights/digital%20russia/digital-russia-report.aspx> (дата обращения 12.09.2018).
2. Bower J.L., Christensen C.M. Disruptive technologies: Catching the wave // Harvard Business Review. 1995. № 1. С. 43–53.
3. Huawei drives convergence of disruptive technologies for digital transformation success // The Wall Street Journal Partners, 2018. [Электронный ресурс]: <https://partners.wsj.com/huawei/news/digitally-advanced-traditional-enterprises-will-lead-digital-era/> (дата обращения 13.09.2018).
4. Blanck T. Disruptive innovation as a catalyst for digital transformation // Luxoft Podcasts, 2018. [Электронный ресурс]: <https://www.luxoft.com/podcasts/disruptive-innovation-as-a-catalyst-for-digital-transformation/> (дата обращения 13.09.2018).
5. Qualman E. Digital transformation in the workplace // Samsung Insights, 2018. [Электронный ресурс]: <https://insights.samsung.com/2018/07/05/digital-transformation-in-the-workplace/> (дата обращения 13.09.2018).
6. Лихолетов В.В., Лисиенкова Л.Н., Баранова Е.В. Виртуальный тур как инструмент маркетинга в туризме // Экономика и менеджмент инновационных технологий. 2016. № 1. С. 136–138.
7. Martin W.J. The global information society. Abingdon: Routledge, 2017.
8. Глобальное исследование цифровых операций в 2018 г. «Цифровые чемпионы» // ООО «ПрайсвогтерхаусКуперсКонсалтинг», 2018. [Электронный ресурс]: <https://www.pwc.ru/ru/iot/digital-champions.pdf> (дата обращения 23.11.2018).
9. Рот Э. Инновации — путь к повышению эффективности // Вестник McKinsey, 2010. [Электронный ресурс]: <http://vestnikmckinsey.ru/strategic-planning/innovacii-put-k-povyshsheniyu-ehffektivnosti> (дата обращения 23.11.2018).
10. Fisher A. Why most innovations are great big failures // The Fortune, 2014. [Электронный ресурс]: <http://fortune.com/2014/10/07/innovation-failure/> (дата обращения 13.12.2018).
11. Nieto-Rodriguez N. How to prioritize your company's projects // Harvard Business Review, 2016. [Электронный ресурс]: <https://hbr.org/2016/12/how-to-prioritize-your-companys-projects> (дата обращения 22.11.2018).
12. Федосова Р.Н., Пименов С.В. Современный инструмент оценки эффективности инновационных проектов // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 5. С. 78–81.
13. Баранчев В.П., Масленникова Н.П., Мишин В.М. Управление инновациями. М.: Юрайт, 2015.
14. Kirsner S. The stage where most innovation projects fail // Harvard Business Review, 2017. [Электронный ресурс]: <https://hbr.org/2017/04/the-stage-where-most-innovation-projects-fail> (дата обращения 22.11.2019).
15. Statistical office of the European Communities. Oslo Manual: Guidelines for collecting and interpreting innovation data. Third edition // OECD Publishing, 2005. [Электронный ресурс]: <http://www.1-innocert.my/Manual/OSLO%20Manual%20V3%202005-EN.pdf> (дата обращения 23.11.2018).

16. Шумпетер Й. Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия. М.: Эксмо, 2008.
17. Аньшина А.А. Инновационный менеджмент. М.: Дело, 2009.
18. Козловская Э.А., Демиденко Д.С., Яковлева Е.Л. Экономика и управление инновациями. М.: Экономика, 2012.
19. Санто Б. Инновация как средство экономического развития. М.: Прогресс, 1990.
20. Медынский В.Г. Инновационный менеджмент. М.: Инфра-М, 2008.
21. Инновации / А.В. Барышева и [др.]. М.: Дашков и Ко., 2013.
22. Глухов В.В. Экономика знаний. СПб.: Питер, 2003.
23. Твисс Б. Управление научно-техническими нововведениями. М.: Экономика, 1989.
24. Frascati Manual 2015: Guidelines for collecting and reporting data on research and experimental development. The measurement of scientific, technological and innovation activities // OECD Publishing, 2015. [Электронный ресурс]: https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/frascati-manual-2015_9789264239012-en#page1 (дата обращения 21.11.2018).
25. Edison H., Bin Ali N., Torkar R. Towards innovation measurement in the software industry // Journal of Systems and Software. 2013. Vol. 86. No 5. P. 1390–1407.
26. Сотавов А.К. Совершенствование методов проектного управления инновациями в сфере информационных технологий. Диссертация ... к-та экон. наук. СПб., 2016.
27. Renkema T.J.W., Berghout E.W. Methodologies for innovation evaluation at the proposal stage: a comparative review // Innovation Technology. 1997. Vol. 39. No 1. P. 1–13.
28. Mumford M.D., Bedell-Avers K.E., Hunter S.T. Planning for innovation: A multi-level perspective // Research in Multi-Level Issues. Vol. 7. P. 107–154.
29. Stevens S.S. On the theory of scales of measurement // Science. New Series, 1946. [Электронный ресурс]: http://psychology.okstate.edu/faculty/jgrice/psyc3214/Stevens_FourScales_1946.pdf (дата обращения 25.11.2018).
30. Davis F.D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology // MIS Quarterly. 1989. Vol. 13. No 3. P. 319–340.
31. Venkatesh V., Morris M.G., Davis G.B., Davis F.D. User acceptance of information technology: Toward a unified view // MIS Quarterly. 2003. Vol. 27. No 3. P. 425–478.
32. Rogers E.M. Diffusion of innovations. N.Y.: Simon and Schuster, 2010.
33. Ajzen I. The theory of planned behavior // Organizational Behavior and Human Decision Processes. 1991. Vol. 50. No 2. P. 179–211.
34. Tornatzky L.G., Fleischer M., Chakrabarti A.K. Processes of technological innovation. Lanham: Lexington Books, 1996.
35. Kuan K., Chau P. A perception-based model for EDI adoption in small businesses using a technology–organization–environment framework // Information & Management. 2001. Vol. 38. No 8. P. 507–521.
36. Pan M.J., Jang W.Y. Determinants of the adoption of ERP within the technology–organization–environment framework: Taiwan’s communications industry // Journal of Computer Information Systems. 2008. Vol. 48. No 3. P. 94–102.
37. Lim K.H. Knowledge management systems diffusion in Chinese enterprises: A multistage approach using the technology-organization-environment framework // Journal of Global Information Management. 2009. Vol. 17. No 1. P. 70–84.
38. Мутанов Г.М., Есенгалиева Ж.С. Метод оценки инновационности и конкурентоспособности инновационных проектов // Фундаментальные исследования. 2012. Т. 3. № 3. С. 712–717.
39. Сергеев В.А., Кипчарская Е.В., Подымало Д.К. Основы инновационного проектирования. Ульяновск: УлГТУ, 2010.
40. Linton J.D., Walsh S.T., Morabito J. Analysis, ranking and selection of R&D projects in a portfolio // R&D Management. 2002. Vol. 32. No 2. P. 139–148.
41. Osterwalder A. A better way to think about your business model // Harvard Business Review, 2013. [Электронный ресурс]: <https://hbr.org/2013/05/a-better-way-to-think-about-uo> (дата обращения 26.11.2018).
42. Рубенчик А. Моделирование архитектуры предприятия. Обзор языка ArchiMate // Information Management. 2014. № 6. С. 55–59.
43. Зараменских Е.П. Архитектура предприятия. М.: Юрайт, 2018.

Об авторах

Грекул Владимир Иванович

кандидат технических наук;

профессор кафедры управления информационными системами и цифровой инфраструктурой, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;

E-mail: grekoul@hse.ru

Исаев Евгений Анатольевич

кандидат технических наук;

профессор, заведующий кафедрой управления информационными системами и цифровой инфраструктурой, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;

E-mail: eisaev@hse.ru

Коровкина Нина Леонидовна

доцент кафедры управления информационными системами и цифровой инфраструктурой,
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;
E-mail: nkorovkina@hse.ru

Лисиенкова Татьяна Сергеевна

преподаватель кафедры управления информационными системами и цифровой инфраструктурой,
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;
E-mail: tlisienkova@hse.ru

Developing an approach to ranking innovative IT projects

Vladimir I. Grekul

E-mail: grekoul@hse.ru

Eugene A. Isaev

E-mail: eisaev@hse.ru

Nina L. Korovkina

E-mail: nkorovkina@hse.ru

Tatiana S. Lisienkova

E-mail: tlisienkova@hse.ru

National Research University Higher School of Economics
Address: 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia

Abstract

Digital transformation is a highly topical task for many companies. Implementation and use of breakthrough technologies are an essential part of this process. Nowadays the terms “innovation” and “information technologies (IT)” are treated as equals insofar as IT is exactly what can provide execution of innovative strategy and the digital transformation of a company’s business.

Due to the high speed of IT market growth and the emergence of new technologies, companies usually implement them without justified selection and prioritization, and this leads to the high rate of failed innovative IT projects. Often such projects fail to result in commercially successful products or services by which a company can distinguish itself from competitors to consumers. Still the most widespread approach for evaluation and ranking of innovative IT projects concentrates on the expected financial outcomes without due attention to strategic alignment of a project.

This research suggests an approach for ranking innovative IT projects in big companies. The approach entails complex evaluation of expected results of projects on the strategic, environmental, organizational and technological domains of a company. This approach is based on a modified Tornyatzy–Fleischer IT innovation adoption model.

During the first stage of research, the term and definition of innovation have been discussed as well as features of innovative IT projects. The second stage is dedicated to comparison analysis of evaluation approaches for innovative projects as well as to choosing an IT adoption model for further adaptation. On the third stage approbation of the method developed been carried out in one of the Russian big IT/internet companies. The results of two-year period of approach approbation have proved its suitability and suggested the prospects for further development.

Key words: innovative IT project; IT innovations; innovation life cycle; innovation adaptation models; innovation adoption models; Tornyatzy–Fleischer TOE model.

Citation: Grekul V.I., Isaev E.A., Korovkina N.L., Lisienkova T.S. (2019) Developing an approach to ranking innovative IT projects. *Business Informatics*, vol. 13, no 2, pp. 43–58. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.2.43.58

References

1. McKinsey and Company CIS (2017) *Digital Russia: new reality*. Available at: <https://www.mckinsey.com/ru/~ /media/mckinsey/locations/europe%20and%20middle%20east/russia/our%20insights/digital%20russia/digital-russia-report.ashx> (accessed 12 September 2018) (in Russian).
2. Bower J.L., Christensen C.M. (1995) Disruptive technologies: Catching the wave. *Harvard Business Review*, no 1, pp. 43–53.
3. Huawei (2018) *Huawei drives convergence of disruptive technologies for digital transformation success*. The Wall Street Journal Partners. Available at: <https://partners.wsj.com/huawei/news/digitally-advanced-traditional-enterprises-will-lead-digital-era/> (accessed 13 September 2018).
4. Blanck T. (2018) *Disruptive innovation as a catalyst for digital transformation*. Available at: <https://www.luxoft.com/podcasts/disruptive-innovation-as-a-catalyst-for-digital-transformation/> (accessed 13 September 2018).
5. Qualman E. (2018) *Digital transformation in the workplace*. Available at: <https://insights.samsung.com/2018/07/05/digital-transformation-in-the-workplace/> (accessed 13 September 2018).
6. Likholetov V.V., Lisienkova L.N., Baranova E.V. (2016) *Virtual tour as a marketing instrument in tourism*. Economics and Innovations Management, no 1, pp. 136–138.
7. Martin W.J. (2017) *The global information society*. Abingdon: Routledge.
8. PWC Consulting (2018) *Global research of digital operations in 2018: “Digital champions”*. Available at: <https://www.pwc.ru/ru/iot/digital-champions.pdf> (accessed 23 November 2018).
9. Rot E. (2010) *Innovations as the way to increasing efficiency*. McKinsey Bulletin. Available at: <http://vestnikmckinsey.ru/strategic-planning/innovacii-put-k-povyshsheniyu-ehffektivnosti> (accessed 23 November 2018) (in Russian).
10. Fisher A. (2014) *Why most innovations are great big failures*. The Fortune. Available at: <http://fortune.com/2014/10/07/innovation-failure/> (accessed 13 December 2018).
11. Nieto-Rodriguez N. (2016) *How to prioritize your company's projects*. Harvard Business Review. Available at: <https://hbr.org/2016/12/how-to-prioritize-your-companys-projects> (accessed 22 November 2018).
12. Fedosova R.N., Pimenov S.V. (2009) Modern instruments for investment projects appraisal. *Vestnik of the Orenburg State University*, no 5, pp. 78–81 (in Russian).
13. Baranchev V.P., Maslemnikova N.P., Mishin V.M. (2015) *Innovations management*. Moscow: Urait (in Russian).
14. Kirsner S. (2017) *The stage where most innovation projects fail*. Harvard Business Review. Available at: <https://hbr.org/2017/04/the-stage-where-most-innovation-projects-fail> (accessed 22 November 2018).
15. OECD (2005) *Statistical office of the European Communities. Oslo Manual: Guidelines for collecting and interpreting innovation data. Third edition*. Available at: <http://www.1-innocert.my/Manual/OSLO%20Manual%20V3%202005-EN.pdf> (accessed 23 November 2018).
16. Schumpeter J. (2008) *Theory of economic development*. Moscow: Eksmo (in Russian).
17. Anshina A.A. (2009) *Innovative management*. Moscow: Delo (in Russian).
18. Kozlovskaya E.A., Demidenko D.S., Yakovleva E.L. (2012) *Economics and innovations management*. Moscow: Ekonomika (in Russian).
19. Santo B. (1990) *Innovation as a mean of economic development*. Moscow: Progress (in Russian).
20. Medysky V.G. (2008) *Innovative management*. Moscow: Infra-M (in Russian).
21. Barysheva A.V., Baldin K.V., Galditskaya S.N., Ischenko I.I. (2013) *Innovations*. Moscow: Dashkov & Co. (in Russian).
22. Glukhov V.V. (2003) *Economics of knowledge*. Saint Petersburg: Piter (in Russian).
23. Twiss B. (1989) *Management of scientific and technical innovations*. Moscow: Ekonomika (in Russian).
24. OECD (2015) *Frascati Manual 2015: Guidelines for collecting and reporting data on research and experimental development. The measurement of scientific, technological and innovation activities*. Available at: https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/frascati-manual-2015_9789264239012-en#page1 (accessed 21 November 2018).
25. Edison H., Bin Ali N., Torkar R. (2013) Towards innovation measurement in the software industry. *Journal of Systems and Software*, vol. 86, no 5, pp. 1390–1407.
26. Sotavov A.K. (2016) *Improvement of innovations project management methods in the sphere of information technologies*. Doctoral thesis. Saint Petersburg (in Russian).
27. Renkema T.J.W., Berghout E.W. (1997) Methodologies for innovation evaluation at the proposal stage: a comparative review. *Innovation Technology*, vol. 39, no 1, pp. 1–13.
28. Mumford M.D., Bedell-Avers K.E., Hunter S.T. (2008) Planning for innovation: A multi-level perspective. *Research in Multi-Level Issues*, vol. 7, pp. 107–154.
29. Stevens S.S. (1946) *On the theory of scales of measurement*. Science. New Series. Available at: http://psychology.okstate.edu/faculty/jgrice/psyc3214/Stevens_FourScales_1946.pdf (accessed 25 November 2018).
30. Davis F.D. (1989) Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, vol. 13, no 3, pp. 319–340.
31. Venkatesh V., Morris M.G., Davis G.B., Davis F.D. (2003) User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, vol. 27, no 3, pp. 425–478.
32. Rogers E.M. (2010) *Diffusion of innovations*. N.Y.: Simon and Schuster.
33. Ajzen I. (1991) The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, vol. 50, no 2, pp. 179–211.
34. Tornatzky L.G., Fleischer M., Chakrabarti A.K. (1996) *Processes of technological innovation*. Lanham: Lexington Books.

35. Kuan K., Chau P. (2001) A perception-based model for EDI adoption in small businesses using a technology–organization–environment framework. *Information & Management*, vol. 38, no 8, pp. 507–521.
36. Pan M.J., Jang W.Y. (2008) Determinants of the adoption of ERP within the technology–organization–environment framework: Taiwan’s communications industry. *Journal of Computer Information Systems*, vol. 48, no 3, pp. 94–102.
37. Lim K.H. (2009) Knowledge management systems diffusion in Chinese enterprises: A multistage approach using the technology–organization–environment framework. *Journal of Global Information Management*, vol. 17, no 1, pp. 70–84.
38. Mutanov G.M., Esengalieva Zh.S. (2012) Method for assessing the innovativeness and competitiveness of innovative projects. *Fundamental Research*, vol. 3, no 3, pp. 712–717 (in Russian).
39. Sergeev V.A., Kipcharkaya E.V., Podymalo D.K. (2010) *Fundamentals of innovation design*. Ulyanovsk: UISTU (in Russian).
40. Linton J.D., Walsh S.T., Morabito J. (2002) Analysis, ranking and selection of R&D projects in a portfolio. *R&D Management*, vol. 32, no 2, pp. 139–148.
41. Osterwalder A. (2013) *A better way to think about your business model*. Harvard Business Review. Available at: <https://hbr.org/2013/05/a-better-way-to-think-about-yo> (accessed 26 November 2018).
42. Rubenchik A. (2014) Modeling of enterprise architecture. ArchiMate language overview. *Information Management*, no 6, pp. 55–59 (in Russian).
43. Zaramenskih E.P. (2018) *Enterprise architecture*. Moscow: Urait (in Russian).

About the authors

Vladimir I. Grekul

Cand. Sci. (Tech.);

Professor, Department of Information Systems and Digital Infrastructure Management,
National Research University Higher School of Economics, 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;
E-mail: grekoul@hse.ru

Eugene A. Isaev

Cand. Sci. (Tech.);

Professor, Head of Department of Information Systems and Digital Infrastructure Management,
National Research University Higher School of Economics, 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;
E-mail: eisaev@hse.ru

Nina L. Korovkina

Associate Professor, Department of Information Systems and Digital Infrastructure Management,
National Research University Higher School of Economics, 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;
E-mail: nkorovkina@hse.ru

Tatiana S. Lisienkova

Lecturer, Department of Information Systems and Digital Infrastructure Management,
National Research University Higher School of Economics, 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;
E-mail: tlisienkova@hse.ru

Готовность компании к цифровым преобразованиям: проблемы и диагностика

О.И. Долганова

E-mail: oidolganova@fa.ru

Е.А. Деева

E-mail: eadeeva@fa.ru

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации
Адрес: 105187, г. Москва, ул. Щербаковская, д. 38

Аннотация

Цифровая трансформация является одной из основных тенденций развития бизнеса в современной экономике. В статье рассматриваются основные проблемы, с которыми сталкиваются российские компании в ходе цифровых преобразований своей деятельности, и инструментарий предварительной диагностики готовности компании к таким преобразованиям.

На основе анализа и синтеза информации из отчетов российских и международных исследовательских и консалтинговых компаний, а также опираясь на результаты научных исследований российских и иностранных специалистов, авторами выявлено семь ключевых, наиболее типичных проблем, с которыми могут столкнуться большинство российских компаний на начальных этапах реализации проектов цифровой трансформации. Выявленные проблемы проранжированы по степени значимости для успешного осуществления цифровых преобразований.

Для эффективной реализации цифровой трансформации авторами предлагается использовать архитектурный подход в соответствии с рекомендациями стандарта TOGAF, позволяющий управлять изменениями комплексно, учитывая потребности, возможности и ограничения как бизнес-системы, так и ИТ-инфраструктуры.

В работе обоснована необходимость проведения диагностики готовности компании на начальной стадии цифровых преобразований. Такая диагностика позволяет выявить существующие внутренние ограничения, которые могут стать препятствием на пути достижения желаемого результата цифровой трансформации. Для определения основных неблагоприятных явлений, причин и проблем организаций с низким уровнем цифровой зрелости в работе реализован метод построения дерева текущей реальности – аналитический инструментарий для изучения причинно-следственных связей, имеющих нежелательные особенности. Даны практические рекомендации по классификации причин и проблем цифровой трансформации компании для проведения более детальной оценки ее готовности к преобразованиям и разработки плана перехода к желаемому состоянию бизнес-системы и ИТ-инфраструктуры.

Предложенный подход позволит организациям выявить свои проблемные зоны, опираясь на консолидированный опыт других компаний, а также определить возможность их корректировки для создания благоприятных условий для цифровых преобразований.

Ключевые слова: цифровая трансформация; цифровое преобразование; архитектурный подход; оценка готовности; проблемы цифровой трансформации; цифровая стратегия; дерево текущей реальности; TOGAF.

Цитирование: Долганова О.И., Деева Е.А. Готовность компании к цифровым преобразованиям: проблемы и диагностика // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 2. С. 59–72. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.2.59.72

Введение

Современные возможности информационно-коммуникационных технологий позволяют компаниям кардинальным образом менять свою деятельность, создавать принципиально новые продукты и услуги, эффективнее взаимодействовать с клиентами. Как отмечается в исследованиях Центра цифрового бизнеса Массачусетского технологического университета [1], Forbes Insights и Hitachi [2] и International Data Group (IDG) [3], для достижения конкурентных преимуществ многим компаниям необходимо существенно изменить операционные процессы, внедрить ИТ-решения, позволяющие преобразовать цифровое взаимодействие с клиентами, а в некоторых случаях – изменить существующую бизнес-модель. Высокий уровень предоставляемых продуктов и услуг достигается за счет персонализации, кастомизации, улучшенной функциональности, усовершенствованной логистики, креативных моделей получения дохода, а также инновационного дизайна и приложений. Этот уровень включает внешние элементы, которые компания интегрирует в свое решение для создания дополнительной стоимости [4]. Все это рекомендуется осуществлять с помощью цифровой трансформации (ЦТ) бизнеса, которая в конечном счете позволяет извлечь такие выгоды, как рост выручки и увеличение прибыли [5]. Поскольку сегодняшний ИТ-рынок предоставляет большое разнообразие продуктов и решений в этой области, каждая компания может выбрать свой уникальный путь преобразований.

При трансформации деятельности компании возникает стратегическая точка перелома, после которой компания должна следовать новой стратегической концепции [6]. От выбора того или иного пути, правильной оценки возможностей и ограничений зависит будущее: ожидаемый рост или провал. Многие компании, стремясь осуществить цифровую трансформацию быстрее, чтобы не упустить возможности выхода на новые рынки или просто сохранить уже имеющиеся позиции, следуют за лидерами или внедряют наиболее «модные» ИТ-решения. Однако, согласно циклу ажиотажа (иначе «кривая хайпа») [7], разработанного аналитической компанией Gartner, большая часть новых информационных технологий развиваются по кривой, состоящей из последовательности состояний зрелости технологий: запуск технологии (инновационный триггер) – пик завышенных ожиданий –

нижняя точка разочарования – склон просвещения – плато производительности. Ключевые технологии цифровой трансформации, – блокчейн, интернет вещей, виртуальная реальность, роботизация, цифровые платформы, большие данные, машинное обучение [3, 8], – находятся на пике кривой или в падении в точку разочарования.

Существует большое разнообразие моделей поведения фирм, когда речь идет о цифровом развитии. Некоторые реализуют серию пилотных проектов, не добиваясь ощутимого результата. Кто-то выбирает выжидательную позицию и наблюдает за тем, как лидеры рынка внедряют технологии, находящиеся на стадии запуска или на пике завышенных ожиданий. И только когда технология достигает плато производительности, решаются на использование этих технологий у себя. При этом они упускают время, а значит и конкурентное преимущество. Любые коренные изменения функционирующего бизнеса сопряжены с большими рисками. Но многие эксперты, как и вице-президент компании Infosys Джефф Кавано (Jeff Kavanaugh) считают, что «цифровая трансформация – это путешествие, для успешного выполнения которого требуется нечто большее, чем обычный план действий» [10].

Однако организации могут усугубить свое положение, создавая более сложные ИТ-системы, разворачивая новые функции и сервисы без четкой дорожной карты, не понимая, что и как работает у них в компании сейчас. Исследования McKinsey [11] демонстрируют некоторую тенденцию обратного эффекта от реализации цифровых изменений для подобных компаний. Качество управления бизнес-процессами снижается, сервисы используются реже, при этом организация испытывает большие трудности в управлении существующими информационными системами и бизнес-процессами. Это объясняется недостаточной цифровой зрелостью компании, осуществляющей цифровые преобразования, что не позволяет увеличить рыночную стоимость компании, но усложняет ее функционирование [12].

В практических исследованиях эксперты говорят о необходимости оценки цифровой зрелости компании [4, 5, 13, 14], поскольку она позволяет определить возможности, риски, сильные и слабые стороны компании в области цифровых преобразований, а также сформулировать перечень первостепенных мероприятий, которые необходимо осуществить для обеспечения условий эффективной реализации цифровой трансформации.

В существующих работах по управлению цифровой трансформацией наблюдается тенденция локальной

проработки методов оценки зрелости реализации проектов цифровых преобразований. В качестве примеров можно привести разработку модели цифровой зрелости для предприятий обрабатывающей промышленности, совершенствующих цепочку поставок [15], а также решение задачи оценки готовности ИТ-подразделения к цифровой трансформации [16]. Подходы и методы управления подобными преобразованиями, вопросы предварительной диагностики готовности компании в целом проработаны недостаточно глубоко. А неготовность организации к цифровой трансформации – это одна из главных причин неудачи, которая может стать результатом таких преобразований [17].

Как показал анализ литературы в области цифровой трансформации, исследования в этой области в основном ведутся аналитическими и консалтинговыми компаниями, которые являются экспертами в области ИТ- и бизнес-консультирования, а также практиками конкретной отраслевой принадлежности. Академической научной литературы по данному вопросу довольно мало, с небольшим количеством концептуальных и эмпирических исследований.

При этом большая часть российских компаний, как и в других развивающихся или развитых странах (Германия, Китай, США) находятся на довольно низком уровне цифровой зрелости [18]. В *таблице 1* приведены данные нескольких стран по трем первым уровням цифровой зрелости из пяти, где показано, что 38% российских компаний занимают две нижние категории: отстающие (1%) и ведомые (37%). Это означает, что большинство из них не имеют соответствующего стратегического плана и пока только задумываются о цифровых преобразованиях.

Поэтому целями данной работы являются выявление ключевых проблем, с которыми могут столкнуться

российские компании, начинающие цифровую трансформацию, а также разработка подхода к оценке готовности компании к ЦТ. В связи с поставленными целями решены следующие задачи:

- ◆ анализ международного и российского опыта и выявление наиболее характерных проблем, препятствующих коренным изменениям деятельности компании с помощью информационных технологий;
- ◆ ранжирование выявленных проблем по степени важности и определение причинно-следственных связей их возникновения;
- ◆ разработка алгоритма оценки готовности компании к цифровым преобразованиям в рамках первого этапа архитектурного проектирования.

1. Методы и подходы к исследованию проблем цифровой трансформации

Для обеспечения эффективности изменений в ИТ-инфраструктуре и в бизнес-среде компании, а также для расстановки приоритетов и последовательности выполнения проектов необходима координация цифровой трансформации на стратегическом уровне. Как отмечалось ранее, подобные преобразования затрагивают не только ИТ-область, но и бизнес-процессы и организационную структуру компании. Поэтому трансформация должна быть согласована с другими инициативами компании, через операционные и функциональные стратегии [19]. Рекомендуемая связь между стратегией цифровой трансформации (иначе – цифровой стратегии) и другими корпоративными стратегиями представлена на *рисунке 1*.

Таблица 1.

Уровень цифровой зрелости разных стран¹

Уровень зрелости	Россия	Германия	Китай	Польша	США	Среднее мировое значение
Laggards (отстающие): у предприятий нет цифрового плана, есть ограниченные инициативы и инвестиции	1%	9%	9%	3%	8%	9%
Followers (последователи, ведомые): предприятия делают очень мало цифровых инвестиций; предварительное планирование на будущее	37%	33%	25%	31%	23%	30%
Evaluator (оценивающие): бизнес постепенно переходит к цифровой трансформации, планированию и инвестированию в будущее	36%	31%	36%	37%	25%	33%
ИТОГО	74%	73%	70%	71%	56%	72%

¹ Составлено авторами по данным глобального исследования Dell



Рис.1. Связь между стратегией цифровой трансформации и другими корпоративными стратегиями

Стратегия цифрового преобразования преследует несколько иные цели, чем традиционная ИТ-стратегия. В отличие от последней, ориентированной на ИТ-управление в компании, но практически не учитывающей изменения бизнес-среды, стратегия цифровой трансформации сосредотачивается на преобразовании продуктов, услуг, процессов и организационных компонент за счет внедрения информационных технологий. Так она объединяет в себе бизнес- и ИТ-стратегию.

Применение архитектурного подхода обеспечивает создание структурированных расширяемых знаний о компании в трех проекциях: бизнес-архитектура, архитектура информационных систем и технологическая архитектура организации. Поэтому для обеспечения стратегического контента развития существующих и реализации новых возможностей в ответ на постоянно меняющиеся потребности бизнеса целесообразно действовать через построение архитектуры организации [20]. Архитектурный подход позволяет построить текущую и целевую архитектуры предприятия, определить оптимальный вариант перехода и обеспечить надлежащее управление этим переходом, учитывая возможности и потребности бизнес-системы, информационной системы и ИТ-инфраструктуры [21]. В исследуемых источниках для управления реализацией цифровой стратегии предлагаются схожие подходы, которые указывают на необходимость последовательного выполнения таких действий, как разработка видения, оценка готовности, определение целевого состояния, разработка плана перехода, реализация перехода и оценка эффективности изменений [4, 22, 23].

Принципы и методы управления архитектурой предприятия сегодня определяются многи-

ми фреймворками, стандартами и методологиями [24]. К ним, например, относятся модель Захмана, TOGAF, FEAF, CIMOSA, IAF, методики Gartner (GEAF), McKinsey, META Group, Microsoft [24, 25]. В результате анализа специфики применения каждого из приведенных подходов, их характеристик, а также учитывая возможность доступа к их описанию в открытых источниках, для построения архитектуры компании авторами предлагается использовать стандарт TOGAF [23]. Он разработан на основе бенчмаркинга большого числа практиков, поддерживает различные уровни абстракции, имеет формализованный язык описания и систему обозначений, содержит подробное описание процесса разработки архитектуры (The Architecture Development Method, ADM), а также рекомендации по управлению архитектурой. Кроме того, подробное описание данного фреймворка есть в открытом доступе на официальном сайте компании-разработчика – The Open Group.

В рамках метода разработки и управления жизненным циклом архитектуры организации ADM TOGAF одной из главных фаз, которая должна реализовываться для любой компании независимо от ее специфики, является разработка архитектурного видения (рисунок 2). В ходе реализации этой фазы осуществляется оценка готовности компании к цифровой трансформации. На следующем этапе проводится оценка возможностей бизнеса, ИТ и зрелости архитектуры предприятия. Понимание степени готовности компании к цифровым изменениям, выявление проблем и определение плана их решения позволяет реализовывать процессы цифровой трансформации более результативно.

Именно на начальном этапе анализа готовности компании к цифровой трансформации, когда этот проект еще не запущен, оптимальным является применение методов предварительной диагностики. Она необходима для установления причинно-следственных связей выявленных проблем и определения возможных мер по устранению причин возникновения данных препятствий.

Под диагностикой будем понимать установление и изучение признаков и факторов, характеризующих состояние объекта с целью выявления возможных отклонений, причин их появления и предотвращения основных нарушений в его нормальном функционировании [26].

Аналитической базой данной работы служили отчеты российских и международных исследовательских и консалтинговых компаний, а также ре-

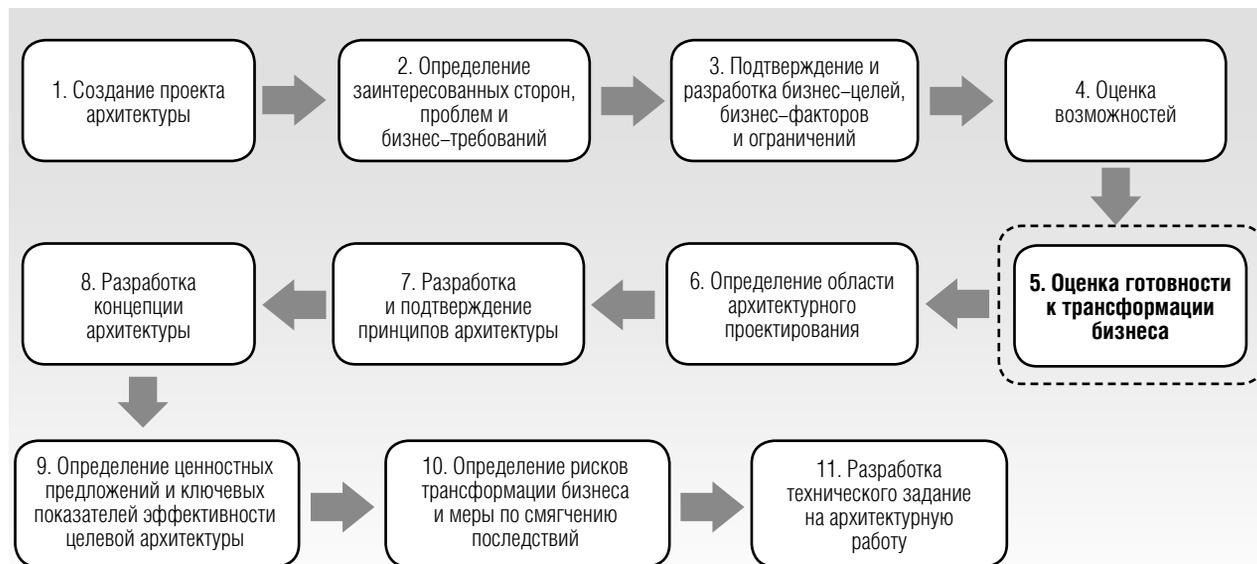


Рис. 2. Последовательность шагов фазы А «Разработка архитектурного видения»

зультаты научных исследований российских и иностранных специалистов.

В ходе анализа, выявления и систематизации ключевых проблем и факторов, препятствующих эффективной цифровой трансформации, авторы придерживались концепции, изложенной в методологии ВТЕР [27], которая была разработана в рамках государственной программы Канады для поддержки трансформации бизнеса. Кроме того, были учтены рекомендации Dell [18] и Массачусетского технологического университета по оценке цифровой зрелости компании [28]. Для определения российской специфики были исследованы данные, приведенные в отчетах Dell, KPMG, Docflow, PWC и KMDA [18, 29–31].

Ранжирование проблем по степени значимости для успешного осуществления трансформации было осуществлено с помощью метода приоритета проблем. В целях приведения к единой системе оценки использовалось нормирование анализируемых данных (результаты опросов руководителей и топ-менеджеров российских организаций в рамках упомянутых выше исследовательских отчетов).

При определении причинно-следственных связей проблем ЦТ, был применен аналитический инструмент, предложенный Голдраттом – дерево текущей реальности [32]. С его помощью были выявлены характерные черты компаний с невысоким уровнем цифровой зрелости, корректировка которых позволит решить ключевые проблемы.

2. Определение ключевых проблем, характерных для российских компаний, начинающих цифровые преобразования

На пути любой организации, даже обладающей высокой цифровой зрелостью, есть препятствия, которые она должна преодолеть. Тем более это касается компаний, которые только начинают свое цифровое преобразование. В результате проведенного анализа были выявлены и проранжированы наиболее распространенные проблемы, с которыми могут столкнуться российские компании в ходе реализации проектов цифровой трансформации (таблица 2).

2.1. Недостаточная зрелость бизнес-процессов

Под недостаточной зрелостью бизнес-процессов понимается низкий уровень процессного управления в компании, где не определены и не регламентированы основные и вспомогательные процессы, их автоматизация осуществляется хаотично, имеет локальный характер, процессы не адаптированы под планируемые к внедрению новые технологии [33]. Прозрачность и четкость распределения обязанностей и ответственности между участниками проекта трансформации позволяет привлечь к участию большинство заинтересованных сторон, тем самым обеспечив необходимыми взаимодействиями и совместную деятельность, направленную на достижение стратегических целей. Одной из главных проблемных зон также является неспособность

Таблица 2.

**Ранжирование по степени важности проблем,
возникающих в российских компаниях
в ходе цифровой трансформации**

Рейтинг	Проблема	Dell	PWC	KMDA	Docflow	KPMG	Количество ответов	Среднее значение
1	Недостаточная зрелость бизнес-процессов	н/д	0,82	н/д	0,75	1,00	3	0,86
2	Отсутствие необходимых ИТ-навыков и знаний	0,58	1,00	1,00	0,74	0,84	5	0,83
3	Отсутствие согласованной цифровой стратегии с видением бизнеса	0,42	0,96	0,83	1,00	н/д	4	0,80
4	Недостаточное финансирование	1,00	н/д	0,61	н/д	0,50	3	0,70
5	Устаревшие технологии, отсутствие интеграции новых с существующими технологиями	0,46	0,68	н/д	н/д	0,55	3	0,56
6	Недостаточная вовлеченность руководства	0,42	н/д	0,49	0,61	н/д	3	0,51
7	Незрелая цифровая культура	0,54	н/д	н/д	0,39	0,55	3	0,49

привлечь к работе над цифровым преобразованием сотрудников, непосредственно работающих с клиентами и партнерами [34]. Чем больше вовлечение сотрудников в трансформацию, чем выше их мотивация меняться вместе с внедряемыми технологиями, тем успешнее проходят преобразования. Практика показывает, что чем ниже этот фактор, тем меньше положительных эффектов получает компания от подобных преобразований.

Согласованность действий ИТ-подразделения с другими структурными единицами компании также является критерием зрелости бизнес-процессов при цифровой трансформации. Важность данного фактора отмечает примерно каждый четвертый представитель бизнеса [3, 18, 28].

2.2. Отсутствие необходимых ИТ-навыков и знаний

При оценке данного фактора внимание рекомендуется уделять навыкам ИТ-подразделения, зрелости ИТ-процессов, анализу принципов, подходов и методов, которые используются для разработки и реализации подобных проектов. Сложности, связанные с особенностями и возможностями управления ИТ в компании, вызывают обеспокоенность многих представителей компаний [35]. Важным показателем готовности к ЦТ является наличие у компании собственных ИТ-компетенций для:

- ♦ оценки потребностей бизнеса в ИТ и быстрого реагирования на их изменения;

- ♦ обеспечения с помощью ИТ эффективного функционирования бизнес-подразделений;

- ♦ обеспечения интеграции новых технологий в существующую ИТ-инфраструктуру компании;

- ♦ управление реализацией цифровой трансформацией в части, касающейся изменения ИТ-инфраструктуры и ее сервисов;

- ♦ определения оптимального способа реализации цифровых преобразований с учетом требований безопасности информации и данных, а также целевых показателей эффективности трансформации.

2.3. Отсутствие цифровой стратегии, согласованной с видением бизнеса

Четкое определение стратегических целей компании, достижение которых возможно за счет реализации ЦТ, демонстрирует зрелость организации в данной области. Поскольку ИТ являются инструментом удовлетворения потребностей бизнеса, цифровые инициативы и подход к трансформации должны быть четко определены на уровне всей организации. Однако от 33 до 53% компаний, вступающих на путь цифровой трансформации, не имеют соответствующих стратегии и видения [3, 30, 31].

Компании с невысоким уровнем цифровой зрелости реализуют отдельные ИТ-инициативы для поддержки определенных бизнес-целей [36]. Это происходит вследствие того, что нет единого видения будущей архитектуры организации, не определены целевые показатели, для достижения которых осуществляется трансформация. Такие решения крайне редко оказывают прямое положительное влияние на бизнес. Довольно часто российские компании принимают решение о ЦТ, не проводя анализ потребностей бизнеса, то есть без объективного экономического обоснования необходимости данных изменений [4]. Более эффективным видится движение от бизнес-задач к выбору технологии для внедрения [29]. Сначала должны быть сформулированы цели и желаемый результат, который компания хочет получить с помощью цифровых преобразований, затем определяются источники создания ценности, выбираются конкретные ИТ-решения. С помощью этого подхода в условиях ограниченных ресурсов и компетенций выстраиваются и оптимизируются процессы, в рамках которых можно обеспечить увеличение стоимости бизнеса.

Также практика показывает, что в рамках подготовительных мероприятий не изучаются возможные потери от частичного или полного отказа от проекта цифровой трансформации. Однако в соответствии с ADM TOGAF такая работа должна выполняться на предварительной фазе, то есть к моменту оценки готовности: потенциальные возможности и упущенные выгоды должны быть уже сформулированы, чтобы дальнейшая работа осуществлялась с учетом этих показателей.

Другим важным критерием готовности компании к цифровым преобразованиям является возможность управления цифровыми компетенциями и координации проектов ЦТ на уровне компании [29].

2.4. Недостаточное финансирование

В молодых (с точки зрения цифровой зрелости) компаниях финансирование ИТ-проектов осуществляется по запросу, без долгосрочного планирования. Данный показатель, на наш взгляд, тесно связан с описанными выше факторами, поскольку невозможно осуществлять инвестиционное планирование трансформации, если нет единой дорожной карты. Это подтверждается результатами опросов представителей зарубежных и российских компаний, которые указывают на недостаточное финансирование как одну из главных проблем [5, 18, 28].

2.5. Устаревшие технологии, отсутствие интеграции новых и существующих технологий

От гибкости настраивания, интеграционных возможностей и масштабирования во многом зависит эффективность применения ИТ-решений. Классические решения, позволяющие осуществлять интеграцию «точка-в-точку» или интеграционные шины данных не позволяют в полном объеме использовать возможности технологий, которые могут коренным образом изменить деятельность компании и дать ей конкурентные преимущества. Для этого ИТ-архитектура должна быть реализована на принципах API, обеспечивая микросервисную архитектуру и интеграцию, как внутри, так и с внешними партнерскими ресурсами. Такая ИТ-архитектура является критически важной основой для внедрения новых технологий в организации [5, 37].

2.6. Недостаточная вовлеченность руководства компании

Вовлеченность высшего руководства в трансформационный процесс и его прямая заинтересованность показывает, насколько серьезны намерения компании осуществить цифровое преобразование. Это является серьезной проблемой, возникающей на пути достижения эффективности ЦТ в российских компаниях [17, 31]. От этого зависит не только успех всего проекта и его доведение до конца, но и уверенность сотрудников организации в том, что компания движется в верном направлении.

Также важно определить, берет ли топ-менеджер на себя функции партисипативного (участвующего) вдохновляющего лидера, для обеспечения реализации проекта в соответствии со стратегическими целями компании [5].

2.7. Незрелая цифровая культура

Процесс принятия решений ускоряют поощрение культурной инновации за счет создания и применения междисциплинарных групп, создание учебных групп, объединяющих цифровое поколение и опытных сотрудников, а также наличие горизонтальных иерархий, которые способствуют гибкой работе [5]. Больше трети компаний, которые начинают или уже активно вовлечены в процесс цифровой трансформации уделяют этому фактору большое внимание. При этом каждый второй лидер цифровых преобразований уже делает все необходимое для форми-

рования такой корпоративной культуры. Наличие горизонтальных иерархий, непрерывного обучения сотрудников с целью повышения уровня цифровой культуры, тесного внутрикорпоративного сотрудничества и взаимодействия, гибкой системы мотивации, высокой скорости принятия решений и команды, ориентированной на результат, позволит компании быстрее преодолеть сложности переходного периода и выйти на эффективное применение новых технологий.

3. Определение и классификация причинно-следственных связей проблем цифровой трансформации

В результате детального изучения причинно-следственных связей вышеперечисленных проблем были выявлены их причины и характерные неблагоприятные явления. С помощью дерева текущей реальности они были систематизированы. Пример дерева

текущей реальности представлен на двух взаимосвязанных и взаимодополняющих *рисунках 3 и 4*.

Для отображения причинно-следственных отношений на *рисунках 3 и 4* использованы стрелки, направленные от причины к следствию. Таким образом, нами сформулировано 40 утверждений (нежелательных явлений, причин и проблем), объединенных причинно-следственными связями.

4. Определение сложности и возможности устранения выявленных проблем и причин их возникновения

Для определения плана мероприятий по повышению степени готовности компании к цифровым преобразованиям предлагается применить метод анализа проблем и причин их возникновения Голдратта [32]. Для этого все проблемы и причины их возникновения рекомендуется разбить на три груп-

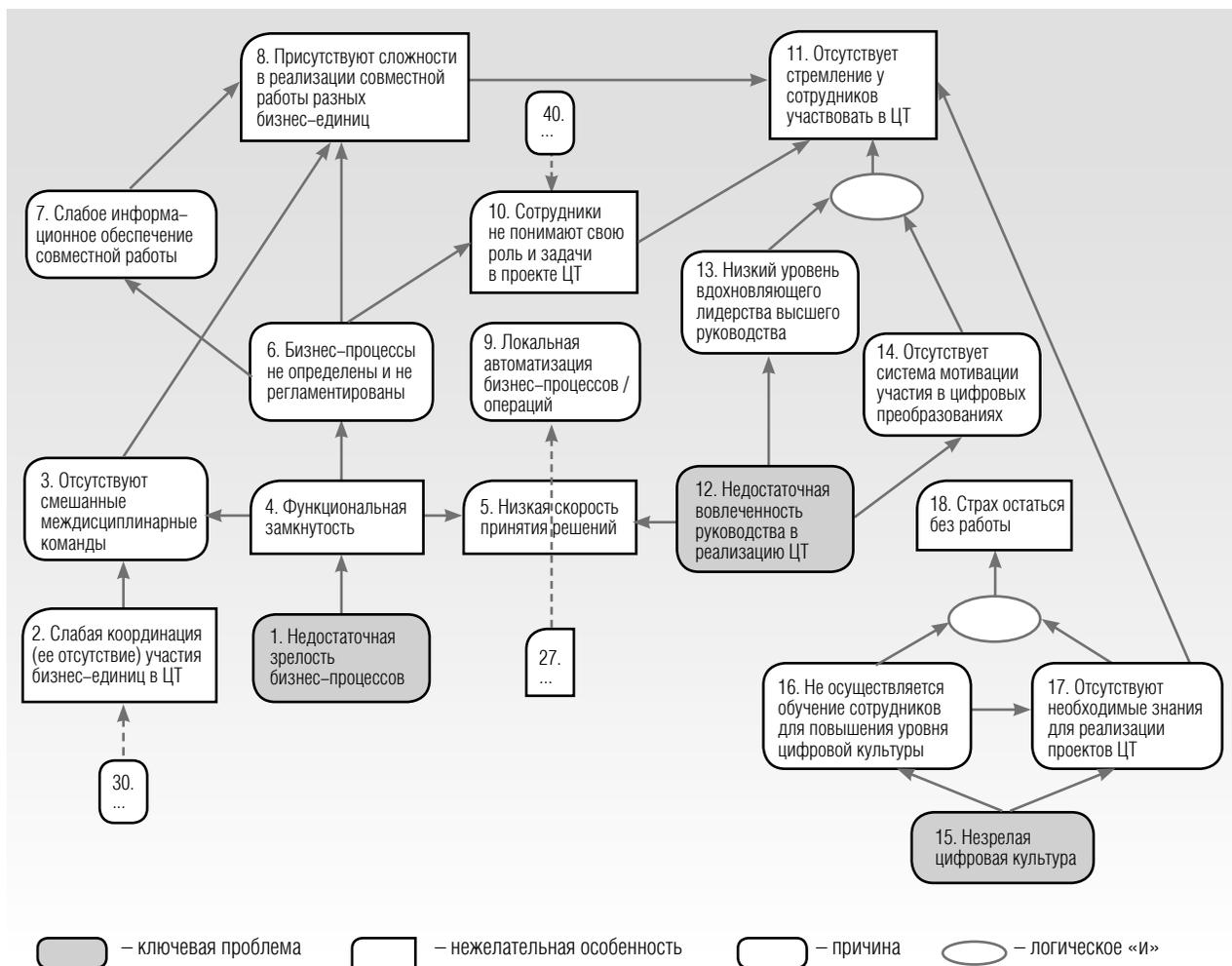


Рис. 3. Дерево текущей реальности проблем цифровой трансформации (часть 1)

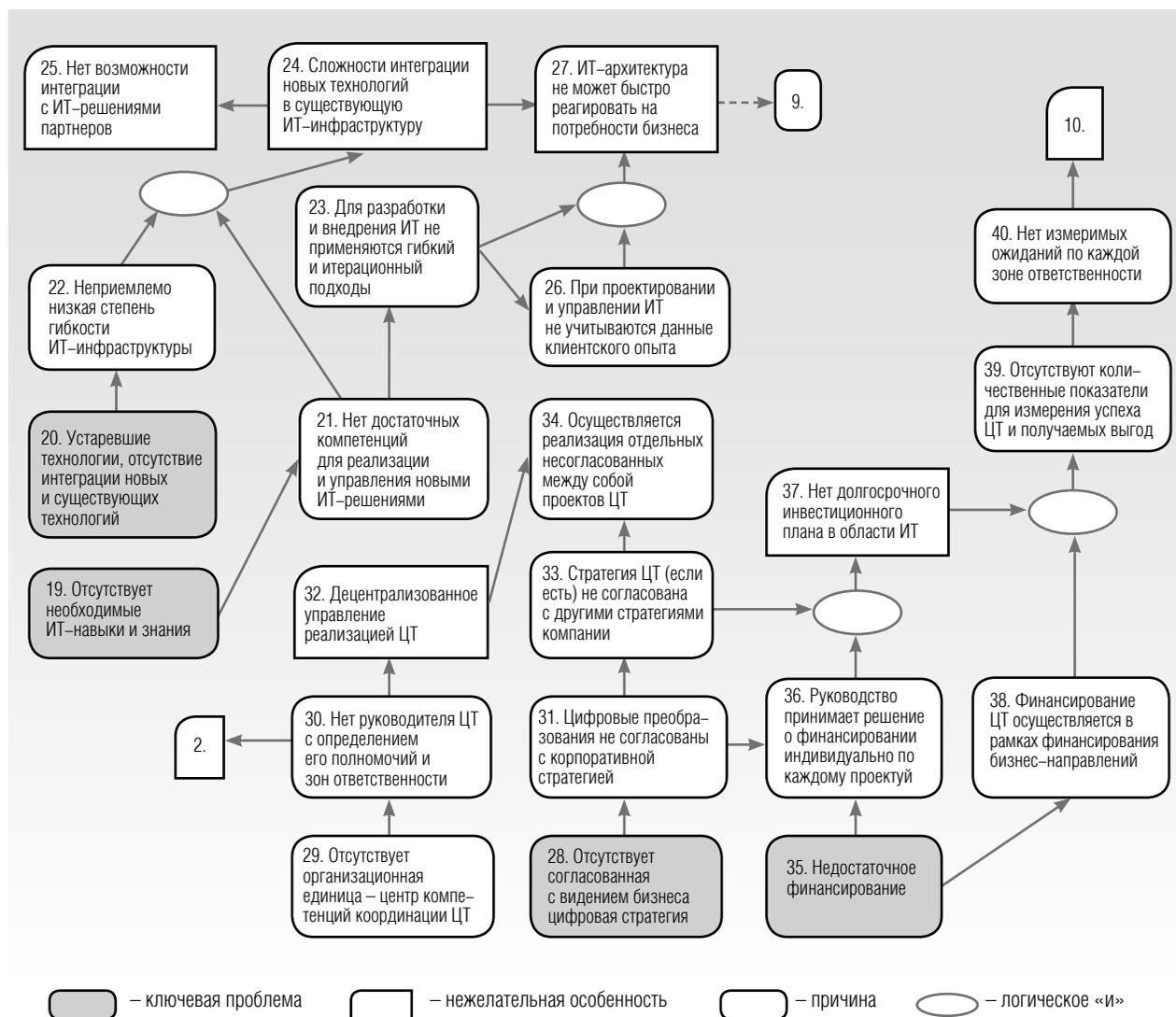


Рис. 4. Дерево текущей реальности проблем цифровой трансформации (часть 2, продолжение)

пы: 1) зона контроля; 2) сфера влияния (данная область деятельности не находится непосредственно в нашем ведении); 3) вне сферы влияния. Если нежелательные явления и причины находятся в зоне контроля, то мы можем на них воздействовать как угодно. Если проблема и причины ее возникновения находятся в области сферы влияния, то решить ее можно только через убеждение лица, принимающего решение. Проблемы и причины, находящиеся вне сферы влияния, решить самостоятельно или повлиять на лицо, принимающее решение в данной области, уже не получится. В этом случае рекомендуется сосредоточиться на решении посильных задач.

Классифицируя таким образом причины и проблемы, можно определить, какие из них возможно

решить или уменьшить их воздействие на результат преобразований. Также можно определить, сколько и какой степени важности проблемы оказались вне сферы влияния. Такими проблемами часто являются незаинтересованность руководства компании в ЦТ, низкая зрелость процессного управления, устаревшая ИТ-инфраструктура. Если довольно важные проблемы оказались в данной категории в значительном количестве, то следует признать, что компания не готова к подобной трансформации и вероятность неудачи довольно высока.

Таким образом, на основе вышеизложенного предлагается следующий подход к диагностике готовности компании к цифровой трансформации на предварительной стадии реализации архитектурного проекта:

Этап 1: Определение ключевых препятствий на пути цифровой трансформации, на основе проранжированного перечня типовых проблем российских компаний с низким уровнем цифровой зрелости;

Этап 2: Определение причин возникновения данных проблем, с использованием предложенного авторами дерева текущей реальности (адаптировав его с учетом особенностей бизнеса конкретной компании);

Этап 3: Определение сложности и возможности устранения выявленных причин и проблем и разработка плана мероприятий по переходу к желаемому уровню готовности.

Заключение

В результате проведенного исследования была доказана необходимость проведения предварительной диагностики готовности компании к цифровой трансформации. Это позволит организациям оценить свои возможности и ограничения, которые накладываются текущей организационной структурой, принципами управления, финансовыми, человеческими и ИТ-ресурсами. Обоснована эффективность применения архитектурного подхода для проектирования и реализации ЦТ деятельности компании, в рамках которого организация рассматривается как совокупность элементов бизнес-архитектуры, информационной и технологической архитектур. На стадии предварительного анализа готовности компании к подобным преобразованиям такой подход позволяет комплексно исследовать особенности текущего состояния организации, сформулировать целевую модель, а также план перехода из текущего в целевое состояние.

По результатам анализа ряда исследований определены и проранжированы основные проблемы, с которыми сталкиваются российские компании, начинающие или уже реализующие цифровые преобразования своей деятельности. Полученный рейтинг позволяет оценить важность той или иной проблемы при диагностике готовности конкретной компании к трансформации.

С помощью метода анализа проблем авторы выделили 21 типовую причину возникновения проблем, характерных для многих российских компаний. Построенное дерево текущей реальности обобщает опыт российских и зарубежных компаний в области идентификации причинно-следственной связи

между особенностями ведения бизнеса компаний невысокого уровня зрелости и проблемами, с которыми они сталкиваются в ходе изменения своей деятельности путем внедрения новых информационных технологий. Сформулированный перечень с взаимосвязями нежелательных явлений, причин и проблем, как и само дерево текущей реальности могут быть использованы при диагностике текущего состояния компании в качестве отправной точки для построения собственного уникального списка особенностей, препятствующих эффективной трансформации.

Предложенное последующее деление причин и проблем на три категории по возможности их устранения позволяет более детально проанализировать текущую готовность компании к преобразованиям, а также определить мероприятия, направленные на корректировку архитектуры организации в соответствии с требованиями трансформационного процесса.

Таким образом, авторами предложен подход к предварительной диагностике готовности компании к цифровым преобразованиям, которая в соответствии с рекомендациями стандарта TOGAF должна осуществляться в рамках формирования архитектурного видения компании на начальном этапе реализации трансформационного проекта.

Полученные авторами результаты и сформулированные предложения имеют существенное прикладное значение, поскольку позволяют провести предварительную комплексную оценку деятельности организации с точки зрения ее готовности к реализации цифровой трансформации с целью достижения положительного экономического эффекта. Разработанный подход к диагностике может быть применен в любой организации, в том числе и в той, которая только задумывается о некоторых коренных преобразованиях за счет внедрения ИТ. Таким образом, компания выявит, с какими проблемами она может столкнуться, какие из них окажут наибольшее воздействие на результат и какие усилия необходимо приложить для создания оптимальных условий цифровой трансформации ее бизнеса. ■

Благодарности

Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет средств Научного фонда Финансового университета при Правительстве Российской Федерации.

Литература

1. Westerman G., Calm ejane C., Bonnet D., Ferraris P., McAfee A. Digital transformation: A roadmap for billion-dollar organization // MIT Center for Digital Business and Capgemini Consulting, 2011. [Электронный ресурс]: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2017/07/Digital_Transformation__A_Road-Map_for_Billion-Dollar_Organizations.pdf (дата обращения 12.11.2018).
2. The business landscape for digital transformation. Hitachi and Forbes Insights global research // Hitachi Data Systems Corporation, 2016. [Электронный ресурс]: https://www.osp.ru/netcat_files/18/10/BizLandscape_for_DT_Forbes_IN_SHARE_Forbs_survey_results.pdf (дата обращения 08.12.2018).
3. State of digital business transformation // IDG Communications, 2018. [Электронный ресурс]: https://cdn2.hubspot.net/hubfs/1624046/Digital%20Business%20Executive%20Summary_FINAL.pdf (дата обращения 04.12.2018).
4. Комплексный подход к цифровой трансформации производственных предприятий // PwC, Siemens PLM Software, 2017. [Электронный ресурс]: https://www.PwC.ru/publications/PwC_Siemens_Digital_transformation.pdf (дата обращения 11.12.2018).
5. Digital champions. Global study of digital operations in 2018. PwC, 2018.
6. Grove A.S. Only the paranoid survive: How to exploit the crisis points that challenge every company. N.Y.: Doubleday, 1999.
7. Gartner hype cycle // Gartner, 2019. [Электронный ресурс]: <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle> (дата обращения 17.01.2019).
8. Digital transformation of industries: Digital enterprise. World Economic Forum White Paper. World Economic Forum, 2016.
9. Panneta K. 5 trends emerge in the Gartner hype cycle for emerging technologies // Gartner, 2018. [Электронный ресурс]: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/> (дата обращения 17.01.2019).
10. Kavanaugh J. Navigating digital transformation // Disruption, 2019. [Электронный ресурс]: <https://disruptionhub.com/physical-plus-digital-business-jeff-kavanaugh-infosys-6327/> (дата обращения 05.02.2019).
11. Bossert O., Laartz J. How enterprise architects can help ensure success with digital transformations // McKinsey & Company, 2016. [Электронный ресурс]: <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/how-enterprise-architects-can-help-ensure-success-with-digital-transformations> (дата обращения 26.01.2019).
12. Davenport T.H., Westerman G. Why so many high profile digital transformations fail // Harvard Business Review, 2018. [Электронный ресурс]: <https://hbr.org/2018/03/why-so-many-high-profile-digital-transformations-fail> (дата обращения 02.02.2019).
13. Westerman G., Bonnet D., McAfee A. The advantages of digital maturity // MITSloan Management Review, Massachusetts Institute of Technology, 2012. [Электронный ресурс]: <https://sloanreview.mit.edu/article/the-advantages-of-digital-maturity/> (дата обращения 05.11.2018).
14. Esser M. Digital maturity assessment // Digital Transformation. Der Richtige Weg (IT Verlag Gmbh) Itmanagement eBook. 2017. No 9. P. 32–37.
15. Kl otzer C., Pflaum A. Toward the development of a maturity model for digitalization within the manufacturing industry’s supply chain // Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences. Big Island, USA, 04–07 January 2017. P. 4210–4219.
16. Исаев Е.А., Коровкина Н.Л., Табакова М.С. Оценка готовности ИТ-подразделения к цифровой трансформации бизнеса // Бизнес-информатика. 2018. № 2 (44). С. 55–64.
17. Киселев И. Главная проблема цифровой трансформации – неготовность компаний к серьезным изменениям // CFO Russia, 2018. [Электронный ресурс]: <https://www.cfo-russia.ru/stati/index.php?article=40218> (дата обращения 20.01.2019).
18. Bourne V. Measuring business transformation progress around the world / Dell Technologies, 2018. [Электронный ресурс]: <https://www.delltechnologies.com/en-us/perspectives/digital-transformation-index.htm#> (дата обращения 05.02.2019).
19. Matt C., Hess T., Benlian A. Digital transformation strategies // Business & Information Systems Engineering. 2015. Vol. 57. No 5. P. 339–343.
20. Новичков Н., Долганова О., Новичкова А. Об оценке готовности компании к цифровой трансформации // Общество и экономика. 2018. № 8. С. 84–95.
21. Rosen M. The architecture value proposition for digital transformation // IDC, 2018. Doc # US44660118.
22. Costello K. The evolution of enterprise architecture // Gartner, 2019. [Электронный ресурс]: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/the-evolution-of-enterprise-architecture/> (дата обращения 01.02.2019).
23. The TOGAF Standard (Version 9.2). The Open Group, 2018.
24. Lankhorst M. Enterprise architecture at work: Modelling, communication and analysis. Springer, 2017.
25. Данилин А., Слюсаренко А. Архитектура и стратегия. «Инь и Янь» информационных технологий предприятия. М.: Интернет-университет информационных технологий, 2017.
26. Мишин В.М. Исследования систем управления. М.: Юнти-Дана, 2008.
27. Business transformation readiness assessment. The Open Group, 2018.
28. Fitzgerald M., Kruschwitz N., Bonnet D., Welch M. Embracing digital technology a new strategic imperative. Massachusetts Institute of Technology, 2013.
29. Устюгова Е., Данилина М. Цифровые технологии в российских компаниях // KPMG, 2019. [Электронный ресурс]: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2019/01/ru-ru-digital-technologies-in-russian-companies.pdf> (дата обращения 05.02.2019).
30. Макаров С. На пути к цифровой организации // Docflow, 2016. [Электронный ресурс]: <http://www.docflow.ru/docflowpro2016/materials/Makarov.pdf> (дата обращения 19.01.2019).

31. Рыжков В., Чернов Е., Нефедова О., Тарасова В. Цифровая трансформации в России 2018. Аналитический отчет // Команда-А Менеджмент, 2018. [Электронный ресурс]: http://www.interface.ru/iarticle/files/39873_50679725.pdf (дата обращения 18.01.2019).
32. Dettmer H.W. Goldratt's theory of constraints: A systems approach to continuous improvement. Milwaukee: ASQ, 1997.
33. Башкирова О.В., Долганова О.И. Умная компания. Стратегия и тактика создания. М.: Экономика, 2017.
34. Maor D., Reich A., Yocarini L. The people power of transformations // McKinsey, 2017. [Электронный ресурс]: <https://www.mckinsey.com/business-functions/organization/our-insights/the-people-power-of-transformations> (дата обращения 05.02.2019).
35. Digital IQ® World Study 2017. 288127-2017 LL. PwC, 2017.
36. Zomer T, Neely A., Martinez V. Enabling digital transformation: An analysis framework. Working Paper. University of Cambridge, 2018.
37. Limitierte IT-Ressourcen bremsen die digitalin transformation // IT Verlag für Informationstechnik GmbH (IT-Daily.net), 2018. [Электронный ресурс]: <https://www.it-daily.net/shortnews/20011-limitierte-it-ressourcen-bremsen-die-digitalen-transformation> (дата обращения 16.02.2019).

Об авторах

Долганова Ольга Игоревна

кандидат экономических наук;

доцент кафедры «Бизнес-информатика», Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, 105187, г. Москва, ул. Щербаковская, д. 38;

E-mail: oidolganova@fa.ru

Деева Елена Алексеевна

кандидат экономических наук;

доцент кафедры «Бизнес-информатика», Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, 105187, г. Москва, ул. Щербаковская, д. 38;

E-mail: eadeeva@fa.ru

Company readiness for digital transformations: problems and diagnosis

Olga I. Dolganova

E-mail: oidolganova@fa.ru

Elena A. Deeva

E-mail: eadeeva@fa.ru

Financial University under the Government of the Russian Federation
Address: 38, Scherbakovskaya Street, Moscow 105187, Russia

Abstract

Digital transformation is one of the current trends of business development in modern economies. This article discusses the main problems faced by Russian companies in the course of digital transformations of their activities, and the tools for preliminary diagnosis of the company's readiness for such transformations.

Based on the analysis and synthesis of information from reports of Russian and international research and consulting companies, and relying on the results of scientific research by Russian and foreign experts, the authors identified seven key typical problems that most Russian companies may encounter in the initial stages of implementing digital transformation. The problems identified are ranked in order of their importance for the successful implementation of digital transformations.

For the effective implementation of digital transformation, the authors propose to use the architectural approach in accordance with the recommendations of the TOGAF standard, which allows managing changes in a comprehensive manner, taking into account the needs, opportunities and constraints of both the business system and the IT infrastructure.

The work substantiates the need for conducting the diagnosis of the company's readiness at the initial stage of digital transformations. Such diagnosis can reveal the existing internal constraints that may become an obstacle to achieving the desired result of digital transformation. To identify the main adverse events, causes and problems of organizations with low levels of digital maturity, a method for constructing a tree of current reality has been implemented - an analytical toolkit for studying cause-effect relationships with undesirable features. Practical recommendations on the classification of causes and problems are provided to assess current readiness and plan for transition to the desired state of business system and IT infrastructure.

The proposed approach will allow organizations to identify their problem areas, drawing on the consolidated experience of other companies, as well as to determine the possibility of their adjustment in order to create favorable conditions for digital transformations.

Key words: digital transformation; digital conversion; architectural approach; readiness assessment; digital transformation issues; current reality tree; TOGAF.

Citation: Dolganova O.I., Deeva E.A. (2019) Company readiness for digital transformations: problems and diagnosis. *Business Informatics*, vol. 13, no 2, pp. 59–72. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.2.59.72

References

1. Westerman G., Calm ejane C., Bonnet D., Ferraris P., McAfee A. (2011) *Digital transformation: A roadmap for billion-dollar organization*. Available at: https://www.cappgemini.com/wp-content/uploads/2017/07/Digital_Transformation__A_Road-Map_for_Billion-Dollar_Organizations.pdf (accessed 12 November 2018).
2. Hitachi Data Systems Corporation (2016) *The business landscape for digital transformation*. Hitachi and Forbes Insights global research. Available at: https://www.osp.ru/netcat_files/18/10/BizLandscape_for_DT_Forbes_IN_SHARE_Forbs_survey_results.pdf (accessed 08 December 2018).
3. IDG Communications (2018) *State of digital business transformation*. Available at: https://cdn2.hubspot.net/hubfs/1624046/Digital%20Business%20Executive%20Summary_FINAL.pdf (accessed 04 December 2018).
4. PwC, Siemens PLM Software (2017) *Integrated approach to digital transformation of manufacturing enterprises*. Available at: https://www.PwC.ru/ru/publications/PwC_Siemens_Digital_transformation.pdf (accessed 11 December 2018) (in Russian).
5. PwC (2018) *Digital champions. Global study of digital operations in 2018*. PwC.
6. Grove A.S. (1999) *Only the paranoid survive: How to exploit the crisis points that challenge every company*. N.Y.: Doubleday.
7. Gartner (2019) *Gartner hype cycle*. Available at: <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle> (accessed 17 January 2019).
8. World Economic Forum (2016) *Digital transformation of industries: Digital enterprise*. World Economic Forum White Paper.
9. Panneta K. (2018) *5 trends emerge in the Gartner hype cycle for emerging technologies*. Available at: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/> (accessed 17 January 2019).
10. Kavanaugh J. (2019) *Navigating digital transformation*. Available at: <https://disruptionhub.com/physical-plus-digital-business-jeff-kavanaugh-infosys-6327/> (accessed 05 February 2019).
11. Bossert O., Laartz J. (2016) *How enterprise architects can help ensure success with digital transformations*. Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/how-enterprise-architects-can-help-ensure-success-with-digital-transformations> (accessed 26 January 2019).
12. Davenport T.H., Westerman G. (2018) *Why so many high profile digital transformations fail*. Available at: <https://hbr.org/2018/03/why-so-many-high-profile-digital-transformations-fail> (accessed 02 February 2019).
13. Westerman G., Bonnet D., McAfee A. (2012) *The advantages of digital maturity*. Available at: <https://sloanreview.mit.edu/article/the-advantages-of-digital-maturity/> (accessed 05 November 2018).
14. Esser M. (2017) Digital maturity assessment. *Digital Transformation. Der Richtige Weg (IT Verlag GmbI) Itmanagement eBook*, no 9, pp. 32–37.
15. Kl otzer C., Pflaum A. (2017) Toward the development of a maturity model for digitalization within the manufacturing industry's supply chain. Proceedings of the *50th Hawaii International Conference on System Sciences. Big Island, USA, 04–07 January 2017*, pp. 4210–4219.
16. Isaev E.A., Korovkina N.L., Tabakova M.S. (2018) Evaluation of the readiness of a company's IT department for digital business transformation. *Business Informatics*, no 2, pp. 55–64.
17. Kiselev I. (2018) *The main problem of digital transformation is the unwillingness of companies to major changes*. Available at: <https://www.cfo-russia.ru/stati/index.php?article=40218> (accessed 20 January 2019) (in Russian).
18. Bourne V. (2018) *Measuring business transformation progress around the world*. Available at: <https://www.delltechnologies.com/en-us/perspectives/digital-transformation-index.htm#> (accessed 05 February 2019).
19. Matt C., Hess T., Benlian A. (2015) Digital transformation strategies. *Business & Information Systems Engineering*, vol. 57, no 5, pp. 339–343.
20. Novichkov N., Dolganova O., Novichkova A. (2018) On the assessment of the company's readiness for digital transformation. *Society and Economics*, no 8, pp. 84–95 (in Russian).
21. Rosen M. (2018) *The architecture value proposition for digital transformation*. IDC, doc # US44660118.

22. Costello K. (2019) *The evolution of enterprise architecture*. Available at: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/the-evolution-of-enterprise-architecture/> (accessed 01 February 2019).
23. The Open Group (2018) *The TOGAF Standard (Version 9.2)*. The Open Group.
24. Lankhorst M. (2017) *Enterprise architecture at work: Modelling, communication and analysis*. Springer.
25. Danilin A., Slyusarenko A. (2017) *Architecture and strategy. "Yin" and "Yang" of enterprise information technologies*. Moscow: INTUIT (in Russian).
26. Mishin V.M. (2008) *Management systems research*. Moscow, Uniti-Dana (in Russian).
27. The Open Group (2018) *Business transformation readiness assessment*. The Open Group.
28. Fitzgerald M., Kruschwitz N., Bonnet D., Welch M. (2013) *Embracing digital technology a new strategic imperative*. Massachusetts Institute of Technology.
29. Ustyugova E., Danilina M. (2019) *Digital technologies in Russian companies*. Available at: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2019/01/ru-digital-technologies-in-russian-companies.pdf> (accessed 05 February 2019) (in Russian).
30. Makarov S. (2016) *On the way to a digital organization*. Available at: <http://www.docflow.ru/docflowpro2016/materials/Makarov.pdf> (accessed 19 January 2019) (in Russian).
31. Ryzhikov V., Chernov E., Nefedova O., Tarasova V. (2018) *Digital transformation in Russia 2018. Analytical report*. Available at: http://www.interface.ru/iarticle/files/39873_50679725.pdf (accessed 18 January 2019) (in Russian).
32. Dettmer H.W. (1997) *Goldratt's theory of constraints: A systems approach to continuous improvement*. Milwaukee: ASQ.
33. Bashkirova O.V., Dolganova O.I. (2017) *Smart company. Strategy and tactics of creation*. Moscow: Economics (in Russian).
34. Maor D., Reich A., Yocarini L. (2017) *The people power of transformations*. Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/organization/our-insights/the-people-power-of-transformations> (accessed 05 February 2019).
35. PwC (2017) *Digital IQ® World Study 2017*. 288127-2017 LL. PwC.
36. Zomer T, Neely A., Martinez V. (2018) *Enabling digital transformation: An analysis framework. Working Paper*. University of Cambridge.
37. IT Verlag für Informationstechnik GmbH (IT-Daily.net) (2018) *Limitierte IT-Ressourcen bremsen die digitalin transformation*. Available at: <https://www.it-daily.net/shortnews/20011-limitierte-it-ressourcen-bremsen-die-digitalen-transformation> (accessed 16 February 2019).

About the authors

Olga I. Dolganova

Cand. Sci. (Econ.);
Associate Professor, Department of Business Informatics,
38, Scherbakovskaya Street, Moscow 105187, Russia;
E-mail: oldolganova@fa.ru

Elena A. Deeva

Cand. Sci. (Econ.);
Associate Professor, Department of Business Informatics,
38, Scherbakovskaya Street, Moscow 105187, Russia;
E-mail: eadeeva@fa.ru

Принципы управления развитием ЕРМ-систем

А.А. Дружаев^{a,b}

E-mail: adruzhaev@cbgr.ru

Д.В. Исаев^a

E-mail: disaev@hse.ru

Е.В. Огуречников^{a,b}

E-mail: eogurechnikov@cbgr.ru

^a Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Адрес: 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20

^b Компания «Консист Бизнес Групп»
Адрес: 111250, г. Москва, проезд Завода Серп и Молот, д. 6, стр. 1

Аннотация

В настоящее время системы управления эффективностью предприятия (enterprise performance management, ЕРМ) часто применяются на практике, обеспечивая поддержку принятия стратегических решений и способствуя повышению информационной прозрачности организаций. В то же время методологические вопросы, касающиеся управления развитием таких систем, представляются недостаточно исследованными и проработанными.

Цель исследования состоит в том, чтобы сформулировать и обосновать базовые принципы управления развитием ЕРМ-систем. Данные принципы проистекают из объективных особенностей как самих ЕРМ-систем, так и особенностей управления их развитием. В частности, к числу особенностей ЕРМ-систем относятся сложный состав и модульная структура, крупномасштабный охват, долгосрочный характер планирования, мониторинга и анализа, использование агрегированной информации – как финансовой, так и нефинансовой. Среди особенностей управления развитием ЕРМ-систем можно выделить неявный характер получаемых экономических выгод, влияние случайных факторов, а также наличие «сложных» проектов (с неоднозначным исходом, возможностью повторного выполнения и несколькими вариантами реализации).

В результате сформулированы основополагающие принципы управления развитием ЕРМ-систем. К ним относятся принципы системности, непрерывности деятельности, соответствия бизнесу, ценности за деньги, программного управления, альтернативности, реалистичности, стохастичности, агрегирования ресурсов.

Значимость перечисленных принципов состоит в том, что они могут быть положены в основу комплексного процесса управления развитием ЕРМ-систем. Они также представляются весьма полезными при формализации отдельных элементов процесса управления – оценке уровня зрелости ЕРМ-систем, формировании потенциальных программ развития, имитационном моделировании реализации программ развития, принятии решений о выборе той или иной программы развития для непосредственной реализации.

Ключевые слова: управление эффективностью; ЕРМ-система; программа развития; принципы управления; информационная система.

Цитирование: Дружаев А.А., Исаев Д.В., Огуречников Е.В. Принципы управления развитием ЕРМ-систем // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 2. С. 73–83. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.2.73.83

Введение

Одной из актуальных проблем управления предприятиями и организациями самых разных отраслей является наличие так называемого «стратегического разрыва», когда предприятие определяет для себя важные долгосрочные цели, но при этом ведет свою текущую деятельность, опираясь на краткосрочные планы, слабо связанные как с поставленными целями, так и между собой [1, 2]. Причины возникновения такой ситуации можно подразделить на организационные и технологические. К организационным причинам относятся отсутствие стратегической фокусировки и неумение довести суть стратегии до сотрудников, неумение следовать плану и обеспечить его поддержку, неумение адаптироваться к переменам, игнорирование нефинансовых и качественных показателей, а также отсутствие реалистичного прогнозирования, когда планы предприятий основываются на текущем состоянии внешней среды, без должного учета возможных изменений в будущем [1]. Среди технологических причин – разрозненность систем управления, а также чрезмерная зависимость от систем управления ресурсами предприятия (ERP-систем), когда такие системы рассматриваются организацией в качестве основного и единственного инструмента управления, причем не только на оперативном, но и на стратегическом уровне [1].

Помимо проблемы стратегического разрыва, можно отметить следующие явления, часто встречающиеся на практике [3]:

- ◆ недостаточная сбалансированность системы стратегий организации (включая корпоративную стратегию, бизнес-стратегии и функциональные стратегии), локальный характер планирования развития;
- ◆ недостаточная целевая ориентация текущей деятельности, рассогласованность стратегий и оперативных планов;
- ◆ недостаточная гибкость и адаптивность стратегий и планов, низкая оперативность реагирования на изменения;
- ◆ недостаточная целостность и эффективность системы учета, отчетности и мониторинга;
- ◆ недостаточная информационная поддержка внутренних и внешних заинтересованных лиц (стейкхолдеров), ведущая к принятию решений на основе ненадежной или устаревшей информации.

Объективная необходимость решения перечисленных проблем и устранения их причин привела к появлению особого класса систем управления – систем управления эффективностью предприятия (enterprise performance management, EPM). Эти системы также называют системами управления корпоративной эффективностью (corporate performance management, CPM), системами управления эффективностью бизнеса (business performance management, BPM) или просто системами управления эффективностью (performance management systems, PMS). Теоретические разработки в данной области поддержаны ведущими мировыми разработчиками программного обеспечения – Oracle, IBM, SAP, SAS и другими. В то же время понятие EPM-системы выходит за рамки информационных технологий, оно включает методы и процессы управления, а также управленческий персонал, задействованный в этих процессах.

Являясь системой управления, EPM-система в то же время представляет собой объект управления: она должна разрабатываться, внедряться, поддерживаться и развиваться, и всеми этими процессами необходимо управлять. Соответственно, встает вопрос о методологическом подходе к развитию EPM-систем. Работы, посвященные самим EPM-системам [1–6], на данный вопрос не отвечают, поскольку они сфокусированы, прежде всего, на целях и функциональности таких систем.

Важную роль в определении целей создания и развития EPM-систем играют международные и национальные кодексы корпоративного управления, устанавливающие требования к информационной прозрачности компаний [7–10], а также работы в области стратегического управления [11–13]. Однако вопросы управления развитием EPM-систем в таких документах и научных трудах тоже не рассматриваются.

Имеется большое число работ, рассматривающих «методологическую начинку» EPM-систем – подходы, методы и модели, которые используются в процессе управления. Здесь следует упомянуть работы в области управления по ключевым показателям [14, 15], управленческого учета, планирования и бюджетирования [16, 17], консолидации финансовой отчетности [18], бизнес-анализа [19]. Эти труды важны для понимания отдельных составных частей EPM-системы, но также не рассматривают вопросы ее развития.

Кроме того, многие работы посвящены отдельным аспектам развития информационных систем,

например, принятию решений [20], ИТ-стратегии [21, 22], управлению ИТ-проектами [23], архитектуре предприятия [24]. Эти разработки представляют значительную ценность и могут применяться на разных этапах управления развитием ЕРМ-систем. В то же время отдельные методические вопросы, рассматриваемые в таких работах, не являются в достаточной мере интегрированными и не привлекают во внимание особенности ЕРМ-систем.

Таким образом, имеющиеся разработки, даже рассматриваемые в совокупности, не дают целостного представления об управлении развитием ЕРМ-систем. В результате приобретает актуальность задача создания целостного методологического подхода к управлению развитием ЕРМ-систем, учитывающего их особенности и позволяющего интегрировать методы и модели, необходимые на разных стадиях процесса управления.

Для разработки любого методологического подхода необходимо сначала сформулировать принципы, на которых этот подход будет основываться. Примерами могут служить принципы реинжиниринга бизнес-процессов [25], принципы “beyond budgeting” [26], принципы формирования и представления финансовой отчетности [27] и некоторые другие. Таким образом, цель работы состоит в том, чтобы сформулировать аналогичные принципы для управления развитием ЕРМ-систем. Эти принципы должны основываться на объективных особенностях управления развитием ЕРМ-систем, а они, в свою очередь, должны вытекать из особенностей самих систем данного класса. Этим объясняется структура работы: сначала рассматриваются особенности самих ЕРМ-систем, затем – особенности управления их развитием, и уже после этого – принципы управления развитием ЕРМ-систем¹.

1. Сущность и особенности ЕРМ-систем

Существуют разные, но взаимосвязанные определения ЕРМ-систем. В наиболее общем контексте такая система охватывает «формальные и неформальные механизмы, процессы, системы и коммуникации, используемые организациями для достижения ключевых целей, определенных руководством, для поддержки стратегического процесса и текущего управления посредством анализа, планирования, формирования метрик, контроля,

стимулирования и управления эффективностью в широком смысле, а также для поддержки и содействия обучению организации и изменениям» [4]. Одним из элементов концептуальной модели, предложенной в работе [4], являются информационные потоки, системы и сети, поддерживающие управленческие процессы стратегического уровня. Авторы сравнивают их с нервной системой человека, обеспечивающей передачу информации от конечностей в центральные органы и наоборот. При этом подчеркивается различие между обратными и прямыми потоками информации: первые используются для принятия мер корректирующего и/или адаптационного характера, а вторые – для осмысления накопленного опыта, генерации новых идей и обновления стратегий и планов [4].

В несколько более узком контексте ЕРМ-система рассматривается как система информационной поддержки корпоративного управления и стратегического менеджмента, представляющая собой «комплекс средств, направленных на решение задач сбора, хранения, аналитической обработки и представления информации, являющейся ключевой для обеспечения информационной прозрачности организации и поддержки принятия стратегических управленческих решений внешними и внутренними заинтересованными лицами» [3].

Наконец, ЕРМ-система может трактоваться как один из классов корпоративных информационных систем. В связи с этим следует отметить программные разработки крупнейших мировых ИТ-компаний – Oracle, IBM, SAP, SAS и других. В частности, компания Oracle использует термин ЕРМ для обозначения программных продуктов, призванных «помочь организации планировать операции, распределять бюджет, прогнозировать и составлять отчеты об эффективности бизнеса, а также выполнять сверку и подведение финансовых результатов» [28]. Данное определение отражает функциональность программного обеспечения, используемого в рамках комплексной ЕРМ-системы.

Несмотря на определенные различия в трактовках, можно выделить ряд особенностей, присущих ЕРМ-системам. К таким особенностям относятся:

- ◆ сложный состав и модульная структура;
- ◆ крупномасштабный охват;
- ◆ долгосрочный характер планирования, мониторинга и анализа;

¹ Предварительные результаты исследования были представлены на XXII Международной научной конференции «Инжиниринг предприятий и управление знаниями» (ИП&УЗ–2019), Москва, 25–26 апреля 2019 г.

- ◆ использование агрегированной информации;
- ◆ использование как финансовой, так и нефинансовой информации.

Сложность ЕРМ-системы означает, что она включает не только программные средства, но и определенные методы и процессы управления, а также задействованный в этих процессах управленческий персонал. С точки зрения функциональности, ЕРМ-системы решают задачи стратегического анализа, управления по ключевым показателям, корпоративного планирования и бюджетирования, формирования и анализа корпоративной отчетности. При этом для каждой из задач могут применяться разные программные средства.

С точки зрения охвата предприятия, ЕРМ-система является системой управления корпоративного уровня: она охватывает организацию в целом, либо несколько организаций, формирующих крупные бизнес-сегменты или группы компаний. В результате менеджеры и специалисты, задействованные в процессах ЕРМ, как правило, находятся в разных подразделениях, организациях и географических точках. В этих условиях целостность управления обеспечивается информационными технологиями: современные ЕРМ-системы являются интернет-ориентированными, кроме того, имеет место тенденция ко все более широкому использованию облачных технологий (модель SaaS).

Долгосрочный характер планирования, мониторинга и анализа информации в рамках ЕРМ-систем объясняется их ролью в преодолении «стратегического разрыва», как связующего звена между стратегическим и текущим уровнями управления. В этом состоит их принципиальное отличие от систем управления ресурсами предприятия (ERP-систем), ориентированных на планирование, учет и анализ отдельных операций.

Следствием стратегической ориентированности ЕРМ-систем является то, что они оперируют агрегированной информацией о состоянии и деятельности организации. В этом состоит еще одно их отличие от систем класса ERP, которые имеют дело с детальной информацией об отдельных операциях.

Наконец, еще одной важной особенностью ЕРМ-систем является то, что они имеют дело не только с финансовой, но и с нефинансовой информацией. В связи с этим уместно упомянуть четыре стратегические перспективы сбалансированной системы показателей, из которых лишь одна является «финансовой» [14], а также то, что современные модели

корпоративного планирования и бюджетирования предусматривают не только финансовые, но и натуральные показатели.

2. Особенности управления развитием ЕРМ-систем

Из перечисленных выше особенностей ЕРМ-систем вытекают особенности управления их развитием.

Прежде всего, следует отметить, что экономические выгоды, которые организация получает в результате внедрения и развития ЕРМ-системы, являются неявными и не могут быть оценены в финансовом выражении. Это объясняется тем, что при помощи ЕРМ-систем принимаются решения стратегического и тактического характера, оказывающие существенное, но все же опосредованное влияние на состояние и результаты деятельности организации. Это делает невозможным анализ эффективности развития ЕРМ-систем с применением классических методов инвестиционного анализа, основанных на сопоставлении затрат и экономических выгод. При этом затраты на развитие могут быть измерены или оценены в финансовом выражении (как при традиционном инвестиционном анализе), но сопоставляться они должны не с финансовыми результатами, а с динамикой уровня зрелости ЕРМ-системы относительно некоторых заранее определенных абстрактных уровней. Данный факт говорит о целесообразности применения моделей, основанных на определении уровня зрелости ЕРМ-системы как объекта управления.

Другая особенность заключается в наличии случайных факторов, влияющих на развитие ЕРМ-системы. Это объясняется крупномасштабным характером ЕРМ-систем и высоким уровнем сложности решаемых задач. Влияние случайных факторов распространяется как на отдельные проекты развития (продолжительность, временные лаги, потребление ресурсов), так и на их последствия (влияние на уровень зрелости системы, финансовые последствия). В результате становятся неприменимыми классические методы управления проектами, основанные на строгой последовательности работ и детерминированных параметрах. Вместо этого приобретают актуальность модели, позволяющие описывать вероятностные параметры развития системы.

Еще одна особенность состоит в том, что среди проектов развития могут иметь место «сложные»

проекты, к числу которых относятся проекты с неоднозначным исходом, возможностью повторного выполнения и наличием нескольких вариантов реализации [29]. При этом некоторые из параметров таких проектов (например, получение того или иного результата или выбор варианта реализации) также являются случайными величинами. Это, опять же, свидетельствует о целесообразности применения вероятностных моделей.

Перечисленные особенности являются основой для формулирования принципов управления развитием ЕРМ-систем.

3. Принципы управления развитием ЕРМ-систем

Рассмотрим более детально базовые принципы управления развитием ЕРМ-систем. Некоторые из них представлены в работе [30], однако в ходе настоящего исследования они были актуализированы и существенно дополнены.

3.1. Принцип системности

Первым и основополагающим принципом управления развитием ЕРМ-систем является принцип системности. Он предполагает рассмотрение объекта управления как целостной системы, включающей определенные составные части и взаимосвязи между ними. Также имеет существенное значение связь системы с внешней средой, в которой она функционирует и развивается. Деятельность и развитие системы следует рассматривать в контексте поставленной цели, характеризующей роль системы и ее предназначение. Как система в целом, так и каждая из ее частей должны рассматриваться в динамике, с учетом как состояния системы в прошлом, так и перспектив ее развития в будущем.

ЕРМ-система представляет собой целостный объект, предназначение которого состоит в информационной поддержке корпоративного управления и стратегического менеджмента, что, в свою очередь, способствует развитию организации в целом и достижению ею поставленных целей. ЕРМ-система функционирует внутри организации, являясь одной из корпоративных систем управления. В то же время ЕРМ-система носит комплексный характер: она включает разнородные, но, тем не менее, взаимосвязанные компоненты – методы обработки управленческой информации, процессы управления, организационные структуры, управленческий

персонал, программные средства. Составные части ЕРМ-системы также могут быть классифицированы по их функциональной принадлежности: среди укрупненных задач, решаемых системой, можно выделить стратегический анализ, управление по ключевым показателям, корпоративное планирование и бюджетирование, финансовую консолидацию. Все элементы ЕРМ-системы изменяются с течением времени, как в результате управляющих воздействий на систему, так и под влиянием окружающей ее внешней среды.

3.2. Принцип непрерывности деятельности

Принцип непрерывности деятельности полностью соответствует аналогичному принципу, сформулированному в Международных стандартах финансовой отчетности [27]. Данный принцип означает допущение, что организация, в которой функционирует и развивается ЕРМ-система, осуществляет свою деятельность непрерывно, как в настоящее время, так и в обозримом будущем, не имея намерения прекратить или существенно сократить свою деятельность. Если же организация планирует прекратить свою деятельность в некоторых областях (например, путем продажи каких-либо бизнес-сегментов), то развитие систем управления таких сегментов должно рассматриваться отдельно от систем управления основной организации (например, в контексте предпродажной подготовки соответствующих активов).

3.3. Принцип соответствия бизнесу

Принцип соответствия бизнесу означает, что развитие ЕРМ-системы должно рассматриваться в контексте стратегии развития организации в целом, ее миссии, видения и целей, а также политики в области корпоративного управления. Это связано с тем, что именно корпоративное управление и стратегический менеджмент предъявляют существенные требования к функциям информационной поддержки процессов управления, реализуемым при помощи ЕРМ-систем. Характерным примером является намерение компании разместить свои акции на зарубежной фондовой бирже, что означает необходимость соблюдения зарубежного корпоративного законодательства и, соответственно, предъявление повышенных требований к контролируемости компании и ее информационной прозрачности.

Из сказанного следует целевая ориентация развития ЕРМ-системы, а именно – наличие некоторого целевого состояния, позволяющего удовлетворить информационные потребности корпоративного управления и стратегического менеджмента с учетом интересов различных групп заинтересованных лиц. Целевое состояние системы следует рассматривать в привязке к оси времени, поскольку характеристики, не являющиеся существенными в текущий момент, могут оказаться жизненно необходимыми в будущем. Поэтому управление развитием ЕРМ-системы должно быть направлено на преодоление разрыва между ее текущим и целевым состояниями.

Допускается многовариантность целевого состояния системы. Например, можно рассматривать уровень удовлетворительного состояния, соответствующий выполнению наиболее важных из предъявляемых к системе требований, и уровень продвинутого состояния, достижение которого означает соответствие системы всем требованиям без исключения.

Также имеет место обратная связь между стратегическим менеджментом и развитием ЕРМ-систем: отдельные аспекты развития ЕРМ-системы должны находить отражение в функциональных стратегиях организации, в частности, ИТ-стратегии и стратегии развития человеческих ресурсов.

3.4. Принцип ценности за деньги

Концепция «ценность за деньги»² (value for money, VfM) представляет собой подход к оценке эффективности использования ресурсов, который находит широкое применение в тех областях, где отдача от вложенных средств не может быть надежно измерена в денежном выражении – в государственном управлении, политике, культуре, спорте, социальной сфере. В нашем случае принцип ценности за деньги вытекает из неявного характера экономических выгод, получаемых в результате внедрения и развития ЕРМ-систем. Вместо этого в качестве отдачи от инвестиций можно рассматривать положительную динамику уровня зрелости системы, который рассчитывается относительно предопределенных пороговых значений.

Модели зрелости применяются на практике довольно часто. В частности, в разное время они были разработаны для процессов разработки программного обеспечения [31], задач контроля для информационных и смежных технологий (Control Objectives

for Information and Related Technology, COBIT) [32], систем бизнес-интеллекта [33], решений для анализа больших данных [34], управления информационными технологиями (IT governance) [35], архитектуры предприятия [36, 37], сервисно-ориентированной архитектуры [38], анализа соответствия бизнеса и информационных технологий [39]. Аналогичная модель разработана и для систем управления эффективностью предприятия [40].

В соответствии с принципом ценности за деньги развитие ЕРМ-системы рассматривается, с одной стороны, с точки зрения повышения ее уровня зрелости, а с другой – с точки зрения ресурсов, потребляемых в процессе развития.

3.5. Принцип программного управления

Принцип программного управления означает, что развитие системы осуществляется путем реализации взаимосвязанных проектов, которые в совокупности формируют программу развития. При этом может применяться скользящее планирование, предполагающее пересмотр программы развития на регулярной основе (со сдвигом периода планирования по оси времени) и внесение в программу необходимых корректировок. Корректировки могут затрагивать как отдельные характеристики программы развития (например, сроки реализации отдельных проектов), так и фундаментальные рамки всей системы. При этом как ЕРМ-система, так и ее внешняя среда должны рассматриваться в динамике.

3.6. Принцип альтернативности

Принцип альтернативности означает целесообразность формирования потенциальных (альтернативных) программ развития и последующий выбор одной из них на конкурсной основе. При этом формирование потенциальных программ осуществляется на основе предварительно согласованных требований, учитывающих как соответствие бизнесу, так и лимиты финансирования.

Выбор одной из программ для непосредственной реализации осуществляется на основе всестороннего рассмотрения альтернатив, с учетом не только количественных показателей, но и качественных факторов. Из этого следует целесообразность применения экспертного подхода для поддержки принятия решений.

² Альтернативные названия в русскоязычной литературе: «качество за деньги», «эффективность использования ресурсов», «эффективность затрат»

3.7. Принцип реалистичности

В соответствии с принципом реалистичности необходимо, чтобы в качестве потенциальных программ развития рассматривались лишь те, которые с большой вероятностью могут быть успешно реализованы. Прежде всего, речь идет о ресурсах (финансовых, технических, человеческих и др.), необходимых для выполнения отдельных проектов программы развития. Эти ресурсы должны иметься в наличии и быть доступными в нужное время. Кроме того, сроки реализации проектов должны соответствовать характеру и сложности решаемых задач. В некоторых случаях также необходимо принимать во внимание состояние внешней среды – факторы экономического, юридического и организационного характера.

Для оценки реалистичности программ развития выполняется специальный анализ (feasibility study), предусматривающий формирование критериев и оценку всех программ в соответствии с этими критериями, как правило, с привлечением экспертов. Если рассматриваемая программа не удовлетворяет хотя бы нескольким критериям, то она не может считаться реалистичной и с большой вероятностью будет обречена на неудачу.

3.8. Принцип стохастичности

Принцип стохастичности означает, что при анализе программ развития обязательно следует принимать во внимание случайные факторы. Прежде всего, случайные факторы относятся к проектам, входящим в состав программ развития – как к срокам реализации проектов, так и к объемам затрачиваемых ресурсов. Кроме того, случайный характер носит воздействие проектов на уровень зрелости системы – как с точки зрения степени воздействия, так и в части временных лагов, отделяющих завершение проектов от наступления изменений в состоянии системы.

Случайные факторы могут быть приняты во внимание при многократной имитации сценариев реализации программы развития, что позволяет собрать необходимую статистику и на ее основе сделать выводы о характеристиках программы. Для решения этой задачи представляется целесообразным применение информационных систем имитационного моделирования. Результаты имитационного моделирования являются основой для сравнения альтернативных программ и принятия решения о реализации одной из них.

3.9. Принцип агрегирования ресурсов

Принцип агрегирования ресурсов означает, что отдельные виды ресурсов, задействованных при выполнении проектов, в процессе планирования не рассматриваются. Вместо этого применяется их агрегированная оценка в финансовом выражении (объемы платежей, связанных с проектами). В соответствии с принципом стохастичности, финансовые оценки ресурсов представляют собой случайные величины и определяются либо на основе имеющихся исторических данных, либо экспертным путем. Также применяется допущение, что все ресурсы являются доступными в нужное время.

Данный принцип относится к программе развития в целом и не означает отказ от детального планирования ресурсов на уровне проектов, их этапов и отдельных работ.

На основе агрегированных оценок используемых ресурсов формируются финансовые показатели программы развития, которые принимаются во внимание при оценке и выборе программы развития.

Заключение

Системы управления эффективностью предприятия (EPM-системы) обладают определенными свойствами, отличающими их от других типов корпоративных систем управления. Эти свойства, в свою очередь, определяют особенности управления развитием EPM-систем. Исходя из выявленных особенностей, сформулированы базовые принципы управления. Роль этих принципов состоит в том, что они могут быть положены в основу интегрированной методологии управления развитием EPM-систем.

В качестве направлений дальнейших исследований можно обозначить такие задачи, как определение основных этапов процесса управления развитием EPM-систем, создание подхода к формированию информационно-логических моделей EPM-систем и их составных частей, разработка методики оценки уровня зрелости системы, разработка рекомендаций в области имитационного моделирования программ развития, а также обоснование принятия решений в части выбора одной из потенциальных программ развития для непосредственной реализации. Интеграция методов и моделей, применяемых для решения перечисленных задач, позволит сформировать целостную методологию управления развитием EPM-систем. ■

Литература

1. Coveney M., Ganster D., Hartlen B., King D. The strategy gap: Leveraging technology to execute winning strategies. Hoboken, NJ: Wiley, 2003.
2. Cokins G. Performance management: Finding the missing pieces (to close the intelligence gap). Hoboken, NJ: Wiley, 2003.
3. Исаев Д.В. Корпоративное управление и стратегический менеджмент: информационный аспект. М.: ВШЭ, 2010.
4. Ferreira A., Otley D. The design and use of performance management systems: An extended framework for analysis // Management Accounting Research. 2009. No 20. P. 263–282.
5. Broadbent J., Laughlin R. Performance management systems: A conceptual model // Management Accounting Research. 2009. No 20. P. 283–295.
6. Franco-Santos M., Otley D. Reviewing and theorizing the unintended consequences of performance management systems // International Journal of Management Reviews. 2018. No 20. P. 696–730.
7. G20/OECD principles of corporate governance. Paris: OECD, 2015.
8. The UK corporate governance code. London: FRC, 2018.
9. German corporate governance code. Frankfurt am Main: Regierungskommission, 2017.
10. Кодекс корпоративного управления. Москва: ЦБ РФ, 2014.
11. Mintzberg H., Ahlstrand B., Lampel J. Strategy safari: Your complete guide through the wilds of strategic management. Prentice Hall, 2009.
12. Drucker P. The practice of management. N.Y.: Harper Collins, 2010.
13. Ansoff H.I. Strategic management. N.Y.: Palgrave Macmillan, 2007.
14. Kaplan R.S., Norton D.P. The balanced scorecard: Translating strategy into action. Boston: Harvard Business School Press, 1996.
15. Niven P.R. Balanced scorecard evolution: A dynamic approach to strategy execution. Hoboken, NJ: Wiley, 2014.
16. Drury C. Management accounting for business. Cengage Learning, 2016.
17. Bragg S.M. Budgeting: The comprehensive guide. Centennial, CO: AccountingTools, 2017.
18. IFRS 10. Consolidated financial statements. London: IFRS Foundation, 2014. [Электронный ресурс]: <https://www.ifrs.org/issued-standards/list-of-standards/ifrs-10-consolidated-financial-statements/> (дата обращения: 08.11.2018).
19. A guide to the business analysis body of knowledge (BABOK Guide). Third edition. Toronto: ИБА, 2015.
20. Schniederjans M.J., Hamaker J.L., Schniederjans A.M. Information technology investment: Decision-making methodology. World Scientific Publishing, 2004.
21. Keyes J. Implementing the IT balanced scorecard: Aligning IT with corporate strategy. Auerbach Publications, 2005.
22. Ward J., Daniel E. Benefits management: How to increase the business value of your IT projects. Wiley, UK, 2012.
23. Schwalbe K. Information technology project management. Boston: Cengage Learning, 2016.
24. Kotusev S. The practice of enterprise architecture: A modern approach to business and IT alignment. Melbourne: SK Publishing, 2018.
25. Hammer M., Champy J. Reengineering the corporation: A manifesto for business revolution. N.Y.: Harper Collins, 1993.
26. Roosli F., Kaduthanam S. Beyond budgeting as a mindset and a framework for action // Changement. 2018. No 4. P. 20–22.
27. Conceptual framework for financial reporting (Conceptual framework). London: IFRS Foundation, 2018. [Электронный ресурс]: <https://www.ifrs.org/issued-standards/list-of-standards/conceptual-framework/> (дата обращения 08.11.2018).
28. What is enterprise performance management? / Oracle Corp., 2019. [Электронный ресурс]: <https://www.oracle.com/applications/epm/what-is-epm.html> (дата обращения: 20.01.2019).
29. Исаев Д.В. Моделирование программ развития с вероятностными параметрами и неявными экономическими выгодами // Прикладная информатика. 2017. Т. 12. № 1 (67). С. 16–25.
30. Исаев Д.В. Развитие систем информационной поддержки корпоративного управления и стратегического менеджмента // Бизнес-информатика. 2011. № 2 (16). С. 56–62.
31. Capability maturity model for software. Version 1.1. Technical report. CMU/SEI-93-TR-024; ESC-TR-93-177. February 1993. Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 1993.
32. COBIT 5. A business framework for the governance and management of enterprise IT. Rolling Meadows, IL: ISACA, 2012.
33. Eckerson W.W. Beyond the basics. Accelerating BI maturity. Renton, WA: TDWI, 2007.
34. Halper F., Krishnan K. TDWI big data maturity model guide. Interpreting your assessment score. Renton, WA: TDWI, 2013.
35. Weill P., Ross J. IT governance. How top performers manage IT decision rights for superior results. Boston: Harvard School Press, 2004.
36. NASCIO enterprise architecture maturity model. Version 1.3. December 2003. Lexington, KY: National Association of State Chief Information Officers (NASCIO), 2003.
37. Ross J., Weill P., Robertson D. Enterprise architecture as strategy. Creating a foundation for business execution. Boston: Harvard School Press, 2006.
38. Perko J. IT governance and enterprise architecture as prerequisites for assimilation of service-oriented architecture: An empirical study of large Finnish companies / Doctoral thesis. Tampere: Tampere University of Technology, 2008.
39. Luftman J., Kempaiah R. An update on business–IT alignment: A line has been drawn // MIS Quarterly Executive. 2007. Vol. 6. No 3. P. 165–177.
40. Aho M. A construct for performance management maturity assessment / Doctoral thesis. Tampere: Tampere University of Technology, 2011.

Об авторах

Друзаев Алексей Александрович

кандидат технических наук;

доцент кафедры бизнес-аналитики, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;

заместитель директора департамента консалтинга, компания «Консист Бизнес Групп», 111250, г. Москва, проезд Завода Серп и Молот, д. 6, стр. 1;

E-mail: adruzhaev@cbgr.ru

Исаев Дмитрий Валентинович

кандидат экономических наук;

доцент кафедры бизнес-аналитики, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;

E-mail: disaev@hse.ru

Огуречников Евгений Владимирович

старший преподаватель кафедры бизнес-аналитики, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;

заместитель генерального директора, компания «Консист Бизнес Групп», 111250, г. Москва, проезд Завода Серп и Молот, д. 6, стр. 1;

E-mail: eogurechnikov@cbgr.ru

Principles of managing development of EPM systems

Alexey A. Druzhaev^{a,b}

E-mail: adruzhaev@cbgr.ru

Dmitry V. Isaev^a

E-mail: disaev@hse.ru

Eugene V. Ogurechnikov^{a,b}

E-mail: eogurechnikov@cbgr.ru

^a National Research University Higher School of Economics
Address: 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia

^b Consyst Business Group
Address: 6, build.1, Proezd Zavoda Serp i Molot, Moscow 111250, Russia

Abstract

At present, enterprise performance management (EPM) systems are widely used in practice, because they facilitate strategic decision-making and contribute to improved information transparency of organizations. However, methodological issues related to managing the development of such systems seem to be insufficiently investigated and elaborated.

The purpose of the study is to formulate and justify fundamental principles for managing EPM systems' development. These principles derive from peculiarities of EPM systems themselves and the features of their development management. In particular, the features of EPM systems are complexity and modular structure, large-scale scope, the long-term nature of planning, monitoring and analysis, use of aggregated information – both financial and non-financial. The features of managing development of EPM systems include the implicit nature of the resulting economic benefits, influence of stochastic factors, as well as availability of “complicated” projects (with uncertain outcomes, ability to re-execute and multiple variants of implementation).

As a result, the basic principles of managing development of EPM systems can be formulated. There are the principles of a system, the going concern, business alignment, value for money, program management, alternativeness, feasibility, stochasticity, as well as resources aggregation.

The significance of these principles is explained by the fact that they can be used as a basis for an integrated process of managing the development of EPM systems. These principles are also valuable for formalizing certain elements of the management process, such as assessment of the maturity level of EPM systems, the formation of potential development programs, simulation of implementation of the development programs, as well as decision-making regarding selection of development programs for implementation.

Key words: performance management; EPM system; development program; management principles; information system.

Citation: Druzhaev A.A., Isaev D.V., Ogurechnikov E.V. (2019) Principles of managing development of EPM systems. *Business Informatics*, vol. 13, no 2, pp. 73–83. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.2.73.83

References

1. Coveney M., Ganster D., Hartlen B., King D. (2003) *The strategy gap: Leveraging technology to execute winning strategies*. Hoboken, NJ: Wiley.
2. Cokins G. (2003) *Performance management: Finding the missing pieces (to close the intelligence gap)*. Hoboken, NJ: Wiley.
3. Isaev D.V. (2010) *Corporate governance and strategic management: An information aspect*. Moscow: HSE (in Russian).
4. Ferreira A., Otley D. (2009) The design and use of performance management systems: An extended framework for analysis. *Management Accounting Research*, no 20, pp. 263–282.
5. Broadbent J., Laughlin R. (2009) Performance management systems: A conceptual model. *Management Accounting Research*, no 20, pp. 283–295.
6. Franco-Santos M., Otley D. (2018) Reviewing and theorizing the unintended consequences of performance management systems. *International Journal of Management Reviews*, no 20, pp. 696–730.
7. OECD (2015) *G20/OECD principles of corporate governance*. Paris: OECD.
8. Financial Reporting Council (2018) *The UK corporate governance code*. London: FRC.
9. Regierungskommission (2017) *German corporate governance code*. Frankfurt am Main: Regierungskommission.
10. The Central Bank of the Russian Federation (2014) *Corporate governance code*. Moscow: CBR (in Russian).
11. Mintzberg H., Ahlstrand B., Lampel J. (2009) *Strategy safari: Your complete guide through the wilds of strategic management*. Prentice Hall.
12. Drucker P. (2010) *The practice of management*. N.Y.: Harper Collins.
13. Ansoff H.I. (2007) *Strategic management*. N.Y.: Palgrave Macmillan.
14. Kaplan R.S., Norton D.P. (1996) *The balanced scorecard: Translating strategy into action*. Boston: Harvard Business School Press.
15. Niven P.R. (2014) *Balanced scorecard evolution: A dynamic approach to strategy execution*. Hoboken, NJ: Wiley.
16. Drury C. (2016) *Management accounting for business*. Cengage Learning.
17. Bragg S.M. (2017) *Budgeting: The comprehensive guide*. Centennial, CO: AccountingTools.
18. IFRS Foundation (2014) *IFRS 10. Consolidated financial statements*. London: IFRS Foundation. Available at: <https://www.ifrs.org/issued-standards/list-of-standards/ifrs-10-consolidated-financial-statements/> (accessed 08 November 2018).
19. IIBA (2015) *A guide to the business analysis body of knowledge (BABOK Guide)*. Third edition. Toronto: IIBA.
20. Schniederjans M.J., Hamaker J.L., Schniederjans A.M. (2004) *Information technology investment: Decision-making methodology*. World Scientific Publishing.
21. Keyes J. (2005) *Implementing the IT balanced scorecard: Aligning IT with corporate strategy*. Auerbach Publications.
22. Ward J., Daniel E. (2012) *Benefits management: How to increase the business value of your IT projects*. Wiley, UK.
23. Schwalbe K. (2016) *Information technology project management*. Boston: Cengage Learning.
24. Kotusev S. (2018) *The practice of enterprise architecture: A modern approach to business and IT alignment*. Melbourne: SK Publishing.
25. Hammer M., Champy J. (1993) *Reengineering the corporation: A manifesto for business revolution*. N.Y.: Harper Collins.
26. Roosli F., Kadathanam S. (2018) Beyond budgeting as a mindset and a framework for action. *Change*, no 4, pp. 20–22.
27. IFRS Foundation (2018) *Conceptual framework for financial reporting (Conceptual framework)*. London: IFRS Foundation. Available at: <https://www.ifrs.org/issued-standards/list-of-standards/conceptual-framework/> (accessed 08 November 2018).
28. Oracle Corp. (2019) *What is enterprise performance management?* Available at: <https://www.oracle.com/applications/epm/what-is-epm.html> (accessed 20 January 2019).
29. Isaev D.V. (2017) Modeling of development programs with stochastic parameters and uncertain economic benefits. *Applied Informatics*, vol. 12, no 1, pp. 16–25 (in Russian).
30. Isaev D.V. (2011) Development of information support systems for corporate governance and strategic management. *Business Informatics*, no 2, pp. 56–62 (in Russian).

31. Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University (1993) *Capability maturity model for software. Version 1.1. Technical report. CMU/SEI-93-TR-024; ESC-TR-93-177. February 1993.* Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University.
32. ISACA (2012) *COBIT 5. A business framework for the governance and management of enterprise IT.* Rolling Meadows, IL: ISACA.
33. Eckerson W.W. (2007) *Beyond the basics. Accelerating BI maturity.* Renton, WA: TDWI.
34. Halper F., Krishnan K. (2013) *TDWI big data maturity model guide. Interpreting your assessment score.* Renton, WA: TDWI.
35. Weill P., Ross J. (2004) *IT governance. How top performers manage IT decision rights for superior results.* Boston: Harvard School Press.
36. NASCIO (2003) *NASCIO enterprise architecture maturity model. Version 1.3. December 2003.* Lexington, KY: NASCIO.
37. Ross J., Weill P., Robertson D. (2006) *Enterprise architecture as strategy. Creating a foundation for business execution.* Boston: Harvard School Press.
38. Perko J. (2008) *IT governance and enterprise architecture as prerequisites for assimilation of service-oriented architecture: An empirical study of large Finnish companies. Doctoral thesis.* Tampere: Tampere University of Technology.
39. Luftman J., Kempaiah R. (2007) An update on business–IT alignment: A line has been drawn. *MIS Quarterly Executive*, vol. 6, no 3, pp. 165–177.
40. Aho M. (2011) *A construct for performance management maturity assessment. Doctoral thesis.* Tampere: Tampere University of Technology.

About the authors

Alexey A. Druzhaev

Cand. Sci. (Tech.);

Associate Professor, Department of Business Analytics, National Research University Higher School of Economics, 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;

Deputy Head of Consulting Department, Consyst Business Group, 6, build.1, Proezd Zavoda Serp i Molot, Moscow, 111250, Russia;

E-mail: adruzhaev@cbgr.ru

Dmitry V. Isaev

Cand. Sci. (Econ.);

Associate Professor, Department of Business Analytics, National Research University Higher School of Economics, 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;

E-mail: disaev@hse.ru

Eugene V. Ogurechnikov

Senior Lecturer, Department of Business Analytics, National Research University Higher School of Economics, 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;

Deputy Chief Executive Officer, Consyst Business Group, 6, build.1, Proezd Zavoda Serp i Molot, Moscow, 111250, Russia;

E-mail: eogurechnikov@cbgr.ru

