Учредитель

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

Редакционный совет

Председатель редакционного совета

Вострецов Алексей Геннадьевич, д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, НГТУ, г. Новосибирск

Заместители председателя

Белим Сергей Викторович, д-р физ.-мат. наук, проф., ОмГТУ, г. Омск
Белов Виктор Матвеевич, д-р техн. наук, проф., НГТУ, г. Новосибирск
Котенко Игорь Витальевич, д-р техн. наук, проф., СПИИРАН, г. Санкт-Петербург

Члены редакционного совета

Авдеенко Татьяна Владимировна, д-р техн. наук, проф., НГТУ, г. Новосибирск
Аверченков Владимир Иванович, д-р техн. наук, проф., Брянский ГТУ, г. Брянск
Алгулиев Расим Магомед оглу, д-р техн. наук, проф., академик НАН Республики Азербайджан, ИИТ НАН Республики Азербайджан, г. Баку
Аникин Игорь Вячеславович, д-р техн. наук, доцент, КНИТУ-КАИ, г. Казань
Арутюнян Мариам Евгеньевна, д-р физ.-мат. наук, проф., ИИиАП НАН Республики Армения, г. Ереван
Баранкова Инна Ильинична, д-р техн. наук, доцент, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск
Беззатеев Сергей Валентинович, д-р техн. наук, доцент, СПбГУАП, г. Санкт-Петербург
Боранбаев Сейлхан Нарбутинович, д-р техн. наук, проф., Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Республика Казахстан
Васильев Владимир Иванович, д-р техн. наук, проф., УГАТУ, г. Уфа
Воевода Александр Александрович, д-р техн. наук, проф., НГТУ, г. Новосибирск
Гатчин Юрий Арменакович, д-р техн. наук, проф., ИТМО, г. Санкт-Петербург
Громов Юрий Юрьевич, д-р техн. наук, проф., Тамбовский ГТУ, г. Тамбов
Иващук Ольга Александровна, д-р техн. наук, проф., НИУ «БелГУ», г. Белгород
Киселёва Тамара Васильевна, д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Кулаков Станислав Матвеевич, д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Кульба Владимир Васильевич, д-р техн. наук, проф., ИПУ РАН, г. Москва
Кытманов Алексей Александрович, д-р физ.-мат. наук, доцент, СФУ, г. Красноярск
Лавлинский Сергей Михайлович, д-р техн. наук, доцент, Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, г. Новосибирск
Ленский Артем, PhD, ст. науч. сотр., Австралийский национальный университет, г. Канберра
Магазев Алексей Анатольевич, д-р физ.-мат. наук, проф., ОмГТУ, г. Омск
Макарова Елена Анатольевна, д-р техн. наук, проф., УГАТУ, г. Уфа
Мышляев Леонид Павлович, д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Пагано Микеле, д-р, проф., Пизанский университет, г. Пиза, Италия

Пиотровский Дмитрий Леонидович, д-р техн. наук, проф., Средиземноморский Карпасский университет, Турецкая Республика Северного Кипра
Петрунин Юрий Юрьевич, д-р филос. наук, проф., МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва
Тузиков Александр Васильевич, д-р физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН Республики Беларусь, ОИПИ НАН Республики Беларусь, г. Минск
Харин Юрий Семенович, д-р физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН Республики Беларусь, БГУ, г. Минск
Ходашинский Илья Александрович, д-р техн. наук, проф., ТУСУР, г. Томск
Шарипов Бахыт Жапарович, д-р пед. наук, проф., Международный университет информационных технологий, г. Алматы, Республика Казахстан
Ячиков Игорь Михайлович, д-р техн. наук, проф., МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск

Редакция

Главный редактор

Вострецов Алексей Геннадьевич, д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, НГТУ, г. Новосибирск

Заместитель главного редактора

Белов Виктор Матвеевич, д-р техн. наук, проф., НГТУ, г. Новосибирск

Заведующий редакцией

Архипова Анастасия Борисовна, канд. техн. наук, доцент, НГТУ, г. Новосибирск

Технический редактор

Прыткова Оксана Владимировна, НГТУ, г. Новосибирск
Грищенко Лев Аркадьевич, НГТУ, г. Новосибирск

Журнал зарегистрирован 01.03.2021 Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-80320

Адрес издателя и редакции: 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20.
E-mail: office@publish.nstu.ru и digital-tech-security@mail.ru
Web site: http://publish.nstu.ru и http://journals.nstu.ru/digital-tech-security/

Publisher and editorial office adress: 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

До номера 1(100) 2021 г. включительно журнал выходил с названием «Сборник научных трудов НГТУ» (ISSN 2307-6879)

16+

© Коллектив авторов, 2021
© Новосибирский государственный технический университет, 2021

БЕЗОПАСНОСТЬ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ISSN 2782-2230

№ 2 (101) **2021**

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

Зеленчук Н.А., Приставка Е.Д., Малявко А.А. Компилятор с языка программирования EL: усовершенствование и развитие 9

Пиотровский Д.Л., Куколев А.А., Подгорный С.А. Моделирование системы определения частоты синусоидальных сигналов на основе нейросетевой структуры 20

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Белов В.М., Востриков В.В., Ардаева А.А. Построение прогнозной модели при диагностике и лечении бесплодия 32

Ворожейкин В.Н., Баранов А.С. Задача организации телемедицинских консультаций в чрезвычайных ситуациях для больниц, удаленных от клиник городского центра 49

Гаврильев Э.И., Авдеенко Т.В. Модель оценки квалификации IT-специалистов в области разработки программного обеспечения 67

Косов Д.Л. Социально значимая деятельность: алгоритмическое обеспечение оценивания качества 85

Петрунин Ю.Ю., Пугачёва А.Е. Имплементация технологий искусственного интеллекта для отбора персонала российских компаний 97

МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Архипова А.Б., Каревский Д.Р. Honeypot как инструмент создания эффективной защищенной системы 122

Карпова Н.Е., Емелина А.А. Разработка системы мониторинга действий пользователя в информационной системе 136

Ложников П.С., Жумажанова С.С. Модель преобразователя «биометрия-код» на основе искусственных нейронных сетей для анализа термограмм лица субъектов 154

Правила для авторов 166

Выпускающий редактор *И.П. Бровановa*
Корректор *Л.Н. Киншт*
Компьютерная верстка *С.И. Ткачева*

Лицензия № ИД 04303 от 20.03.01. Подписано в печать 18.06.2021. Выход в свет 25.06.2021
Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Тираж 300 экз. Уч.-изд. л. 9,76
Печ. л. 10,5. Изд. № 110. Заказ № 624. Цена свободная

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

Editorial board

Novosibirsk State Technical University

Editorial council

Chairman of the editorial council

Vostretsov A.G., Dr. Sc. (Eng.), Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, RF

Deputy chairman

Belim S.V., Dr. Sc. (Phys. & Math.), Omsk State Technical University, Omsk, RF
Belov V.M., Dr. Sc. (Eng.), Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, RF
Kotenko I.V., Dr. Sc. (Eng.), St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, RF

The members of the editorial council

Avdeenko T.V., Dr. Sc. (Eng.), Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, RF
Averchenkov V.I., Dr. Sc. (Eng.), Bryansk State Technical University, Bryansk, RF
Alguliyev R.M.o., Dr. Sc. (Eng.), Azerbaijan National Academy of Sciences, Institute of Information Technology, Baku, AZE
Anikin I.V., Dr. Sc. (Eng.), Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, RF
Haroutunian M.E., Dr. Sc. (Phys. & Math.), Institute for Informatics and Automation Problems of NAS RA, Yerevan, ARM
Barankova I.I., Dr. Sc. (Eng.), Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, RF
Bezzateev S.V., Dr. Sc. (Eng.), Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, RF
Boranbaev S.N., Dr. Sc. (Eng.), L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, KZ
Vasil'ev V.I., Dr. Sc. (Eng.), Ufa State Aviation Technical University, UFA, RF
Voevoda A.A., Dr. Sc. (Eng.), Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, RF
Gatchin Yu.A., Dr. Sc. (Eng.), National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, RF
Gromov Yu.Yu., Dr. Sc. (Eng.), Tambov State Technical University, Tambov, RF
Ivashhuk O.A., Dr. Sc. (Eng.), Belgorod State National Research University, Belgorod, RF
Kiseljova T.V., Dr. Sc. (Eng.), Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, RF
Kulakov S.M., Dr. Sc. (Eng.), Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, RF
Kul'ba V.V., Dr. Sc. (Eng.), V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, RF
Kytmanov A.A., Dr. Sc. (Phys. & Math.), Siberian Federal University, Krasnoyarsk, RF
Lavlinskij S.M., Dr. Sc. (Eng.), Sobolev Institute of Mathematics of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, RF
Lenskij A., PhD, Australian National University, Canberra, AUS
Magazev A.A., Dr. Sc. (Phys. & Math.), Omsk State Technical University, Omsk, RF
Makarova E.A., Dr. Sc. (Eng.), Ufa State Aviation Technical University, Ufa, RF

Myshljaev L.P., Dr. Sc. (Eng.), Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, RF
Pagano M., Dr. Sc., University of Pisa, Pisa, IT
Piotrovskij D.L., Dr. Sc. (Eng.), University of Mediterranean Karpasia, Turkish Republic of Northern Cyprus, CYP
Petrunin Yu.Yu., Dr. Sc. (Philos.), Lomonosov Moscow State University, Moscow, RF
Tuzikov A.V., Corresponding Member, National Academy of Sciences of Republic Belarus, Dr. Sc. (Phys. & Math.), United Institute of Informatics Problems, Minsk, BLR
Harin Yu.S., Corresponding Member, National Academy of Sciences of Republic Belarus, Dr. Sc. (Phys. & Math.), Belarusian State University, Minsk, BLR
Hodashinskij I.A., Dr. Sc. (Eng.), Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, RF
Sharipov B.Zh., Dr. Sc. (Ped.), International University of Information Technology, Almaty, KZ
Jachikov I.M., Dr. Sc. (Eng.), Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, RF

Editorial office

Chief editor

Vostretsov A.G., Dr. Sc. (Eng.), Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, RF

Deputy chief editor

Belov V.M., Dr. Sc. (Eng.), Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, RF

Head of the editorial office

Arhipova A.B., Candidate of Science (Eng.), Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, RF

Technical editor

Prytkova O.V., Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, RF
Grishchenko LA., Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, RF

Publisher and editorial adress: 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation
E-mail: office@publish.nstu.ru и digital-tech-security@mail.ru
Web site: http://publish.nstu.ru и http://journals.nstu.ru/digital-tech-security/

© Authors, 2021
© Novosibirsk State Technical University, 2021

DIGITAL TECHNOLOGY SECURITY

ISSN 2782-2230

№ 2 (101) **2021**

CONTENTS

AUTOMATION AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTIONS

Zelenchuk N.A., Pristavka E.D., Maliavko A.A. Compiler from El programing language: improvement and development..... 9

Piotrovsky D.L., Kukolev A.A., Podgorny S.A. Sine waves frequency identification system modeling based on artificial network operation..... 20

GOVERNANCE IN SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS

Belov V.M., Vostrikov V.V., Ardaeva A.A. Building a predictive model for diagnostics and treatment of infertility..... 32

Voroszheykin V.N., Baranov A.S. The task of organizing telemedicine consultations in emergency situations for hospitals remote from the clinics of the city center..... 49

Gavrilev E.I., Avdeenko T.V. Model for assessing the qualification of it specialists in software development 67

Kosov D.L. Socially significant activity: algorithmic provision of its quality assessment..... 85

Petrunin Yu.Yu., Pugacheva A.E. Implementation of artificial intelligence technologies in human resources management in Russian companies 97

METHODS AND SYSTEMS OF INFORMATION PROTECTION, INFORMATION SECURITY

Arkhipova A.B., Karevskiy D.R. Honeypot as a tool for creating an effective secure system..... 122

Karpova N.E., Emelina A.A. Development of the monitoring system for user's actions in the informational system 136
Lozhnikov P.S., Zhumazhanova S.S. Model of the "biometry-code" converter based on artificial neural networks for analysis of facial thermograms 154

Rules for authors..... 166

Editor *L.N. Kinsht*
Publishing Editor *I.P. Brovanova*
Computer imposition *S.I. Tkacheva*

License № ID 04303 from 20.03.01. Signed in print June 18, 2021
Date of publication June 25, 2021. Format 60 × 84 1/16
Offset Paper. Circulation is 300 copies. Educational-ed. liter. 9,76. printed pages 10,5
Publishing number 110. Order number 624

It is printed in printing house of Novosibirsk State Technical University
630073, Novosibirsk, 20 K. Marx Prospekt

БЕЗОПАСНОСТЬ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. – 2021. – № 2 (101). – 9–19

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 004.43 DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-9-19

КОМПИЛЯТОР С ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ EL: УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ*

Н.А. ЗЕЛЕНЧУК[1], Е.Д. ПРИСТАВКА[2], А.А. МАЛЯВКО[3]

[1] *630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, лаборант кафедры вычислительной техники. E-mail: nikita-zelenchuk@yandex.ru*
[2] *630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, лаборант кафедры вычислительной техники. E-mail: pristavka_katya@mail.ru*
[3] *630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники. E-mail: a.maliavko@corp.nstu.ru*

Реализация нового многопарадигменного (функционально-императивного) языка программирования El, разработанного на кафедре вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета, в виде компилятора связана с необходимостью поиска способов решения ряда сложных проблем. Текущая версия компилятора лишь частично реализует функциональные возможности языка и генерирует далеко не оптимальные исполняемые коды. В настоящей работе рассматриваются задачи эффективной компиляции El-программы с учетом необходимости реализации новых высокоуровневых структур данных (двусторонние списки, векторы со специальными формами доступа и ряд других) и управляющих структур языка, которые позволяют единообразно определять циклические и ветвящиеся вычислительные процессы, а также заложенных в языке механизмов для явного управления изменчивостью переменных. Кратко рассмотрены задачи совершенствования и развития компилятора, организованного по классической мультиплатформенной схеме, в которой front-end (лексический, синтаксический и семантический анализаторы) преобразует транслируемую программу в псевдокод единого формата, а в качестве back-end, превращающего псевдокод в исполняемый код для разных платформ, используется эффективная инфраструктура построения компиляторов LLVM. Выполнение всех возможных операций над элементами высокоуровневых структур данных (списки, кортежи, векторы), а также над числами произвольной точности вынесено в библиотеку поддержки времени выполнения

* Статья получена 14 апреля 2021 г.

и, соответственно, может быть глубоко оптимизировано. Для этой структуры сформулированы намеченные пути решения задачи разработки и улучшения компилятора путем глубокого реформирования и оптимизации цепочки преобразований транслируемой программы, реализуемой front-end. На начальном этапе планируется реализовать новый компилятор для двух платформ: Linux и Windows.

Ключевые слова: язык программирования, программа, компилятор, стандартная библиотека, высокоуровневые структуры данных, вектор, список, кортеж, цепочка преобразований, постфиксная форма записи, псевдокод, LLVM

ВВЕДЕНИЕ

Языки программирования принято условно делить на две большие группы, соответствующие императивной и функциональной парадигмам [1]. Особенностью первой является задание в программе точной последовательности действий, которую нужно выполнить для получения результата. Для второй характерно описание зависимостей между данными в виде функций, как правило, не хранящих внутренние состояния и не выполняющих изменения однажды вычисленных значений объектов программы. Достижение результата вычислений обеспечивается путем удовлетворения определенных зависимостей между исходными и промежуточными данными. Нередко эти парадигмы противопоставляются друг другу, однако в настоящее время имеется множество примеров их взаимопроникновения, т. е. реализации механизмов, присущих одной парадигме в языке, преимущественно относящемся к другой. Эту тенденцию принято называть мульипарадигменностью.

Разрабатываемый на кафедре вычислительной техники НГТУ функционально-императивный язык El [2] представляет новый подход к мультипарадигменности в сочетании с высокоуровневостью структур данных. Он во многом походит на функциональный язык Erlang [3], однако отличается от него рядом особенностей: возможностью управления изменяемостью переменных, расширенными высокоуровневыми структурами данных, возможностью явно задавать последовательно выполняемые вычисления в тех случаях, когда это необходимо.

Требования к современному программному обеспечению постоянно растут и требуют от программистов долгой и кропотливой работы над ним. Применение высокоуровневых структур данных языка El позволит разработчику не тратить время на написание собственного алгоритма формирования и обработки данных нужной структуры, а воспользоваться готовым решением без потерь производительности.

Новые структуры данных (двусторонние списки, специальные формы индексации векторов и др.) и новые управляющие конструкции языка El (в язы-

ке имеется единственный управляющий оператор by, позволяющий единообразно программировать циклы, переключатели и условные операторы) приводят к необходимости поиска и реализации в компиляторе новых эффективных алгоритмов поддержки императивно-функциональной парадигмы.

Компиляция El-программы – это цепочка преобразований представления программы [4] из исходного текста в объектный код для LLVM-компилятора. В процессе трансляции программа преобразуется вначале в последовательность токенов, затем в постфиксную запись этой последовательности, затем в псевдокод и, наконец, в объектный код.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Необходимо выполнить доработку существующей версии компилятора для реализации полного набора операций с высокоуровневыми структурами данных (списки, кортежи, векторы) в стандартной библиотеке El и оптимизации цепочки преобразований внутреннего представления El-программы в компиляторе.

Процессы развития и усовершенствования можно разбить на несколько подзадач, а именно:

1) переработка и оптимизация цепочки преобразований: исходный код – формирование постфиксной формы записи (далее – ПФЗ) – формирование псевдокода – формирование кода Low Level Virtual Machine intermediate representation (далее – LLVM IR);

2) структурирование и систематизация механизма преобразования;

3) усовершенствование и отладка механизма тестирования программ на языке El;

4) доработка расширения грамматики до полной для высокоуровневых структур данных – списков, кортежей, векторов – и формирование для них ПФЗ.

2. ВЫБОР СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ

Для разработки компилятора с языка El используются:

1) языки программирования C, C++ [5];

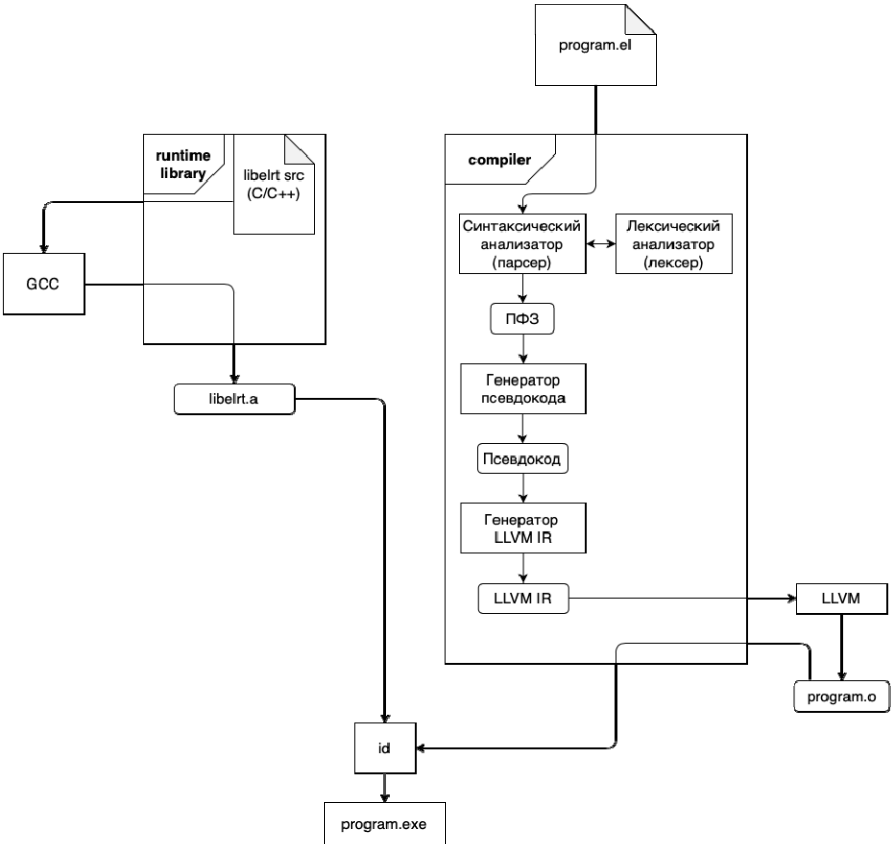
2) пакет программ автоматизации разработки трансляторов «ВебТрансЛаб», используемый в учебном процессе на кафедре вычислительной техники НГТУ [6];

3) кросс-платформенная IDE для C и C++ CLion [7];

4) инфраструктура проектирования компиляторов LLVM [8].

3. КОМПИЛЯТОР С ЯЗЫКА EL

На рисунке представлена структура компилятора языка El.



Структура компилятора языка El

The structure of the El language compiler

Работа компилятора организуется функцией main, которая обрабатывает параметры командной строки запуска, инициализирует необходимые классы и структуры данных, вызывает парсер (синтаксический анализатор, использующий лексический анализатор для получения очередных токенов по мере движения по правилам грамматики). Парсер формирует постфиксную форму

представления транслируемой программы во внутренних структурах данных. Если парсер завершился без обнаружения ошибок, то вызывается формирователь псевдокода, а затем – генератор ассемблерного кода для LLVM-компилятора. В случае, если все эти этапы также завершились без ошибок, выполняется запуск LLVM-компилятора, формирующего объектный модуль для целевой платформы, и, наконец, компилятора g++ [9] для сборки построенного объектного модуля с библиотекой времени выполнения. Если при выполнении какого-либо этапа были обнаружены критические ошибки, то последующие этапы компиляции не запускаются, вместо этого обеспечивается формирование диагностических сообщений об ошибках (при условии, что эти сообщения не формировались такими самостоятельными компонентами, как LLVM или g++ компиляторы).

3.1. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ВНУТРЕННЕГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТРАНСЛИРУЕМОЙ ПРОГРАММЫ

Компиляция программы является длительным и сложным процессом. Этот процесс включает в себя сразу несколько этапов, результатом каждого из них является некоторое промежуточное представление транслируемой программы, с которым далее работает очередной этап компилятора [10]. Кратко опишем этапы следующей цепочки преобразований: формирование ПФЗ – формирование псевдокода – формирование кода LLVM IR.

Первым этапом преобразования исходного кода программы на языке El является обратная польская запись (далее – ПФЗ). Этот этап выполняется в процессе синтаксического разбора. ПФЗ – это такое промежуточное представление программы, в котором последовательность появления знаков любых операций совпадает с требуемой последовательностью их выполнения.

Исходная программа на языке El представляется последовательностью токенов, как и ПФЗ. Однако в ПФЗ отсутствуют скобки, которые меняют порядок выполнения операций, а также токены, которые требуются для разметки (разграничения) элементов программы по правилам языка. В ПФЗ токен может являться либо именем операнда, либо знаком операции.

Следующим за ПФЗ промежуточным представлением является псевдокод. Псевдокод представляет собой последовательность инструкций. Компилятор языка El использует в качестве псевдокода трехадресный код, в котором каждая инструкция содержит код операции, имена операндов и имя результата.

Псевдокод является промежуточной формой программы, которую строит транслятор для фиксации той последовательности операций, которую должен будет выполнять компьютер. Псевдокод в компиляторе El, как и постфиксная запись, представлен STL-контейнером vector, хранящим экземпляры PseudoCommand. Для преобразования ПФЗ в псевдокод используется следу-

ющий алгоритм: сперва создается пустой стек операндов, а затем из постфиксной записи извлекаются токены по одному, и если текущий токен является именем операнда, то он помещается в стек. Если текущей токен – знак операции, то из стека извлекаются операнды в количестве, равном арности операции. Если операция вырабатывает какой-либо результат, для него формируется имя и помещается в стек операндов для обработки следующими операциями. Совокупность знака операции, операндов и имени вырабатываемого результата образует одну инструкцию псевдокода. Генерация псевдокода происходит отдельными блочными структурами, так как исходный код программы значимо отличается от генерируемого объектного кода из-за определенных особенностей языка El. Сформированные блоки в дальнейшем достаточно просто объединить в нужной последовательности.

Заключительным этапом является генерация объектного кода. С целью поддержки множества различных целевых платформ компилятор языка программирования El использует средство поддержки разработки компиляторов LLVM. Полученный на предыдущих этапах трансляции псевдокод в последующем подвергается преобразованию в исходный код на языке ассемблера LLVM, после чего компилятор LLVM создает объектный модуль для целевой платформы, затем запускает компилятор LLVM. Он представляет собой последовательность инструкций для некой виртуальной машины и построен таким образом, чтобы из каждой инструкции можно было сформировать четко определенную последовательность инструкций для виртуальной машины LLVM [11].

При генерации кода LLVM первым делом в начало файла помещается блок деклараций. Сгенерированный LLVM-код содержит в себе вызовы библиотечных функций (см. следующий подраздел), поэтому компилятор LLVM должен знать их имена, сигнатуры и типы возвращаемого значения, также блок декларации содержит в себе объявление всех функций из библиотеки языка. После этого шага генерируется код функций модуля. Каждая скомпилированная функция принимает два аргумента:

1) указатель на переменную – кортеж, содержащий значения фактических аргументов;

2) указатель на переменную, в которую должно быть помещено возвращаемое значение.

3.2. ВЫСОКОУРОВНЕВЫЕ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ ЯЗЫКА EL И ОПЕРАЦИИ НАД НИМИ

В языке El runtime-библиотека состоит из набора условно независимых модулей кода. В каждом модуле содержится код, предназначенный для работы с каким-либо типом данных языка El. Общие для всех типов данных опе-

рации определены в модуле el_types (например, операция «+»). В функциях, определенных в этом модуле, производится обработка ошибок, подготовка к вызову, выбор и вызов реализации операции для соответствующего переданным аргументам типа данных. В программе на языке LLVM IR в основном присутствуют объявления обобщенных операций из модуля el_types.

Доработка runtime-библиотеки описывает следующие высокоуровневые структуры данных [12] и операции над ними.

1. Список

Списком традиционно называют структуру данных, содержащую ссылки на предыдущий и/или следующий элемент [13]. В языке El списки двусвязные, т. е. допускают доступ к элементам как с головы, так и с хвоста. Этот тип данных может содержать одновременно несколько элементов любых типов (списки, кортежи, векторы и т. д.). Над списками можно выполнять такие операции, как слияние и удаление всех элементов.

2. Вектор

Вектор – это структура данных с фиксированным числом элементов одного и того же типа [14]. Эту структуру данных часто называют одномерным массивом. В языке El к ней могут применяться все знаки операций, также можно получить индексы элементов и размерность вектора.

3. Кортеж

Кортежем называют неизменяемый аналог списка [15]. Он защищает данные от непреднамеренных изменений. В языке El кортеж, как правило, представляет собой совокупность разнородных элементов данных. Они записываются в программе в виде последовательности элементов, заключенных в круглые скобки. Кортежи в некотором смысле аналогичны структурам в C/C++ [16] с тем отличием, что их элементы не имеют имен. Однако использование записей и соответствующих объявлений переменных позволяет обращаться к элементам кортежей по именам. Для кортежей существует ряд методов, позволяющих узнавать количество элементов, извлекать и заменять элементы данных по номеру.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе описан подход к доработке и усовершенствованию компилятора для языка El, сочетающего в себе особенности двух парадигм программирования – функциональной и императивной. Кратко описана необходимая последовательность преобразований внутреннего представления транслируемой программы и установлены требования к операциям над высокоуровневыми структурами данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Себеста Р.В.* Основные концепции языков программирования: пер. с англ. – 5-е изд. – М.: Вильямс, 2001. – 672 с.

2. *Малявко А.А.* Функционально-императивный язык программирования El // Научный вестник НГТУ. – 2018. – № 1 (70). – С. 117–136. – DOI: 10.17212/1814-1196-2018-1-117-136.

3. *Чезарини Ф., Томпсон С.* Программирование в Erlang. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 488 с.

4. Компиляторы: принципы, технологии и инструментарий: пер. с англ. / А.В. Ахо, М.С. Лам, Р. Сети, Д.Д. Ульман. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2008. – 1184 с.

5. C++ Programming Language: website. – URL: https://devdocs.io/cpp/ (accessed: 28.05.2021).

6. *Малявко А.А.* Использование веб-приложений и веб-технологий при разработке учебного программного обеспечения для изучения методов трансляции // Современное образование: технические университеты в модернизации экономики России: материалы Международной научно-методической конференции, 27–28 января 2011 года. – Томск: ТУСУР, 2011. – С. 45–46.

7. CLion: web-сайт. – URL: https://www.jetbrains.com/ru-ru/clion/ (дата обращения: 28.05.2021).

8. *Лопес Б.К., Аулер Р.* LLVM: инфраструктура для разработки компиляторов. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 342 с.

9. GCC online documentation: web-сайт. – URL: https://gcc.gnu.org/onlinedocs/ (accessed: 28.05.2021).

10. *Хантер Р.* Проектирование и конструирование компиляторов: пер. с англ. / предисл. В.М. Савинкова. – М.: Финансы и статистика, 1984. – 232 с.

11. LLVM Language Reference Manual: web-сайт. – URL: https://llvm.org/docs/LangRef.html (дата обращения 05.03.2021).

12. *Ахо А.В., Хопкрофт Д., Ульман Д.Д.* Структуры данных и алгоритмы. – М.: Вильямс, 2000. – 384 с.

13. *Володин А.М., Дрождин В.В.* Разнообразие структур данных // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. – 2009. – № 13 (17). – С. 79–83.

14. Структура данных – вектор: web-сайт. – URL: https://russianblogs.com/article/11141566726/ (дата обращения: 28.05.2021).

15. Кортежи. – URL: https://lawbooks.news/programmirovanie_964/kortezi-68448.html (дата обращения: 28.05.2021).

16. Структуры данных. – URL: http://www.realcoding.net/articles/strukturydannykh.html (дата обращения: 28.05.2021).

Зеленчук Никита Андреевич, лаборант кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – языки программирования и теория трансляции. E-mail: nikitazelenchuk@yandex.ru

Приставка Екатерина Дмитриевна, лаборант кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – языки программирования и теория трансляции. E-mail: pristavka_katya@mail.ru

Малявко Александр Антонович, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – языки программирования и теория трансляции, нейронные сети, параллельные вычисления. Имеет более 60 публикаций. E-mail: a.maliavko@corp.nstu.ru

DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-9-19

Compiler from El programing language: improvement and development*

N.A. Zelenchuk[1], E.D. Pristavka[2], A.A. Maliavko[3]

[1] *Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, laboratory assistant of Faculty of Automation and Computer Science, of the department of computer engineering. E-mail: nikitazelenchuk@yandex.ru*

[2] *Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, laboratory assistant of Faculty of Automation and Computer Science, of the department of computer engineering. E-mail: pristavka_katya@mail.ru*

[3] *Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, candidate of technical sciences, associate professor of the computer engineering department. E-mail: a.Maliavko@corp.nstu.ru*

The implementation of the new multi-paradigm (functionally- imperative) programming language El, developed at the Department of Computer Science of the Novosibirsk State Technical University, in the form of a compiler is associated with the need to find ways to solve a number of complex problems. The current version of the compiler does implement only partially functionality of the language and generates far from optimal executable codes. In this paper, we consider the problem of an efficient compilation of an El-program, taking into account the need to implement new high-level data structures (two-sided lists, vectors with special forms of access, and a number of others) and control structures of the language, which make it possible to uniformly define cyclic and branching computational processes, as well as those laid down in the language a mechanism for explicitly controlling the mutability of variables. The tasks of improving and developing a compiler organized according to the classical multi-platform scheme are briefly considered, in which the front-end (lexical, syntactic, and

* *Received 14 April 2021.*

semantic analyzers) converts the program to be translated into pseudocode of a single format, and used efficient infrastructure for building LLVM compilers as a back-end that turns pseudocode into executable code for different platforms. Execution of all possible operations on elements of high-level data structures (lists, tuples, vectors), as well as on arbitrary-precision numbers, has been moved to the runtime support library and, accordingly, can be deeply optimized. For this structure, the outlined ways of solving the problem of developing and improving the compiler by deep reforming and optimization of the chain of transformations of the translated program implemented by the front-end are formulated. At the initial stage, it is planned to implement a new compiler for two platforms: Linux and Windows.

Keywords: programming language, program, compiler, standard library, high-level data structures, vector, list, tuple, chain of conversions, postfix notation, pseudocode, LLVM

REFERENCES

1. Sebesta R.W. *Concepts of programming languages*. Boston, Addison Wesley, 2002 (Russ. ed.: Sebesta R.V. *Osnovnye kontseptsii yazykov programmirovaniya*. Moscow, Vil'yams Publ., 2001. 672 p.).

2. Malyavko A.A. Funktsional'no-imperativnyi yazyk programmirovaniya El [The El functional-imperative programming language]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2018, no. 1 (70), pp. 117–136. DOI: 10.17212/1814-1196-2018-1-117-136.

3. Cesarini F., Thompson S. *Erlang programming*. Beijing, Cambridge, O'Reilly, 2009 (Russ. ed.: Chezarini F., Tompson S. *Programmirovanie v Erlang*. Moscow, DMK Press, 2012. 488 p.).

4. Aho A.V., Lam M.S., Sethi R., Ullman J.D. *Compilers: principles, techniques & tools*. 2nd ed. Boston, Pearson Addison Wesley, 2007 (Russ. ed.: Akho A.V., Lam M.S., Seti R., Ul'man D.D. *Kompilyatory: printsipy, tekhnologii i instrumentarii*. Moscow, Vil'yams, 2008. 1184 p.).

5. *C++ Programming Language:* website. Available at: https://devdocs.io/cpp/ (accessed 28.05.2021).

6. Malyavko A.A. [Using web applications and web technologies in the development of educational software for studying methods of translation]. *Sovremennoe obrazovanie: tekhnicheskie universitety v modernizatsii ekonomiki Rossii*: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-metodicheskoi konferentsii [Materials of the scientific and methodological conference "Modern education: technical universities in the modernization of the Russian economy"]. Tomsk, TUSUR Publ., 2011, pp. 45–46. (In Russian).

7. *CLion*: website. Available at: https://www.jetbrains.com/ru-ru/clion/ (accessed 28.05.2021).

8. Lopes B., Auler R. *Getting started with LLVM core libraries*. Birmingham, Packt Publishing, 2014 (Russ. ed.: Lopes B, Auler R. *LLVM: infrastruktura dlya razrabotki kompilyatorov*. Moscow, DMK Press, 2015. 342 p.).

9. *GCC online documentatio*n: website. Available at: https://gcc.gnu.org/onlinedocs/ (accessed 28.05.2021).

10. Hanter R. *The design and construction of compilers*. Chichester, New York, Wiley, 1981 (Russ. ed.: Khanter R. *Proektirovanie i konstruirovanie kompilyatorov*. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1984. 232 p.).

11. *LLVM Language Reference Manual*: website. Available at: https://llvm.org/docs/LangRef.html (accessed 28.05.2021).

12. Aho A.V., Hopcroft J.E., Ullman J.D. *Data structures and algorithms*. Reading, Addison-Wesley, 1983 (Russ. ed.: Akho A.V., Khopkroft D., Ul'man D.D. *Struktury dannykh i algoritmy*. Moscow, Vil'yams Publ., 2000. 384 p.).

13. Volodin A.M., Drozhdin V.V. Raznoobrazie struktur dannykh [The variety of data structure]. *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V. G. Belinskogo*, 2009, no. 13 (17), pp. 79–83. (In Russian).

14. *Struktura dannykh – vektor* [Data structure – vector]. Available at: https://russianblogs.com/article/11141566726/ (accessed 28.05.2021).

15. *Kortezhi* [Tuples]. (In Russian). Available at: https://lawbooks.news/programmirovanie_964/korteji-68448.html (accessed 28.05.2021).

16. *Struktury dannykh* [Data structures]. (In Russian). Available at: http://www.realcoding.net/articles/struktury-dannykh.html (accessed 28.05.2021).

Для цитирования:

Зеленчук Н.А., Приставка Е.Д., Малявко А.А. Компилятор с языка программирования EL: усовершенствование и развитие // Безопасность цифровых технологий. – 2021. – № 2 (101). – С. 9–19. – DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-9-19.

For citation:

Zelenchuk N.A., Pristavka E.D., Maliavko A.A. Kompilyator s yazyka programmirovaniya EL: usovershenstvovanie i razvitie [Compiler from El programing language: improvement and development]. *Bezopasnost' tsifrovykh tekhnologii = Digital technology security*, 2021, no. 2 (101), pp. 9–19. DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-9-19.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. – 2021. – № 2 (101). – 20–31

УДК 62-791.2 DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-20-31

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ СИНУСОИДАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ*

Д.Л. ПИОТРОВСКИЙ[1], А.А. КУКОЛЕВ[2], С.А. ПОДГОРНЫЙ[3]

[1] *109004, РФ, г. Москва, ул. Земляной Вал, 73, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского, доктор технических наук, профессор. E-mail: piotrovsky2005@yandex.ru*
[1] *9900, Турецкая Республика Северного Кипра, Никосия, ул. Сержанта Юсуфа Эчвета, 79, Средиземноморский университет Карпассии, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой пилотирования. E-mail: piotrovsky2005@yandex.ru*
[2] *350072, РФ, г. Краснодар, ул. Московская, 2, Кубанский государственный технологический университет, аспирант кафедры автоматизации производственных процессов. E-mail: sashanius@yandex.ru*
[3] *350072, РФ, г. Краснодар, ул. Московская, 2, Кубанский государственный технологический университет, доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации производственных процессов. E-mail: saptich@rambler.ru*

Синусоидальная составляющая лежит во множестве повседневных периодических процессов, окружающих человека, – от природных до узкоспециализированных рукотворных: социальных, экономических, технических, биологических. Интерес к этому вопросу проявлялся постоянно, что стало тенденцией к развитию определенных теорий, основанных на методах наименьших квадратов, дискретных преобразованиях Фурье и пр. Техническая сторона вопроса представлена множеством процессов волновой природы – распространением звука, света, волновым движением масс сред. В частности, примером непосредственной необходимости измерения частотных характеристик синусоидального воздействия является морской транспорт, где судовые движительные комплексы неизбежно сталкиваются с изменением воздействий морской среды при изменении погодных условий. Особенно это касается северных широт – в частности, Северного морского пути, где суровость климата сочетается с постоянно растущим интересом государств к увеличению грузооборота, в частности сжиженного природного газа. В этой связи отсутствие алгоритмического обеспечения по оптимизации работы судового главного двигателя может вылиться в значительные материальные издержки, связанные с повышенным расходом топлива, значительными вибрациями и износом основных и вспомогательных узлов двигательного агрегата. Поэтому в связи с возросшей тенденцией к интеграции нейросетевых структур в промышленное производство авторами была предпринята попытка рассмотре-

* Статья получена 15 апреля 2021 г.

ния возможности использования нейронной сети для определения частоты зашумленного низкочастотного синусоидального сигнала. Полученные результаты доказали справедливость утверждения о возможности использования нейросетевых структур в распознавании образов синусоидальных сигналов [1], однако точность измерений оказалась недостаточной ввиду слабой проработанности алгоритма распознавания и малого размера обучающей выборки.

Ключевые слова: нейронная сеть, управление, распознавание, сигнал, обучение, моделирование, синусоида, обратное распространение ошибки

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря определенной ранее возможности использования нейросетевых структур в задаче распознавания образов синусоидальных сигналов [1] поставлен вопрос о снижении среднеквадратичной ошибки работы интеллектуальной системы, так как в практических целях зачастую необходима высокая точность измерений входного сигнала. Работа существующей системы в динамике определила некоторые сложности и недоработки ввиду необходимости постоянной подачи на вход структуры непрерывного синусоидального сигнала. Актуальным стал вопрос дискретизации и формирования массива значений, поступающих на вход входного слоя структуры. В то же время первостепенным остался вопрос повышения точности системы в переходных процессах. Целесообразность использования нейросетевой структуры обусловлена гибкостью и возможностью обучения в процессе эксплуатации, что может быть актуально в условиях работы вдали от завода-изготовителя или в условиях недостатка или отсутствия информационной и технической поддержки [2–10]. Явным преимуществом, кроме того, является возможность адаптации к изменяющимся характеристикам внешних воздействий, появлению шумов измерений, что, в свою очередь, ведет не только к расширению диапазонов измерений, но и к поддержанию требуемых критериев точности.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Очевидна целесообразность дальнейшей модернизации существующего алгоритма распознавания синусоидального сигнала с целью увеличения точности измерений и снижения влияния шумов. Для достижения этой цели была поставлена задача разработать модифицированную нейросетевую структуру, способную в динамике измерять частоту поданного на вход синусоидального сигнала, провести анализ динамики изменения среднеквадратичной ошибки при изменении частоты входного сигнала с 0,07 до 0,13 Гц. Поставленную задачу разумно решать в три этапа. На первом этапе имеет смысл определение структуры искусственной нейронной сети (ИНС), размеров и структуры массивов

данных обучающей выборки. На втором этапе целесообразно разработать структуру модели системы распознавания образа синусоидального сигнала, а также алгоритм дискретизации входного непрерывного сигнала. На третьем этапе предлагается провести моделирование работы системы распознавания, сформировать заключение о целесообразности дальнейшей модификации или доработки актуального алгоритма.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Так как процесс обучения текущей конфигурации системы построен на подаче на вход ИНС массива числовых значений, не зависящих от времени, то работа подобной системы распознавания образа синусоидального сигнала в динамике также будет характеризоваться необходимостью постоянной подачи на вход ИНС массива данных непрерывного входного сигнала. В связи с этим актуальной становится задача дискретизации входного сигнала (рис. 1).

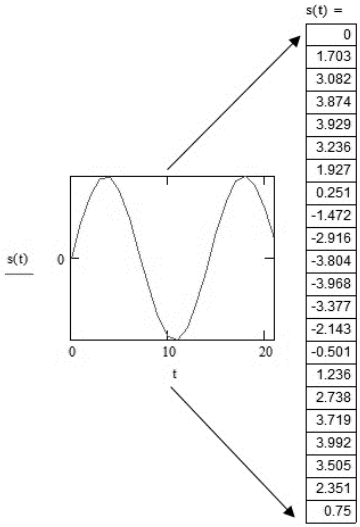


Рис. 1. Распределение значений непрерывного сигнала по вектор-столбцу обучающей выборки

Fig. 1. Continuous control value signal assignment as a training sample column vector

Однако процесс обучения ИНС в этом случае также должен претерпеть ряд изменений. В частности, поступающие на вход ИНС вектор-столбцы числовых значений синусоидального сигнала при работе в динамике в момент времени $T = nt$ (где n – число итераций входного сигнала, t – шаг дискретизации входного сигнала) должны сдвигаться на одну итерацию вверх, сохраняя значения синусоидального сигнала на временном промежутке $T - t$.

В связи с этим обучающая выборка, состоящая при статическом расчете в непосредственной подаче на вход ИНС всех временных значений синусоидального сигнала с шагом времени t, для ИНС, работающей в динамике, должна быть заменена на выборку расширенного объема, содержащую в каждой своей строке или столбце последовательность значений синусоидального сигнала на участках времени $t_1 = nt$, $t_2 = nt + t$, $t_3 = nt + 2t$ и т. д. Таким образом, конфигурация всего массива обучающих данных для 21 итерации сигнала вида $s_{\sin} = A\sin(2\pi f \cdot t)$ с частотой $f = 0{,}07$ Гц будет иметь вид

$$S_{0.07} = \begin{bmatrix} s(t_0) & \dots & s(t_{20}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s(t_{19}) & \dots & s(t_{19}) \end{bmatrix}. \qquad (1)$$

В соответствие входному массиву обучающей выборки ставится вектор-столбец целевых значений частоты. Для частоты 0,07 Гц он будет полностью заполнен значением 0,07 Гц:

$$F_{0,07} = \begin{bmatrix} 0,07 \\ \vdots \\ 0,07 \end{bmatrix}. \qquad (2)$$

В качестве обучаемой ИНС к рассмотрению предлагается сеть, состоящая из 21 нейрона во входном слое, пяти нейронов в первом скрытом слое, трех нейронов во втором скрытом слое, трех – в третьем и одного – в выходном слое. Как и прежде, процесс обучения сводится к определению весовых коэффициентов, а также активационных функций с целью уменьшения среднеквадратичной ошибки в разнице эталонных и полученных результатов. Задавая максимальное количество эпох обучения равным 100, заданное значение СКО равным $E = 10e - 5$, скорость обучения равной 0,05, в программном пакете Matlab для заданной ИНС можно получить следующий результат (рис. 2).

Дискретизация входного непрерывного сигнала в данном случае осуществляется в программном пакете Matlab Simulink при помощи вспомогательного блока *Array builder* (рис. 2), осуществляющего регистрацию значе-

ний синусоидального сигнала на протяжении 21 итерации с интервалом 1 с и подающего данный массив в инвертированном виде на вход ИНС. Регистрация значений синусоиды реализована при помощи блоков задержки *Transport delay*, настроенных на задержку времени в 1 с. Таким образом, каждая итерация времени характеризуется подачей на вход ИНС массива значений синусоидального сигнала с задержкой в 1 с [2].

Общий вид модели для определения частоты входного синусоидального сигнала представлен на рис. 3. В состав модели входят четыре блока: источник входного измеряемого сигнала, блок формирования входной выборки, ИНС, а также блок определения точности измерения. Источник входного сигнала состоит из блоков арифметических вычислений, блока вычисления тригонометрической функции синуса, а также источника изменяющейся частоты.

Вышеупомянутый блок формирования входной выборки состоит из блоков задержки *Transport delay,* а также блока инверсирования входного массива. Блок определения точности состоит из блоков арифметических вычислений СКО в соответствии с формулой [11]

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Y_i - P_i)^2. \qquad (3)$$

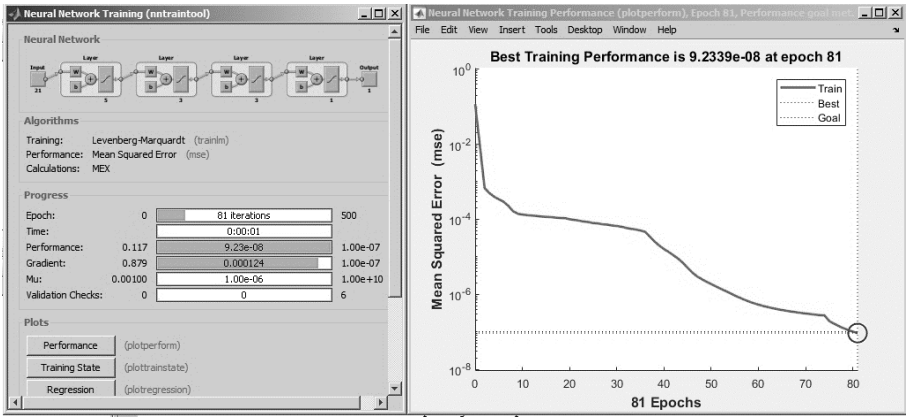


Рис. 2. Результаты обучения моделируемой ИНС по алгоритму Лавенберга–Марквардта

Fig. 2. Neural network training performance in accordance with Lavenberg–Markvardt algorithm

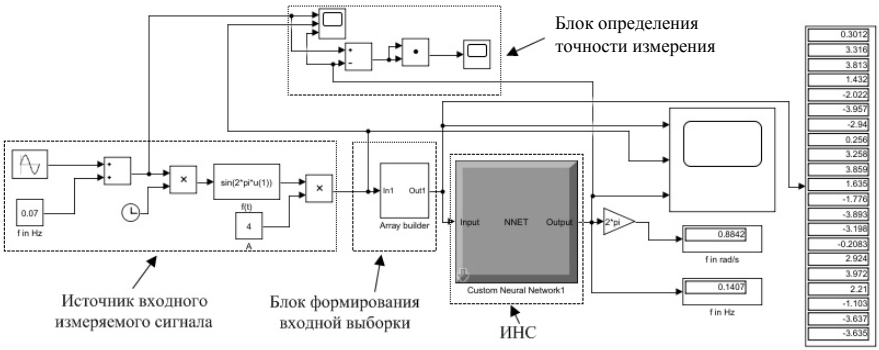


Рис. 3. Общий вид модели для определения частоты входного синусоидального сигнала

Fig. 3. General view of the input sine wave signal frequency definition model

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для получения корректных значений процесс моделирования целесообразно задать с фиксированным шагом, равным 1 с [12, 13]. Как было определено выше, работу модели в данном случае необходимо рассмотреть при изменении частоты входящего сигнала с 0,07 до 0,14 Гц. По этой причине источник входного сигнала необходимо настроить на изменение входного сигнала на заданном диапазоне. Время прохождения заданного диапазона зададим равным 300 с. На практике изменение частоты входного сигнала на заданном диапазоне в течение промежутка времени, равного 5 мин, может иметь место при движении масс морской воды и смягчении погодных условий в некотором районе моря или океана. Измерение этих значений может иметь фундаментальное значение для задач оптимизации управления технологическим процессом на морском транспорте [14].

Запуск процесса моделирования и пошаговая обработка полученных значений позволяют судить о справедливости и корректности разработанного алгоритма обучения и работы ИНС (рис. 4).

При изменении частоты входного сигнала с 0,07 до 0,14 Гц (рис. 4, график *1*) в пределах 20 с работа ИНС имеет участок неопределенности, в котором она демонстрирует нестабильную работу. Этот участок обусловлен отсутствием в обучающей выборке последовательностей значений синусоиды до момента полного заполнения вектор-столбца входных значений ИНС $S(t_0)\ldots S(t_{19})$. По мере полного заполнения входного вектор-столбца ИНС

значениями $S(t)$ ИНС инициирует процесс определения частоты входящего сигнала, при этом демонстрируя определенную динамику изменения среднеквадратичной ошибки $E = f(t)$ (рис. 5).

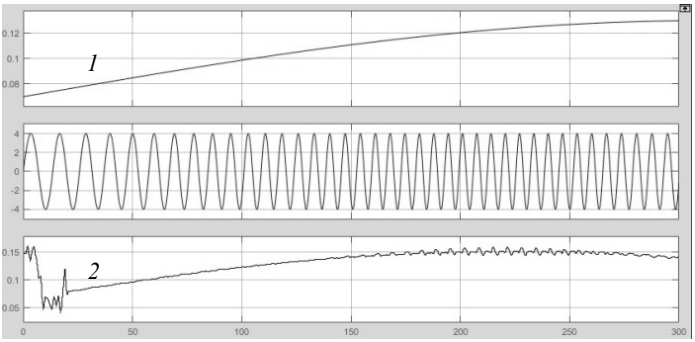


Рис. 4. Полученные графики переходных процессов изменения частоты синусоидального сигнала и сигнала на выходе ИНС

Fig. 4. Artificial neural network input signal processing charts

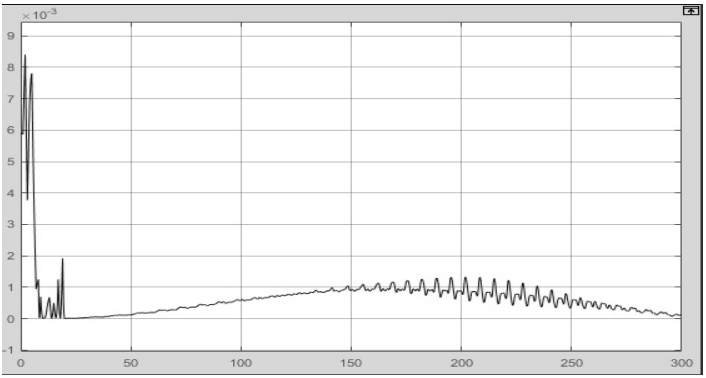


Рис. 5. Динамика изменения среднеквадратичной ошибки ИНС

Fig. 5. Mean squared error processing dynamics

В соответствии с рис. 5 можно сделать вывод о том, что при увеличении частоты входящего сигнала ИНС в конфигурации 21–5–3–3–1 также имеет тенденцию к увеличению ошибки, однако максимальное ее значение состав-

ляет $E = 1,2 \cdot 10^{-3}$, что можно считать допустимым значением в высоко инертных процессах [15].

Полученные в процессе моделирования результаты позволяют судить о достижении поставленных в исследовании целей. Точность работы ИНС в задаче определения частоты входного синусоидального сигнала авторами признается достаточной для решения ряда практических задач, где не требуется значительное быстродействие и где обслуживание и настройка технических систем может быть осложнена территориальной удаленностью объектов от средств информационной и технической поддержки, т. е. в районах Крайнего Севера и на морском транспорте [16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дальнейшая задача исследования сводится к интеграции полученного алгоритма в конкретную техническую систему автоматического управления с целью оптимизации задач управления и к снижению колебательности на неустойчивых режимах при работе под нагрузкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Куколев А.А., Пиотровский Д.Л., Подгорный С.А.* Нейронные сети в распознавании образов синусоидальных сигналов // Материалы XXI Всероссийской научно-практической конференции «Общество. Наука. Инновации» (НПК-2021). – Вятский государственный университет, 2021.

2. *Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю.* Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М.: Физматлит, 2001. – 224 с.

3. *Каллан Р.* Нейронные сети: краткий справочник. – М.: Вильямс, 2017. – 288 с.

4. *Редько В.Г.* Эволюция, нейронные сети, интеллект: модели и концепции эволюционной кибернетики. – М.: Ленанд, 2019. – 224 с.

5. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс. – М.: Диалектика, 2019. – 1104 с.

6. *Васильев А.Н. Тархов Д.А.* Принципы и техника нейросетевого моделирования. – М.: Огни, 2019. – 632 с.

7. *Галушкин А.И.* Нейрокомпьютеры: учебное пособие. – М.: Альянс, 2021. – 528 с.

8. *Гелиг А.Х., Матвеев А.С.* Введение в математическую теорию обучаемых распознающих систем и нейронных сетей: учебное пособие. – М.: Изд-во СПбГУ, 2021. – 224 с.

9. *Круглов В.В., Борисов В.В.* Искусственные нейронные сети: теория и практика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2021. – 382 с.

10. Элементарное введение в технологию нейронных сетей с примерами программ / Р. Тадеусевич, Б. Боровик, Т. Гончаж, Б. Леппер. – М.: Горячая линия – Телеком, 2021. – 282 с.

11. *Sajedian I., Rho R.* Accurate and instant frequency estimation from noisy sinusoidal waves by deep learning // Nano Convergence. – 2019. – Vol. 6 (1).

12. *Медведев В.С., Потемкин В.Г.* Нейронные сети: MATLAB 6 / под общ. ред. В.Г. Потемкина. – М.: Диалог-МИФИ, 2002. – 496 с.

13. *Бодянский Е.В., Руденко О.Г.* Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения. – Харьков: Телетех, 2004. – 264 с.

14. *Yu D., Deng L.* Deep Learning and its applications to signal and information processing // IEEE Signal Processing Magazine. – 2011. – Vol. 28, N 1. – P. 145–154. – DOI: 10.1109/MSP.2010.939038.

15. *Бураков М.В.* Нейронные сети и нейроконтроллеры: учебное пособие. – СПб.: ГУАП, 2013. – 286 с.

16. *Хайдуков О.П., Дмитриев А.Н., Запорожцев Г.Н.* Эксплуатация электроэнергетических систем морских судов: справочник. М.: Транспорт, 1988. – 233 с.

Пиотровский Дмитрий Леонидович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой пилотирования Средиземноморского университета Карпассии, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского. Основное направление научных исследований – автоматизированные системы управления технологическими процессами. Имеет более 200 публикаций. E-mail: Dmitrii.piotrovskii@akun.edu.tr

Куколев Александр Александрович, аспирант кафедры автоматизации производственных процессов Кубанского государственного технологического университета. Основное направление научных исследований – автоматизированные системы управления технологическими процессами. E-mail: sashanius@yandex.ru

Подгорный Сергей Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации производственных процессов Кубанского государственного технологического университета. Основное направление научных исследований – автоматизированные системы управления массообменными процессами. Имеет более 70 публикаций. E-mail: saptich@rambler.ru

DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-20-31

Sine waves frequency identification system modeling based on artificial network operation*

D.L. Piotrovsky[1], A.A. Kukolev[2], S.A. Podgorny[3]

[1] *Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management", 74 Zemlyanoy Val Street, Moscow, 109004, Russian Federation, professor. E-mail: piotrovsky2005@yandex.ru*
[1] *University of Mediterranean Karpasia , 79 Sht. Ecvet Yusuf Street, Lefkosa, Turkish Republic of Northern Cyprus, Dr., professor. E-mail: piotrovsky2005@yandex.ru*
[2] *Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya Street, Krasnodar, 350072, Russian Federation, PHD student of the automation of industrial processes department. E-mail: sashanius@yandex.ru*
[3] *Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya Street, Krasnodar, 350072, Russian Federation, doctor of technical sciences, professor of the automation of industrial processes department. E-mail: saptich@rambler.ru*

Sine wave contribution can be observed in many casual periodic processes- starting with nature and finishing with complex hand-made processes like social, economic, technical and biological. This sphere of science have been staying under strict society attention thus having promoted and developed different theories, based on discrete Fourier transform, least squares methods and so on. Technical problem in question can be represented by the list of different processes of wave nature, e.g. sound and light occurrence, wave motion of different mediums. One of the most actual problems in question examples is marine sine wave impact identification for the marine ship main engine speed of rotation adjustment– the process, where control object inevitably is subject to load impact fluctuations. Especially evident this object can be concerned for the Northern Sea Route area, where climate severity is next to the states freights turnover increase desire. In this case marine main engine speed of rotation adjustment without specific control algorithm can be considered to be ineffective because of efficiency drops, increased parts and facilities run-outs. That is why, due to neural networks integration trend into industry processes, we tried to attempt building a separate neural network for defining the frequency of a noisy low-frequency sine wave. The obtained results [1] proved sine waves frequency identification possibility with the help of artificial network, however accuracy was found to be unacceptable because of sketchy algorithm elaboration and small learning array size.

Ключевые слова: neural network, control, identification, signal, learning, modeling, sine wave, BDF

REFERENCES

1. Kukolev A.A., Piotrovsky D.L., Podgorny S.A. [Neural networks in sine waves identification]. *Materialy XXI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Obshchestvo. Nauka. Innovatsii" (NPK-2021)* [Materials of the XXI All-

* *Received 15 April 2021.*

Russian Scientific and Practical Conference “Society. The science. Innovations” (NPK-2021)]. Vyatskii gosudarstvennyi universitet, 2021. (In Russian).

2. Kruglov V.V., Dli M.I., Golunov R.Yu. *Nechetkaya logika i iskusstvennye neironnye seti* [Fuzzy logic and artificial neural networks]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2001. 224 p.

3. Callan R. *Neironnye seti: kratkii spravochnik* [Neural networks: a brief reference]. Moscow, Williams Publ., 2017. 288 p. (In Russian).

4. Red'ko V.G. *Evolyutsiya, neironnye seti, intellekt: modeli i kontseptsii evolyutsionnoi kibernetiki* [Evolution, neural networks, intelligence: models and concepts of evolutionary cybernetics]. Moscow, Lenand Publ., 2019. 224 p.

5. Haykin S. *Neironnye seti: polnyi kurs* [Neural networks: a complete course]. Moscow, Dialektika Publ., 2019. 1104 p. (In Russian).

6. Vasil'ev A.N. Tarkhov D.A. *Printsipy i tekhnika neirosetevogo modelirovaniya* [Principles and techniques of neural network modeling]. Moscow, Ogni Publ., 2019. 632 p.

7. Galushkin A.I. *Neirokomp'yutery* [Neurocomputers]. Moscow, Al'yans Publ., 2021. 528 p.

8. Gelig A.Kh., Matveev A.S. *Vvedenie v matematicheskuyu teoriyu obuchaemykh raspoznayushchikh sistem i neironnykh setei* [Introduction to the mathematical theory of trainable recognition systems and neural networks]. Moscow, St. Petersburg State University Publ., 2021. 224 p.

9. Kruglov V.V., Borisov V.V. *Iskusstvennye neironnye seti: teoriya i praktika* [Artificial neural networks. Theory and practice]. monogr. Moscow, Hotline-Telecom Publ., 2021. 382 p.

10. Tadeusevich R., Borovik B., Gonchazh T., Lepper B. *Elementarnoe vvedenie v tekhnologiyu neironnykh setei s primerami programm* [Elementary introduction to the technology of neural networks with examples of programs]. Moscow, Hotline-Telecom Publ., 2021. 282 p. (In Russian).

11. Sajedian I., Rho R. Accurate and instant frequency estimation from noisy sinusoidal waves by deep learning. *Nano Convergence*, 2019, vol. 6 (1).

12. Medvedev V.S., Potemkin V.G. *Neironnye seti: MATLAB 6* [Neural networks. MATLAB 6]. Moscow, Dialog-MIFI Publ., 2002. 496 p.

13. Bodyanskiy Ye.V., Rudenko O.G. *Iskusstvennye neironnye seti: arkhitektury, obuchenie, primeneniya* [Artificial neural networks: architectures, learning, applications]. Kharkiv, Teletech Publ., 2004. 264 p.

14. Yu D., Deng L. Deep Learning and its applications to signal and information processing. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2011, vol. 28, no. 1, pp. 145–154. DOI: 10.1109/MSP.2010.939038.

15. Burakov M.V. *Neironnye seti i neirokontrollery* [Neural networks and neurocontrollers]. St. Petersburg, GUAP Publ., 2013. 286 p.

16. Khaidukov O.P., Dmitriev A.N., Zaporozhtsev G.N. *Ekspluatatsiya elektroenergeticheskikh sistem morskikh sudov* [Operation of electric power systems of marine vessels]. Moscow, Transport Publ., 1988. 233 p.

Для цитирования:

Пиотровский Д.Л., Куколев А.А., Подгорный С.А. Моделирование системы определения частоты синусоидальных сигналов на основе нейросетевой структуры // Безопасность цифровых технологий. – 2021. – № 2 (101). – С. 20–31. – DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-20-31.

For citation:

Piotrovsky D.L., Kukolev A.A., Podgorny S.A. Modelirovanie sistemy opredeleniya chastoty sinusoidal'nykh signalov na osnove neirosetevoi struktury [Sine waves frequency identification system modeling based on artificial network operation]. *Bezopasnost' tsifrovykh tekhnologii = Digital technology security*, 2021, no. 2 (101), pp. 20–31. DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-20-31.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. – 2021. – № 2 (101). – 32–48

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 618:51-7 DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-32-48

ПОСТРОЕНИЕ ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ И ЛЕЧЕНИИ БЕСПЛОДИЯ*

В.М. БЕЛОВ[1], В.В. ВОСТРИКОВ[2], А.А. АРДАЕВА[3]

[1] *630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор кафедры защиты информации. E-mail: vmbelov@mail.ru*
[2] *656038, РФ, г. Барнаул, пр. Ленина, 40, Алтайский государственный медицинский университет, кандидат медицинских наук, доцент кафедры акушерства и гинекологии с курсом ДПО. E-mail: wkoctar@mail.ru*
[3] *630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, магистрант кафедры вычислительной техники. E-mail: nastya.ardaeva@yandex.ru*

В сложившейся демографической ситуации в России проблема бесплодия затрагивает 12…15 % населения, что является вызовом здравоохранению, обществу и государству. Эффективность лечения бесплодия остается невысокой, что обусловлено множеством причин – как медицинских, так и социальных. Прогнозирование вероятности реализации репродуктивной функции является одной из важнейших задач репродуктивной медицины. Создание способов клинического прогнозирования преодоления бесплодия позволит оптимизировать диагностику и лечение этого недуга. В работе сформулированы и решены задачи по созданию способа клинического прогнозирования диагностики и лечения бесплодия. Рассмотрены существующие модели прогнозирования при преодолении бесплодия. Определены их преимущества и недостатки. Последние заключаются как в сложности учета и прогнозирования индивидуальных возможностей к зачатию оцениваемых супружеских пар, так и в консерватизме используемых медицинских и применяемых вычислительных технологий, что снижает качество и эффективность прогнозов. Показана структура бесплодия после комплексного обследования пациентов за продолжительный период времени. Выделены пять групп пациентов с учетом особенностей, длительности и других причин бесплодия. Введены понятия коэффициента репродуктивной активности (КРА), показателя репродуктивного здоровья (ПРЗ) и показателя репродуктивной готовности (ПРГ). Предложен вариант расчета этих величин, обозначены диапазоны их возможных значений. В качестве ключевой характеристики для клинического прогнозирования при преодолении бесплодия предложен ПРГ. Его значения могут быть спроецированы на четыре группы исходов в диагностике и лечении бесплодия, три из которых предполагают непосредственное обращение за медицинской помощью в специализированное лечебное учреждение. В статье приведен обобщенный алгоритм применения ПРГ в про-

* Статья получена 16 апреля 2021 г.

гнозной деятельности врача. Даны практические рекомендации по использованию ПРГ пациентом. Также проведен вычислительный эксперимент по расчету значений ПРГ для нескольких пациентов с дальнейшим анализом полученных результатов.

Ключевые слова: бесплодие, репродуктивное здоровье, модель прогнозирования, показатель репродуктивной готовности, вспомогательные репродуктивные технологии, обобщенный алгоритм прогнозирования, модель Templeton, динамическая модель McLernon D. Etal., коэффициент репродуктивной активности

ВВЕДЕНИЕ

В сложившейся демографической ситуации в России проблема бесплодия затрагивает 12…15 % населения, что является вызовом здравоохранению, обществу и государству. Эффективность лечения бесплодия остается невысокой, что обусловлено множеством причин – как медицинских, так и социальных. Прогнозирование вероятности реализации репродуктивной функции является одной из важнейших задач репродуктивной медицины. Создание способов клинического прогнозирования преодоления бесплодия позволит оптимизировать диагностику и лечение этого недуга.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– провести анализ существующих моделей клинического прогнозирования;

– провести анализ структуры бесплодного брака на основании обращений на специализированный прием по бесплодию;

– сформировать показатели и коэффициенты, которые возможно использовать при диагностике и лечении бесплодия;

– выполнить построение обобщенного алгоритма прогнозирования при диагностике и лечении бесплодия;

– провести прогнозирование на конкретных примерах;

1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В ПРАКТИКЕ РЕПРОДУКТОЛОГИИ

Основная цель формирования математической модели – детальная оценка особенностей влияния отдельных факторов анамнеза, клинической ситуации и их сочетания на результативность выбранного лечения. Математическое прогнозирование позволяет исключить субъективность жизненного опыта и перевести множественные качественные клинические характеристики в количественно выраженный прогноз.

В создавшейся ситуации способы клинического прогнозирования результатов преодоления бесплодия позволят оптимизировать тактику ведения пациентов.

Модели клинического прогнозирования широко используются в мировой практике для формулировки диагноза и предсказания результативности лечения [3–5]. Одной из первых работ в этой области явилось исследование Varma T.R. et al., опубликованное в 1987 году, где авторы привели сравнительную оценку результативности лечения и исходов разных причин бесплодия. В поздние годы было разработано несколько моделей прогнозирования, цель которых – предсказать шансы пары на естественное зачатие либо наступление беременности с учетом проводимого лечения [1–5]. Одной из наиболее известных математических моделей в обсуждаемой нами области исследования является созданная на основе регистра вспомогательных репродуктивных технологий (ВРТ) Великобритании модель Templeton [11]. Используя данные о возрасте пациентки, длительности и причине бесплодия, паритета беременностей и их исхода, алгоритм Templeton позволяет рассчитать индивидуальную вероятность наступления беременности при экстракорпоральном оплодотворении (ЭКО) [11].

Также отметим, что несомненный интерес представляет динамическая модель McLernon D. Etal. (2019 год), которая позволяет определить вероятность зачатия при выжидательной тактике лечения бесплодия в сравнении с активной тактикой лечения. Динамическая модель определения вероятности зачатия при выжидательной тактике лечения бесплодия была апробирована на 554 парах пациентов [14].

Далее в качестве значимого результата можно выделить алгоритм расчета индекса фертильности у пациентов с бесплодием и сопутствующим эндометриозом после хирургического лечения [1, 2]. Знание значения индекса фертильности, прогнозирующего вероятность естественного зачатия после хирургического вмешательства при эндометриозе, дает уверенность пациентам с хорошим прогнозом в преодолении бесплодия и позволяет избежать потерянного времени в лечении пациентов с плохим прогнозом [6].

Наиболее полным обзором в области моделирования в репродуктологии является работа [15].

Тем не менее при использовании алгоритмов прогнозирования обычно неизвестно, улучшится или ухудшится в дальнейшем прогноз преодоления заболевания [6–8, 10]. Поэтому важно не только предсказать результативность лечения, но и предложить диагностический или терапевтический план действий. Это как раз обеспечит переход от предсказаний к принятию взвешенных решений [9, 12, 13].

В доступных источниках нам не удалось обнаружить универсальной модели клинического прогнозирования и правил принятия решений в диагностике и лечении бесплодия. Современные принципы персонализированной медицины требуют принятия лечебной тактики, разработанной для конкретного пациента, сводят к минимуму побочные эффекты и повышают эффек-

тивность лечения. Тем не менее в реальных условиях процессы персонализации сталкиваются с серьезными проблемами принятия решения. Опыт врача, доступность существующих технологий, представление пациентов о своем заболевании и стоимость лечения не всегда способствуют соблюдению принципа персонифицированной медицины. Неадекватная оценка многочисленных клинических признаков бесплодия приводит к значительным потерям времени и увеличению себестоимости реализации репродуктивной функции.

Ниже приведем очевидные недостатки существующих моделей. Во-первых, оцениваемые супружеские пары имеют разные шансы на зачатие, хороший / плохой прогноз к зачатию. Во-вторых, исключив пары с высокой или низкой вероятностью наступления беременности при моделировании, оставшаяся группа становится более предвзятой в прогнозировании. В-третьих, большинство рассмотренных моделей касаются ВРТ, прогнозирование вероятности естественного зачатия практически отсутствует. В-четвертых, используемые модели прогнозирования оценивают вероятность реализации репродуктивной функции в зависимости от результатов обследования и не имеют поправок на время, прошедшее после обследования, и увеличение возраста. В-пятых, следует заметить, что модели прогнозирования мало эффективны при повторных тестированиях, несмотря на увеличение возраста и продолжительности бесплодия, свидетельствующих о более низком потенциале фертильности, что приводит к ошибочным оценкам.

Таким образом, на основании вышеизложенного актуальность разработки, проверки и интеграции в лечебно-диагностический процесс математической модели прогнозирования вероятности реализации репродуктивной функции у больных с бесплодием не вызывает сомнения.

Математическая модель является инструментом, помогающим медицинским работникам и пациентам принимать аргументированные решения относительно клинически эффективного, безопасного и экономически оптимального лечения.

Авторами был проведен анализ структуры бесплодного брака среди всех обратившихся в специализированную клинику по диагностике и лечению бесплодия в период с 2001 по 2018 г. Средний возраст обратившихся пациентов составил 33 года, а средняя продолжительность бесплодия – 3,5 года. Итоговые результаты комплексного обследования бесплодия пациентов за 2001–2018 гг. приведены на рис. 1.

С учетом особенностей, длительности и причин бесплодия все пациенты были разделены на 5 групп: выжидательная тактика у субфертильных пар; стимуляция овуляции при эндокринном бесплодии; хирургическая коррекция причин бесплодия; искусственная инсеминация; ВРТ (ЭКО/интрацитоплазматическая инъекция сперматозоида (метод ИКСИ), включая донацию ооцитов и суррогатное материнство).

Рис. 1. Структура бесплодия после комплексного обследования пациентов

Fig. 1. The structure of infertility after a comprehensive examination of patients

Таким образом, в настоящей статье авторами предпринята попытка формирования подходов к созданию прогнозной модели, которая позволила бы оптимизировать диагностику и лечение бесплодия у выделенных групп пациентов.

2. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

В результате решения вышеприведенных задач была разработана модель прогнозирования бесплодия, основанная на показателе репродуктивной готовности (ПРГ) в цифровом виде, характеризующем прогноз наступления беременности. Справедливости ради следует отметить, что понятие «показатель готовности» было введено ранее авторами настоящей статьи для анализа социальных и биологических систем, например, в работах [16–20].

ПРГ является универсальной характеристикой репродуктивных возможностей человека (пациента), учитывающей репродуктивное здоровье и его репродуктивную активность как в период половой зрелости, так и на протяжении всей жизни.

ПРГ (ПРГ $\in [0;100]$) выражается произведением коэффициента репродуктивной активности (КРА) и показателя репродуктивного здоровья (ПРЗ):

$$\text{ПРГ} = \text{КРА} \cdot \text{ПРЗ}, \tag{1}$$

где КРА – коэффициент репродуктивной активности $(\text{КРА} \in [0;1])$; ПРЗ – показатель репродуктивного здоровья $(\text{ПРЗ} \in [0;100])$.

КРА характеризует весь репродуктивный путь пациента на момент обращения к врачу, который заключается в положительных и отрицательных исходах его половой жизни, включая некоторые специфические биофизиологические особенности.

КРА вычисляется как произведение соответствующих коэффициентов: коэффициента возраста; коэффициента овуляции; коэффициента фертильности спермы; коэффициента продолжительности бесплодия; коэффициента трубного благополучия и некоторых других коэффициентов, определяемых для конкретного пациента на момент обращения в соответствующее медицинское учреждение:

$$\text{КРА} = \prod_{i=1}^{m} K_i, \tag{2}$$

где K_j – i-й из перечисленных выше коэффициентов; i – индекс сомножителя произведения коэффициентов; n – количество коэффициентов, определяющих КРА.

ПРЗ – второй сомножитель для вычисления ПРГ, отражающий репродуктивное здоровье человека (пациента) на момент обращения в медицинское учреждение (все сведения о состоянии здоровья человека, контролируемые в рамках существующих и проведенных исследований организма пациента).

ПРЗ вычисляется как сумма значений факторов (индикаторов репродуктивного здоровья), полученных экспертным путем (например, «роды в анамнезе», «аборты в анамнезе», «самопроизвольные выкидыши в анамнезе», «частые воспалительные заболевания (обострение аднексита, эндометрита)», «миома матки», «клинические формы нарушения менструальной функции», «реконструктивно-пластические операции на маточных трубах», «аднексэктомия в анамнезе», «избыточный вес (ожирение)», «гипотиреоз», «гиперандрогения» и т. д.), представленных в цифровом виде, скорректированных на группы сочетаний этих факторов. Группы сочетаний факторов представляют собой различные варианты их сочетаний в зависимости от индивидуальных особенностей пациентов. Ниже приведем формулу для вычисления ПРЗ:

$$\text{ПРЗ} = \sum_{j=1}^{m} \text{П}_j - \sum_{k=1}^{l} \text{ПС}_k, \tag{3}$$

где $П_j$ – j-й фактор в ПРЗ; j, k – индексы факторов в суммах; m – количество факторов, определяющих ПРЗ; $ПС_k$ – k-й фактор сочетаний; l – количество факторов сочетаний.

После вычислений полученные значения ПРГ можно спроецировать на одну из четырех групп, определяющих уровень ПРГ: высокий ($ПРГ \in [75;100]$), средний ($ПРГ \in [50;75]$), низкий ($ПРГ \in [25;50]$), неопределенный ($ПРГ \in [0;25]$) При высоком ПРГ ожидается спонтанная беременность в течение одного года. При среднем показаны ВРТ. Низкий показатель является основанием для донации гамет или суррогатного материнства, а при неопределенном показана медикаментозная или хирургическая коррекция выявленной патологии.

3. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПРГ

Ниже рассмотрим модельную ситуацию применения ПРГ в деятельности медицинского учреждения. В целях наиболее эффективного применения ПРГ предлагается на сайте медицинского учреждения разместить форму опроса пациента, в рамках которого он предоставляет ответы на вопросы (самоопрос) путем заполнения определенной формы.

На основании полученных ответов на вопросы осуществляется расчет КРА, ПРЗ, ПРГ, и результаты в обезличенном виде помещаются в базу данных (БД) медицинского учреждения, а также предоставляются клиенту со специальным идентификатором.

При получении ПРГ пациент может на его основании либо продолжить лечение у врача, либо сделать вывод об отсутствии необходимости обращения к врачу.

По идентификатору происходит распознавание клиента в БД медицинского учреждения. Пациент, имея на руках определенного уровня ПРГ, может самостоятельно принимать решение о посещении медучреждения, так как вместе с ПРГ он получает прогноз диагноза, тактики лечения, его продолжительности и стоимости. Запись пациента на прием к врачу осуществляется в том же окне расчета ПРГ кнопкой обращения в электронную регистратуру.

При приеме пациента у врача медицинского учреждения уже содержится информация о нем и предположительной тактике лечения пациента (результат самоопроса и возможные, уже хранившиеся его данные). При этом врач знакомится с определенным ПРГ пациента и в случае необхо-

димости проводит уточнение всех сопутствующих ему характеристик здоровья и лечения (уточняет информацию, назначает дополнительные исследования и т. д.).

Далее в БД медицинского учреждения (содержащую и карточку пациента) помещается указанная выше информация (данные опроса клиента и вычисленный на их основе ПРГ). В случае, если пациент отказался от посещения врача, обезличенная информация удаляется из БД (или удаление происходит по прошествии, например, трех месяцев).

Таким образом, использование ПРГ позволяет сократить время первичного опроса (приема) пациента у врача. ПРГ дает возможность определить направление лечения, его стоимость, а также необходимость проведения лечения на основании полученных предварительных данных.

Важно подчеркнуть, что в настоящий момент проводятся клинические испытания прогнозной модели ПРГ, которая позволит оценить шансы реализации репродуктивной функции у пациентов с бесплодием.

К положительным моментам ПРГ следует отнести его фундаментальность. В основе модели лежит оценка общей вероятности реализации репродуктивной функции, основанная и проверенная на постоянно пополняющихся БД, повышающих качество прогнозирования при увеличении объемов информации о каждом внесенном в БД пациенте.

Используя ПРГ с учетом индивидуальных данных пациента (объем оперативного лечения, уровни фолликулостимулирующего и антимюллерова гормонов, числа антральных фолликулов и т. д.), можно прогнозировать шансы наступления беременности и избежать раннего лечения у женщин с высокой вероятностью естественного наступления беременности, а также предотвратить задержку лечения в парах с низкой вероятностью наступления беременности.

Таким образом, учет ПРГ может способствовать выбору рациональной тактики лечения бесплодия как медицинским персоналом, так и пациентами. Оценка ПРГ позволит принимать непосредственное участие в прогнозировании как пациенту, так и врачу, что упростит процесс принятия решений о способе и времени лечения бесплодия. В конечном счете при принятии решений о лечении необходим не только индивидуальный прогноз вероятности естественного зачатия в конкретной паре, но и информация о возможной эффективности различных способов лечения.

4. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПРГ

Рассмотрим вычислительные примеры расчета ПРГ в деятельности врача на основе схемы, приведенной на рис. 2.

Пример 1

В первом примере приведем вычисление ПРГ пациента, который будет принадлежать группе ПРГ с высоким уровнем. Высокий уровень ПРГ показывает отсутствие необходимости обращения пациента к врачу: беременность может наступить естественным путем в короткие сроки.

После прохождения анкетирования пациентом были получены следующие оценки для коэффициентов K_j, необходимых для определения КРА:

1) коэффициент возраста $K_1 = 1$;

2) коэффициент овуляции $K_2 = 1$;

3) коэффициент фертильности спермы $K_3 = 1$;

4) коэффициент продолжительности бесплодия $K_4 = 1$;

5) коэффициент трубного благополучия $K_5 = 1$.

Таким образом, в соответствии с формулой (2) имеем

$$\text{КРА} = \prod_{i=1}^{5} K_j = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1 .$$

Общее количество факторов, используемых для расчета ПРЗ в рамках расчетного примера, – 41, а количество сочетаний факторов – 6 (соответственно для формулы (3) $m = 41$, $l = 6$).

В целях сокращения объема информации авторами принято решение не приводить перечисление значений для всех факторов и сочетаний факторов, необходимых для расчета ПРЗ (количественные значения факторов приведены в расчетной формуле ниже, значения сочетаний факторов равны нулю) в вычислительных примерах. Наиболее значимые наименования факторов были приведены во втором разделе статьи.

При вычислении ПРЗ воспользуемся формулой (3):

$$\text{ПРЗ} = \sum_{j=1}^{41} \text{П}_j - \sum_{k=1}^{6} \text{ПС}_k = (0+2+2+2+2+2+2+2+2+2+2+2+2+3+$$
$$+4+2+3+2+2+4+2+4+2+2+2+0+2+2+2+1+$$
$$+2+2+2+2+4+2+4+2+2+1+4+2) - 0 = 90.$$

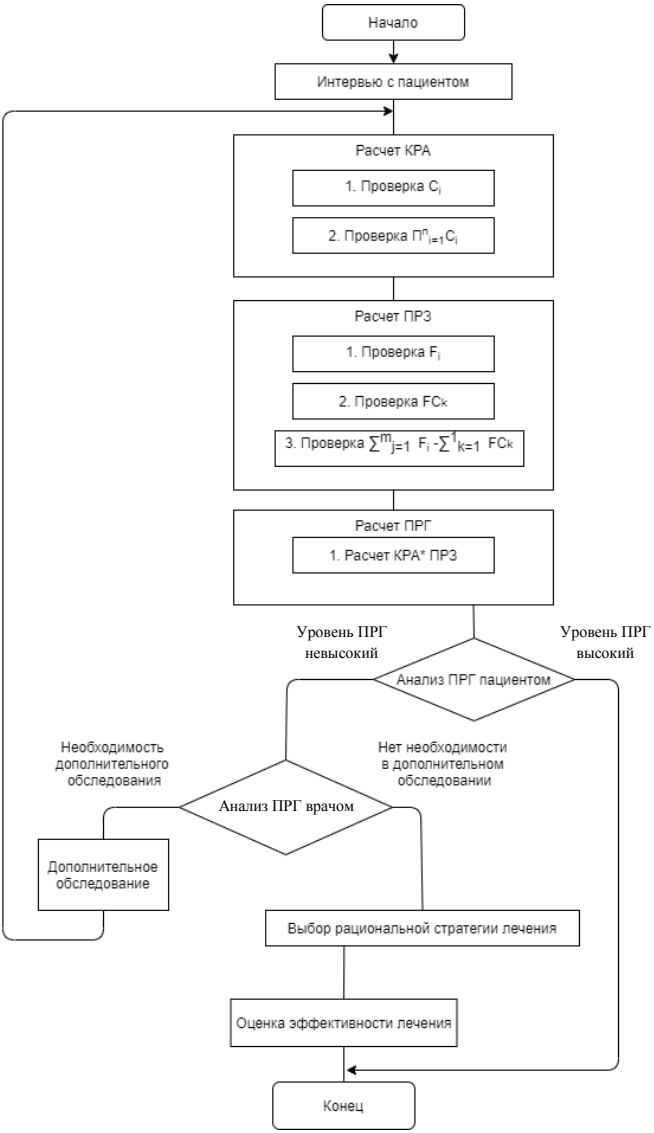


Рис. 2. Блок-схема алгоритма применения ПРГ в прогнозной деятельности врача

Fig. 2. Block diagram of the algorithm for applying *PRG* in the predictive activity of a doctor

В результате по формуле (1)

$$\text{ПРГ} = \text{КРА} \cdot \text{ПРЗ} = 1 \cdot 90 = 90.$$

Таким образом, ПРГ пациента соответствует группе высокого уровня для данного показателя. Последнее может стать сигналом для врача при назначении тактики лечения: в каких-либо медицинских манипуляциях нет необходимости, беременность может наступить без применения медицинских процедур.

Пример 2

В рамках второго вычислительного примера ПРГ будет принадлежать группе неопределенного уровня медицинского воздействия, когда наступление беременности без врачебного вмешательства практически невозможно.

Оценки коэффициентов K_i для определения КРА:

1) коэффициент возраста $K_1 = 0,5$;

2) коэффициент овуляции $K_2 = 0,5$;

3) коэффициент фертильности спермы $K_3 = 0,5$;

4) коэффициент продолжительности бесплодия $K_4 = 0,5$;

5) коэффициент трубного благополучия $K_5 = 0,5$.

Таким образом, в соответствии с формулой (2) имеем

$$\text{КРА} = \prod_{i=1}^{5} K_j = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,25.$$

Количественные значения факторов ПРЗ приведены в расчетной формуле ниже, сумма значений сочетаний факторов равна 2.

При вычислении ПРЗ применяем формулу (3):

$$\text{ПРЗ} = \sum_{j=1}^{41} \text{П}_j - \sum_{k=1}^{6} \text{ПС}_k = (2+1+2+2+0+2+2+2+2+2+2+2+2+2+2+$$
$$+1+1+2+2+2+2+4+2+2+2+0+2+2+0+2+2+2+2+2+$$
$$+4+2+4+2+2+2+3+2)-2 = 78.$$

В результате по формуле (1)

$$\text{ПРГ} = \text{КРА} \cdot \text{ПРЗ} = 0,25 \cdot 78 = 19,5.$$

Полученное значение позволяет говорить, что ПРГ пациента соответствует группе неопределенного уровня для данного показателя. В этом случае, как правило, показана медикаментозная или хирургическая коррекция выявленной патологии пациента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе впервые введены понятия ПРГ, КРА, ПРЗ для разработки модели прогнозирования диагностики и лечения бесплодия, а также представлены возможные способы расчета указанных выше характеристик. Авторами рассмотрены практические рекомендации по применению ПРГ во врачебной деятельности, показаны некоторые его преимущества, приведены примеры расчета ПРГ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Adamson G.D., Pasta D.J.* Endometriosis fertility index: the new, validated endometriosis staging system // Fertility and Sterility. – 2010. – Vol. 94 (5). – P. 1609–1615. – DOI: 10.1016/j.fertnstert.2009.09.035.

2. Evaluating prediction models in reproductive medicine / S.F. Coppus, F. van der Veen, B.C. Opmeer, B.W. Mol, P.M. Bossuyt // Human Reproduction. – 2009. – Vol. 24 (8). – P. 1774–1778. – DOI: 10.1093/humrep/dep109.

3. External validation of a prediction model for an ongoing pregnancy after intrauterine insemination / I.M. Custers, P. Steures, J.W. van der Steeg, T.J. van Dessel, R.E. Bernardus, P. Bourdrez, C.A. Koks, W.J. Riedijk, J.M. Burggraaff, F. van der Veen, B.W. Mol // Fertility and Sterility. – 2007. – Vol. 88. – P. 425–431.

4. Cost-effectiveness of ‘immediate IVF’ versus ‘delayed IVF’: a prospective study / M.J.C. Eijkemans, F.A.M. Kersten, A.M.E. Lintsen, C.C. Hunault, C.A.M. Bouwmans, L.H. Roijen, J.D.F. Habbema, D.D.M. Braat // Human Reproduction. – 2017. – Vol. 32 (5). – P. 999–1008. – DOI: 10.1093/humrep/dex018.

5. Two new prediction rules for spontaneous pregnancy leading to live birth among subfertile couples, based on the synthesis of three previous models / C.C. Hunault, J.D. Habbema, M.J. Eijkemans, J.A. Collins, J.L. Evers, E.R. Te Velde // Human Reproduction. – 2004. – Vol. 19. – P. 2019–2026.

6. Perinatal outcomes after stimulated versus natural cycle IVF: a systematic review and meta-analysis / M.S. Kamath, R. Kirubakaran, M. Mascarenhas, S.K. Sunkara // Reproductive BioMedicine Online. – 2018. – Vol. 36 (1). – P. 94–101. – DOI: 10.1016/j.rbmo.

7. Predicting the cumulative chance of live birth over multiple complete cycles of in vitro fertilization: an external validation study / J.A. Leijdekkers, M.J.C. Eijkemans, T.C. van Tilborg, S.C. Oudshoorn, D.J. McLernon, S. Bhattacharya, B.W.J. Mol, F.J.M. Broekmans, H.L. Torrance // Human Reproduction. – 2018. – Vol. 33, iss. 9. – P. 1684–1695. – DOI: 10.1093/humrep/dey263.

8. Prediction models in reproductive medicine: a critical appraisal / E.1. Leushuis, J.W. van der Steeg, P. Steures, P.M. Bossuyt, M.J. Eijkemans, F. van der Veen, B.W. Mol, P.G. Hompes // Human Reproduction Update. – 2009. – Vol. 15 (5). – P. 537–552. – DOI: 10.1093/humupd/dmp013.

9. Predicting the chances of a live birth after one or more complete cycles of in vitro fertilisation: population based study of linked cycle data from 113 873 women / D.J. McLernon, E.W. Steyerberg, E.R. Te Velde, A.J. Lee, S. Bhattacharya // BMJ. – 2016. – Vol. 355. – P. i5735. – DOI: 10.1136/bmj.i5735.

10. *Reilly B.M., Evans A.T.* Translating clinical research into clinical practice: impact of using prediction rules to make decisions // Annals of Internal Medicine. – 2006. – Vol. 144. – P. 201–209.

11. *Templeton A., Morris J.K., Parslow W.* Factors that affect outcome of in-vitro fertilisation treatment // The Lancet. – 1996. – Vol. 348(9039). – P. 1402–1406. – DOI: 10.1016/S0140-6736(96)05291-9.

12. Do clinical prediction models improve concordance of treatment decisions in reproductive medicine? / J.W. van der Steeg, P. Steures, M.J. Eijkemans, J.D. Habbema, P.M. Bossuyt, P.G. Hompes, F. van der Veen, B.W. Mol // BJOG. – 2006. – Vol. 113. – P. 825–831.

13. Individualized decision-making in IVF: calculating the chances of pregnancy / L. Loendersloot van, M. Wely van, S. Repping, P.M. Bossuyt, F. van der Veen // Human Reproduction. – 2013. – Vol. 28 (11). – P. 2972–2980. – DOI: 10.1093/humrep/det315.

14. Predicting the chances of having a baby with or without treatment at different time points in couples with unexplained subfertility / D.J. McLernon, A.J. Lee, A. Maheshwari, R. van Eekelen, N. van Geloven, H. Putter, M.J. Eijkemans, J.W. van der Steeg, F. van der Veen, E.W. Steyerberg, B.W. Mol, S. Bhattacharya // Human Reproduction. – 2019. – Vol. 34 (6). – P. 1126–1138. – DOI: 10.1093/humrep/dez049.

15. Making IVF more effective through the evolution of prediction models: is prognosis the missing piece of the puzzle? / M. Simopoulou, K. Sfakianoudis, N. Antoniou, E. Maziotis, A. Rapani, P. Bakas, G. Anifandis, T. Kalampokas, S. Bolaris, A. Pantou, K. Pantos, M. Koutsilieris // Systems Biology in Reproductive Medicine. – 2018. – Vol. 64 (5). – P. 305–323. – DOI: 10.1080/19396368.2018.1504347.

16. *Белов В.М., Пивкин Е.Н.* Оценка качества социально значимой деятельности в области инфокоммуникаций как условие осуществления комплексной безопасности Российской Федерации // Информационная безопасность в современном обществе: материалы научно-технической конференции. – Новосибирск: СибГУТИ, 2016. – С. 58–60.

17. *Крохалева А.Б.*, *Белов В.М.* Технология формирования показателей профессиональной готовности специалистов на современном рынке труда. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 152 с.

18. *Крохалева А.Б.*, *Белов В.М.* Общая модель оценки качества социально значимой деятельности: направление «Информационная безопасность» // Вестник СибГУТИ. – 2018. – № 1. – С. 3–12.

19. *Krokhaleva A.B., Belov V.M., Vostrikov V.V.* Generalized algorithm of estimation of quality of medicare // 14th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE-2018) – 44894. – Novosibirsk, 2018. – Vol. 1, pt. 4. – P. 140–145.

20. *Зырянова Е.В.*, *Белов В.М., Косов Д.Л.* Алгоритмический и программный инструментарий повышения качества законодательства: монография. – М.: Русайнс, 2019. –124 с.

Белов Виктор Матвеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – применение математических методов в различных областях науки, техники, общества. Имеет более 600научныхпубликаций. E-mail: vmbelov@mail.ru

Востриков Вячеслав Валерьевич, кандидат медицинских наук, доцент кафедры акушерства и гинекологии с курсом ДПО Алтайского государственного медицинского университета МЗ РФ, главный врач Сибирского института репродукции и генетики человека. Основные направления научных исследований – диагностика и лечение бесплодия. Имеет более 60 научных публикаций. E-mail: wkoctar@mail.ru

Ардаева Анастасия Андреевна, магистрант кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов – прикладная информатика, информационная безопасность. E-mail: nastya.ardaeva@yandex.ru

DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-32-48

Building a predictive model for diagnostics and treatment of infertility*

V.M. Belov[1], V.V. Vostrikov[2], A.A. Ardaeva[3]

[1] *630073, RF, Novosibirsk, Karl Marx Prospekt, 20, Novosibirsk State Technical University, doctor of technical sciences, professor of the Department of Information Security. E-mail: vmbelov@mail.ru*
[2] *656038, RF, Barnaul, Lenin Prospekt, 40, Altai State Medical University, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Obstetrics and Gynecology with a Course of Additional Vocational Education. E-mail: wkoctar@mail.ru*
[3] *1630073, Russian Federation, Novosibirsk, Karl Marx Prospekt, 20, Novosibirsk State Technical University, master's student of the Department of Computer Science. E-mail: nastya.ardae-va@yandex.ru*

In this work, the tasks of creating a method for clinical prediction of diagnosis and treatment of infertility are formulated and solved. The existing forecasting models for overcoming infertility are considered. Their advantages and disadvantages are determined. The latter are both in the complexity of accounting and forecasting the individual possibilities for conception of the estimated married couples, and in the conservatism of the medical and applied computing technologies used, which reduces the quality and efficiency of forecasts. The structure of infertility is shown after a comprehensive examination of patients over a long period. Five groups of patients were identified, taking into account the characteristics, duration and other causes of infertility. The concepts of the coefficient of reproductive activity (CRA), the indicator of reproductive health (RPH) and the indicator of reproductive readiness (PRH) are introduced, a variant of the calculation of these values is proposed, and the ranges of their possible values are indicated. The PRG was proposed as a key characteristic for clinical prediction in overcoming infertility. Its values can be projected into four groups of outcomes in the diagnosis and treatment of infertility, three of which involve direct referral to a specialized medical institution. The article presents a generalized algorithm for the use of PRG in the predictive activity of doctor Practical recommendations for the use of the PRG by the patient are given. In addition, a computational experiment was carried out to calculate the values of PRG for several patients with further analysis of the results obtained.

Keywords: infertility, reproductive health, forecasting model, reproductive readiness indicator

REFERENCES

1. Adamson G.D., Pasta D.J. Endometriosis fertility index: the new, validated endometriosis staging system. *Fertility and Sterility*, 2010, vol. 94 (5), pp. 1609–1615. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2009.09.035.

2. Coppus S.F., Veen F. van der, Opmeer B.C., Mol B.W., Bossuyt P.M. Evaluating prediction models in reproductive medicine. *Human Reproduction*, 2009, vol. 24 (8), pp. 1774–1778. DOI: 10.1093/humrep/dep109.

3. Custers I.M., Steures P., Steeg J.W. van der, Dessel T.J. van, Bernardus R.E., Bourdrez P., Koks C.A., Riedijk W.J., Burggraaff J.M., Veen F. van der, Mol B.W.

* *Received 16 April 2021.*

External validation of a prediction model for an ongoing pregnancy after intrauterine insemination. *Fertility and Sterility*, 2007, vol. 88, pp. 425–431.

4. Eijkemans M.J.C., Kersten F.A.M., Lintsen A.M.E., Hunault C.C., Bouwmans C.A.M., Roijen L.H., Habbema J.D.F., Braat D.D.M. Cost-effectiveness of ‘immediate IVF’ versus ‘delayed IVF’: a prospective study. *Human Reproduction*, 2017, vol. 32 (5), pp. 999–1008. DOI: 10.1093/humrep/dex018.

5. Hunault C.C., Habbema J.D., Eijkemans M.J., Collins J.A., Evers J.L., Te Velde E.R. Two new prediction rules for spontaneous pregnancy leading to live birth among subfertile couples, based on the synthesis of three previous models. *Human Reproduction*, 2004, vol. 19, pp. 2019–2026.

6. Kamath M.S., Kirubakaran R., Mascarenhas M., Sunkara S.K. Perinatal outcomes after stimulated versus natural cycle IVF: a systematic review and meta-analysis. *Reproductive BioMedicine Online*, 2018, vol. 36 (1), pp. 94–101. DOI: 10.1016/j.rbmo.

7. Leijdekkers J.A., Eijkemans M.J.C., Tilborg T.C. van, Oudshoorn S.C., McLernon D.J., Bhattacharya S., Mol B.W.J., Broekmans F.J.M., Torrance H.L. Predicting the cumulative chance of live birth over multiple complete cycles of in vitro fertilization: an external validation study. *Human Reproduction*, 2018, vol. 33, iss. 9, pp. 1684–1695. DOI: 10.1093/humrep/dey263.

8. Leushuis E.1., Steeg J.W. van der, Steures P., Bossuyt P.M., Eijkemans M.J., Veen F. van der, Mol B.W., Hompes P.G. Prediction models in reproductive medicine: a critical appraisal. *Human Reproduction Update*, 2009, vol. 15 (5), pp. 537–552. DOI: 10.1093/humupd/dmp013.

9. McLernon D.J., Steyerberg E.W., Te Velde E.R., Lee A.J., Bhattacharya S. Predicting the chances of a live birth after one or more complete cycles of in vitro fertilisation: population based study of linked cycle data from 113 873 women. *BMJ*, 2016, vol. 355, p. i5735. DOI: 10.1136/bmj.i5735.

10. Reilly B.M., Evans A.T. Translating clinical research into clinical practice: impact of using prediction rules to make decisions. *Annals of Internal Medicine*, 2006, vol. 144, pp. 201–209.

11. Templeton A., Morris J.K., Parslow W. Factors that affect outcome of in-vitro fertilisation treatment. *The Lancet*, 1996, vol. 348 (9039), pp. 1402–1406. DOI: 10.1016/S0140-6736(96)05291-9.

12. Steeg J.W. van der, Steures P., Eijkemans M.J., Habbema J.D., Bossuyt P.M., Hompes P.G., Veen F. van der, Mol B.W. Do clinical prediction models improve concordance of treatment decisions in reproductive medicine? *BJOG*, 2006, vol. 113, pp. 825–831.

13. Loendersloot L. van, Wely M. van, Repping S., Bossuyt P.M., Veen F. van der. Individualized decision-making in IVF: calculating the chances of pregnancy. *Human Reproduction*, 2013, vol. 28 (11), pp. 2972–2980. DOI: 10.1093/humrep/det315.

14. McLernon D.J., Lee A.J., Maheshwari A., Eekelen R. van, Geloven N. van, Putter H., Eijkemans M.J., Steeg J.W. van der, Veen F. van der, Steyerberg E.W.,

Mol B.W., Bhattacharya S. Predicting the chances of having a baby with or without treatment at different time points in couples with unexplained subfertility. *Human Reproduction*, 2019, vol. 34 (6), pp. 1126–1138. DOI: 10.1093/humrep/dez049.

15. Simopoulou M., Sfakianoudis K., Antoniou N., Maziotis E., Rapani A., Bakas P., Anifandis G., Kalampokas T., Bolaris S., Pantou A., Pantos K., Koutsilieris M. Making IVF more effective through the evolution of prediction models: is prognosis the missing piece of the puzzle? *Systems Biology in Reproductive Medicine*, 2018, vol. 64 (5), pp. 305–323. DOI: 10.1080/19396368.2018.1504347.

16. Belov V.M., Pivkin E.N. [Assessment of the quality of socially significant activities in the field of infocommunications as a condition for the implementation of integrated security in the Russian Federation]. *Informatsionnaya bezopasnost' v sovremennom obshchestve* [Information security in modern society]. Novosibirsk, SibSUTIS Publ., 2016, pp. 58–60. (In Russian).

17. Krokhaleva A.B., Belov V.M. *Tekhnologiya formirovaniya pokazatelei professional'noi gotovnosti spetsialistov na sovremennom rynke truda* [Technology of formation of indicators of professional readiness of specialists in the modern labor market]. Moscow, Hot line – Telecom Publ., 2017. 152 p.

18. Krokhaleva A.B., Belov V.M. Obshchaya model' otsenki kachestva sotsial'no znachimoi deyatel'nosti: napravlenie "informatsionnaya bezopasnost’" [General model for assessing the quality of socially significant activities: direction "information security"]. *Vestnik SibGUTI = Bulletin of SibSUTI*, 2018, no. 1, pp. 3–12.

19. Krokhaleva A.B., Belov V.M., Vostrikov V.V. Generalized algorithm of estimation of quality of medicare. *14th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE-2018) – 44894*, Novosibirsk, 2018, vol. 1, pt. 4, pp. 140–145.

20. Zyryanova E.V., Belov V.M., Kosov D.L. *Algoritmicheskii i programmnyi instrumentarii povysheniya kachestva zakonodatel'stva* [Algorithmic and software tools for improving the quality of legislation]. Moscow, Rusains Publ., 2019. 124 p.

Для цитирования:

Белов В.М., Востриков В.В., Ардаева А.А. Построение прогнозной модели при диагностике и лечении бесплодия // Безопасность цифровых технологий. – 2021. – № 2 (101). – С. 32–48. – DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-32-48.

For citation:

Belov V.M., Vostrikov V.V., Ardaeva A.A. Postroenie prognoznoi modeli pri diagnostike i lechenii besplodiya [Building a predictive model for diagnostics and treatment of infertility]. *Bezopasnost' tsifrovykh tekhnologii = Digital Technology Security*, 2021, no. 2 (101), pp. 32–48. DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-32-48.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. – 2021. – № 2 (101). – 49–66

УДК 681.5.09 DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-49-66

ЗАДАЧА ОРГАНИЗАЦИИ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ КОНСУЛЬТАЦИЙ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ДЛЯ БОЛЬНИЦ, УДАЛЕННЫХ ОТ КЛИНИК ГОРОДСКОГО ЦЕНТРА*

В.Н. ВОРОЖЕЙКИН[1], А.С. БАРАНОВ[2]

[1] *443100, РФ, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Самарский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры электронных систем и информационной безопасности. E-mail: vorojeikinvladimir@yandex.ru*
[2] *443100, РФ, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Самарский государственный технический университет, инженер кафедры электронных систем и информационной безопасности. E-mail: as_baranov@bk.ru*

Использование телемедицинских консультаций стало особенно популярным и актуальным в 2020 году в условиях ограничительных мер из-за пандемии COVID-19. Однако использовать средства связи для передачи медицинских показаний стали уже в начале XX века: первая передача сигналов электрокардиографии по телефонной связи была осуществлена в 1906 году, а в 1959 году в США впервые была проведена телевизионная консультация. На сегодняшний день большинство телемедицинских консультаций являются плановыми. Врачи подают заявки и необходимый пакет документов, после чего обращения рассматриваются и назначается дата проведения консультации. Для чрезвычайных ситуаций такой порядок действий не подходит, поскольку количество запросов может не соответствовать пропускной способности системы. В работе рассмотрена проблема применения телемедицинских консультаций в чрезвычайных ситуациях. Технологические аварии, тяжелые эпидемии не позволяют отправлять пострадавших в городской центр и требуют срочных операций и других медицинских действий на месте. В этой связи решается задача организации телемедицинских консультаций клиниками городского центра для больниц, удаленных от них. Эта проблема связана с решением следующих задач: построением системы управления телемедицинскими консультациями; разработкой математической модели распределения телемедицинских консультаций между больницами, количество которых значительно превышает количество клиник; разработкой алгоритмов оптимального управления (критерий времени) выполнения заявок телемедицинских консультаций в реальном масштабе времени; рассмотрением вопросов, связанных с информационной безопасностью системы. В результате в работе предложен подход к построению системы организации телемедицинских консультаций с использованием диспетчерско-медицинских центров. Сформулирована математическая постановка задачи. Разработан алгоритм распределения и функциониро-

* Статья получена 24 мая 2021 г.

вания системы, включающий больницы, диспетчерско-медицинский центр и клиники. Алгоритм использует математическую модель, реализующую рассматриваемую задачу. Для разработанной системы предложено программно-аппаратное обеспечение информационной безопасности.

Ключевые слова: телемедицинские консультации, больницы, клиники, заявки, распределение ресурсов, пациенты, математическая модель, алгоритм

ВВЕДЕНИЕ

Использование телемедицинских консультаций стало особенно популярным и актуальным в 2020 году в условиях ограничительных мер из-за пандемии COVID-19. Однако использовать средства связи для передачи медицинских показаний стали уже в начале XX века: первая передача сигналов электрокардиографии по телефонной связи была осуществлена в 1906 году, а в 1959 году в США впервые была проведена телевизионная консультация [1].

В научных статьях [2–14] рассмотрены различные аспекты проведения телемедицинских консультаций: организация для участников экспедиций, решение возникающих экономических вопросов, рассмотрение правовых аспектов, ответственность за оказание некачественных медицинских услуг, перспективы использования и применения в других странах.

В частности, Ю.И. Сенкевичем в работе [2] рассмотрена организация телемедицинских консультаций в полярных экспедициях. Автором предложена структурная схема телемедицинской системы, создана медицинская авторизованная информационная система.

А.П. Столбов, А.М. Алленов, И.Б. Харитонов в статье [3] описали требования к организации применения телемедицинских технологий, представили обобщенную схему телемедицинской системы, привели примеры формализованного описания процессов информационного взаимодействия при выполнении телемедицинских услуг.

К.А. Лукина, Д.А, Зайцев, Т.Ц. Гармаева, Л.П. Менделеева в работе [4] обобщили пятилетний опыт дистанционного взаимодействия ФГБОУ «НМИЦ гематологии» Минздрава России. В статье отмечается: «Основную массу ТМК составляют плановые запросы…»; «срок ответа на неотложные запросы составляет 1 рабочий день…, на плановые – 5 рабочих дней».

Сегодня большинство телемедицинских консультаций являются плановыми. Врачи подают заявки и необходимый пакет документов, после чего обращения рассматриваются и назначается дата проведения консультации. Для чрезвычайных ситуаций такой порядок действий не подходит, поскольку количество запросов может не соответствовать пропускной способности системы.

В настоящей работе исследуется проблема применения телемедицинских консультаций в чрезвычайных ситуациях. Технологические аварии, тяжелые эпидемии не позволяют отправлять пострадавших в городской центр и требуют срочных операций и других медицинских действий на месте. В этой связи решается задача организации телемедицинских консультаций клиниками городского центра для удаленных больниц.

Эта проблема связана с решением следующих задач.

1. Построение системы управления телемедицинскими консультациями.

2. Разработка математической модели распределения телемедицинских консультаций между больницами, количество которых значительно превышает количество клиник.

3. Разработка алгоритма оптимального управления (критерий времени) выполнения заявок телемедицинских консультаций в реальном масштабе времени.

4. Рассмотрение вопросов, связанных с информационной безопасностью системы.

В настоящее время задаче оптимального распределения ресурсов посвящено ряд монографий [15–17] и статей [18–20]. Однако значительная часть из них изучает распределение финансовых ресурсов.

Новизна настоящей работы заключается в распределении телемедицинских консультаций с учетом непрерывности а) процесса поступления заявок на их проведение; б) изменения приоритетности заявок в процессе их поступления и выполнения.

1. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИМИ КОНСУЛЬТАЦИЯМИ

Поступающие заявки на организацию телемедицинских консультаций требуют распределения. Методы распределения ресурсов применяются в различных отраслях.

Управление ресурсами при организации медицинских телеконсультаций имеет ряд преимуществ:

– исключение непредвиденных осложнений: зная изначальную пропускную способность системы и планируя ее использование, можно избежать долго ожидания на телеконсультацию;

– предотвращение выгорания: эффективное управление ресурсами позволяет избежать избыточной нагрузки на медицинский персонал;

– возможность подстраховки: при распределении ресурсов есть «подушка безопасности», так как вместо хаотичного отправления заявок происходит их анализ;

– прозрачность информации: все подсистемы получают информацию о возможностях сторон и состоянии пациента и на основании этого могут составить план реагирования;

– показатели эффективности: благодаря представлению о том, что необходимо для постановки задачи и ее выполнения, можно эффективно планировать результаты.

Предлагаемый в настоящей работе метод основывается на исследовании [21], где в системе взаимодействуют три агента: два связаны с внешней средой и один соединяет их, обеспечивая взаимную связь – диспетчерско-медицинский центр. В больницах, удаленных от клиник городского центра, в которые поступают пациенты, нуждающиеся в срочной медицинской помощи в результате чрезвычайной ситуации, есть недостаток специалистов, которые могут оказать квалифицированную помощь, поэтому формируются заявки на проведение телемедицинских консультаций. Эти заявки отправляются в диспетчерско-медицинский центр.

В диспетчерско-медицинском центре обрабатываются полученные заявки из больниц, удаленных от городских центров, и направляются в клиники согласно специализации заявки. Клиники получают заявки, проверяя у себя наличие свободных врачей-консультантов по необходимой специализации. Если клиники могут удовлетворить все условия, указанные в заявке, то должны отправить в диспетчерско-медицинский центр ответ на заявку, после чего принимается решение о проведении телеконсультаций. В конечном итоге между клиниками и удаленными от городских центров больницами проводится телеконсультация. Часто количество заявок из больниц превышает количество свободных специалистов в клиниках, формируется очередь, следовательно, возникают задержки при организации телеконсультаций. Их очередность определяется на основе определенных критериев, методом экспертных оценок.

Те заявки, для которых в данный момент не могут провести телеконсультации, отправляются в блок ожидания, где они сортируются и снова поступают в блоки, где повторно проходят экспертную оценку, в результате чего изменяется приоритетность их выполнения. После этого заявки снова поступают на согласование с клиниками. Если повторно идет отклонение, то заявки оформляются заново.

Во время проведения телеконсультаций обе стороны, врачи в больницах и консультанты в клиниках, имеют доступ к жизненным показателям пациента, его истории болезни, также они могут свободно общаться друг с другом по защищенному каналу связи. Диспетчерско-медицинский центр обязан поддерживать постоянство канала обмена информацией, поскольку любые сбои и бездействие могут привести к ухудшению состояния пациента или даже к его гибели.

Одной из важных проблем при распределении заявок является загруженность клиник, т. е. их пропускная способность. Чтобы ее решить, необходимо

установить критерии, на основе которых определяется очередность телемедицинских консультаций, которая зависит в первую очередь от состояния пациента, наличия свободных врачей-консультантов и врачей в больнице.

На рис. 1 представлен метод проведения телеконсультаций.

Рис. 1. Метод телеконсультаций

Fig. 1. Teleconsultation method

На основе предложенного метода была разработана обобщенная схема, демонстрирующая функционирование системы и включающая в себя больницы, удаленные от районных центров, клиники и диспетчерско-медицинский центр. Схема представлена на рис. 2.

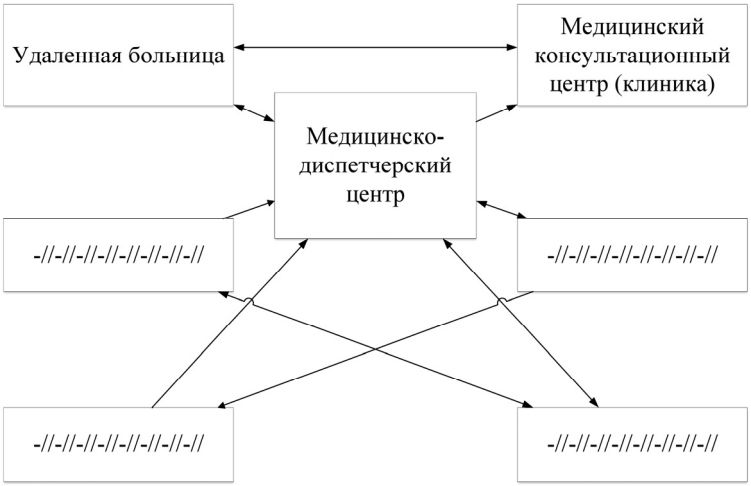


Рис. 2. Общая схема построения системы

Fig. 2. General scheme of building the system

В ее состав входят следующие компоненты:

- подсистема 1 – диспетчерско-медицинский центр;
- подсистема 2 – больницы, удаленные от городских центров, запрашивающие проведение консультации;
- подсистема 3 – клиники городских центров, предоставляющие информационно-медицинскую помощь.

Защищенные каналы обмена информацией между подсистемами 1, 2, 3.

Каждая подсистема выполняет определенный круг задач.

В функции подсистемы 2 входит следующее.

Формирование и передача заявки на проведение консультации в подсистему 1.

Передача информации о состоянии пациента и компетентности врачей в подсистему 1.

Поддержание в стабильном состоянии информационного канала с элементом подсистемы 3 в процессе консультации.

В случае временного сбоя канала связи – получение информации от подсистемы 3.

Подсистема 3 должна обеспечивать проведение телеконсультации и передачу необходимой информации в подсистему 1 в случае сбоя в канале консультации.

В свою очередь, подсистема 1 является связующим звеном между подсистемами 2 и 3, в ее функции входит распределение заявок на телеконсультации между подсистемами на основе принципа мультиагентных технологий – временной загруженности клиник, а также на опыте специалистов и их согласии. Распределение заявок ведется в реальном времени, и предусмотрена возможность корректировки сформированного плана распределения, исключая заявки, которые находятся в стадии согласования.

Таким образом, общий алгоритм работы системы заключается в следующем: подсистема 1 обрабатывает и распределяет поступившую от подсистемы 2 заявку между элементами подсистемы 3, и между выбранными элементами подсистем 2 и 3 устанавливается информационный канал для проведения телеконсультации.

Технологический процесс телемедицины состоит из медицинских манипуляций: формирование заявки в больницах, перемещение заявки в диспетчерско-медицинский центр, обработка заявки и отправка ее в отделение клиники, прием заявки и формирование ответа и др.

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ КОНСУЛЬТАЦИЙ

В дальнейшем будем рассматривать систему оперативного управления телемедицинскими консультациями для нескольких больниц, удаленных от регионального центра, как непрерывно функционирующую. Следовательно, в диспетчерско-медицинском центре всегда должны находиться диспетчеры, которые будут контролировать входящие заявки, отправлять их в клиники, принимать ответы на эти заявки и поддерживать телемедицинские консультации на физическом уровне.

В медицинской сфере огромное значение имеет время, поэтому в первую очередь система выделяет критичных пациентов. Как раз для этого и используется метод экспертных оценок, который позволяет распределять заявки в соответствии с опасностью для жизни пациента не только при первом поступлении, но и в процессе выполнения. За счет этого идет сокращение времени ожидания, поскольку в период большой загрузки заявок не должно быть простоев в виде свободных окон у врачей-консультантов, одна заявка должна сменяться другой.

В качестве начального времени t_0 применим время находящегося внутри интервала функционирования системы.

Постановка задачи

Пусть на момент времени t_0 в регионе функционируют больницы $Б_i$ (где $i = 1…n$), использующие телеконсультации для проведения срочных консультаций по различным медицинским специализациям $С_j$ (где $j = 2…m$). На основании поступающих в больницу данных о пациенте формируется диагностика Д(С(Р)) по определенной специализации. В табл. 1 представлены обозначения.

Таблица 1

Table 1

Обозначение переменных модели

Model variable designations

№ п/п	Обозначение	Наименование
1	t_0	Начальное время функционирования системы
2	$Б_i$	Больницы, использующие телеконсультации для проведения срочных медицинских консультаций
3	$С_j$	Специализации больницы
4	K_z	Клиники регионального центра
5	P	Входные данные о пациентах

Таким образом, заявку больницы на проведение телеконсультаций можно представить как $Б_i(С_j)$, причем значение j может принимать случайный характер независимо от величины i.

Клиники регионального центра K_z (где $z = 1\ldots nk$) осуществляют телеконсультации для больниц по различным медицинским специализациям $С_j$ (где $j = 1\ldots m$).

В этом случае заявка больницы, выполняемая клиникой, определяется как $С_j(K_z)$, причем величина z связана с j и определяется специализацией клиники, т. е. в общем случае клиники K_z $(C_{j1}, C_{j2}, C_{j3},...)$, где $j_1, j_2, j_3,\ldots$ находятся внутри диапазона $j = 1\ldots m$. Важным условием данной задачи является $n >> n_k$.

Заявки, поступающие в медицинско-диспетчерский центр, имеют коэффициент приоритетности Q_i $(Q = 1\ldots n)$. Будем считать, что все консультанты в клиниках заняты и интервал времени, через которое клиника сможет принять заявку, составляет T_z. После соотнесения специализации заявки и консультирующей клиники в случае нескольких заявок и ограниченности пропускной возможности клиник важно в первую очередь провести телемедицинские консультации для наиболее сложных случаев, а также сократить время ожидания консультации, таким образом, оптимизировать процесс распределения заявок.

Введем допущения:

1) интервал времени, через который клиника сможет принять заявку на проведение телеконсультации, T представлено в условных единицах (у.е.);

2) коэффициент приоритетности Q_i представлен в условных единицах (у.е.);

3) количество больниц (заявок) больше, чем клиник;

4) примем максимальное значение $Q = 10$;

5) условимся, что после T_i клиника сможет принять одного пациента (заявку).

Рассмотрим модель распределения заявок с учетом коэффициента распределения Q_i и интервала времени, через который клиника сможет принять заявку – T_z. В табл. 2 представлена матрица, по горизонтали которой расположен перечень больниц, по вертикали – клиники. Пересечением в матрице $Б_i$ и K_z является разность между Q_i и T_z. В случае, если $T_z > Q_i$, записывается 0.

Таблица 2

Table 2

Матрица больницы / клиники для составления линейных уравнений

Hospital / Clinic matrix for composing linear equations

Больницы / Клиники	Б$_1$	Б$_2$	…	Б$_i$
K_1	$Q_1 - T_1$	$Q_2 - T_1$	…	$Q_i - T_1$
K_2	$Q_1 - T_2$	$Q_2 - T_2$	…	$Q_i - T_2$
…	…	…	…	…
K_z	$Q_1 - T_z$	$Q_2 - T_z$	…	$Q_i - T_z$

На основе табл. 2 составим систему линейных уравнений (1):

$$\begin{cases} (Q_1 - T_1)x_1 + (Q_2 - T_1)x_2 + \ldots + (Q_i - T_z)x_i = b_1; \\ (Q_1 - T_2)x_1 + (Q_2 - T_2)x_2 + \ldots + (Q_i - T_z)x_i = b_2; \\ \ldots \\ (Q_1 - T_z)x_1 + (Q_2 - T_z)x_2 + \ldots + (Q_i - T_z)x_i = bz, \end{cases} \quad (1)$$

где $b_1 = b_2 = b_z = nk$ – клиники, которые смогут провести телемедицинские консультации; x_i показывает эффективность сочетания «больница / клиника» (вероятность данной больницы к клиникам).

Введем A – матрицу коэффициентов – разности между Q_i и T_z; b – вектор-столбец ограничений количества клиник; x – вектор-столбец, показывающий эффективность сочетания «больница / клиника»; c – вектор-строка, содержащий наименьший коэффициент приоритетности.

$$A = \begin{pmatrix} (Q_1 - T_1)\,(Q_2 - T_1)\,(Q_i - T_z) \\ (Q_1 - T_2)\,(Q_2 - T_2)\,(Q_i - T_z) \\ \ldots \\ (Q_1 - T_z)\,(Q_2 - T_z)\,(Q_i - T_z) \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \ldots \\ b_z \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \ldots \\ x_i \end{pmatrix}, \quad c = (c_1, c_2 \ldots c_i).$$

Задача оптимизации имеет вид

$$f(x) = (c, x) \to \max,$$
$$Ax \le b, \quad x \ge 0.$$

Для решения графическим методом, а также для решения симплекс-методом вручную данная задача слишком сложна. Поэтому решаем ее с помощью надстройки «Поиск решения в EXCEL».

После решения задачи оптимизации определяется (nk) заявок, тем самым матрица имеет вид ($nk \times nk$), аналогично с решением первой матрицы определяется уже не (nk) заявок, а одна, т. е. приоритет, который выше остальных.

Таким образом, необходимо разработать алгоритм, позволяющий решать задачу распределения ресурсов (телеконсультаций) клиник по заявкам больниц на некотором интервале времени $t_0 \ldots t_r$ (где $t_r > t_0$) уже функционирующей системы $\text{Б}_i(\text{С}_j) \to \text{С}_j(K_z)$. При условии $n >> n_k$ j носит случайный характер и может принимать одинаковые значения для различных i, исходя из системы взаимодействия подсистем системы.

Основными блоками являются блоки формирования, ожидания и распределения. Эти блоки рассматриваются основополагающими в алгоритме распределения телеконсультаций. Обозначим блок формирования заявок блоком 1, куда будут поступать все заявки от больниц. В блоке ожидания хранятся сформированные заявки по медицинским специализациям, проводится их сортировка и перемещение на экспертное оценивание для определения очередности выполнения заявок. Немаловажную роль играет и блок распределения заявок по специализациям клиник в зависимости от того, могут ли клиники провести сейчас телеконсультацию, если же нет такой возможности, то заявки снова уходят в блок ожидания.

3. АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ (КРИТЕРИЙ ВРЕМЕНИ) ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЯВОК ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ КОНСУЛЬТАЦИЙ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

На рис. 3 представлен алгоритм, включающий математическую модель распределения заявок на телеконсультации, оптимального управления выполнения заявок телемедицинских консультаций, распределения заявок между клиниками.

Ниже представлено описание разработанного алгоритма.

1. Изначально в систему поступают данные о пациентах, на основании которых формируются блоки $\text{Б}_i(\text{С}_j)$ – заявки на проведение телеконсультаций, включающие в себя в основном входные данные о пациенте P (жизненные показатели пациентов, наличие хронических заболеваний и т. д.).

2. Блок 1. Блок формирования заявок $\text{Б}_i(\text{С}_j) \to \text{С}_j(\text{Б}_i)$. Заявки формируются в клиниках на основании специализации и отправляются в общий блок.

3. Блок 2. Блок распределения заявок по базам данных С_j. Заявки сортируются в зависимости от их специализации, по каждой из специализаций может быть несколько заявок от разных больниц.

4. Блок 3. Блок формирования заявок по базам данных C_j вновь поступивших, находящихся в режимах ожидания (блоки 5, 6), проверки на готовность клиник выполнять первоочередные заявки из блоков ожидания (блок 4).

5. Блок 5. Блок формирования заявок по базам данных, сформированных в блоке 3 и выставленных с учетом приоритетов их выполнения.

Определение приоритетов выполнения заявок проводится на основе критерия приоритетности Q и времени T, через которое клиника сможет принять заявку (математическая модель описана выше).

6. Блок 6. Внедрение из сформированных заявок первоочередных (табл. 3) по базам данных C_j в отдельную базу данных (блок 7). Формируется очередь из поступивших заявок по критериям, которая проходит через логический блок.

7. Логический блок 1.1 определяет направление передачи: отдельной базы первоочередных заявок в блок 4 либо оставшихся баз данных C_j, находящихся в режиме ожидания, в блок 3, проходящих сортировку с новыми поступившими заявками, и вновь отправляются в блоки 5, 6, 7 на экспертное оценивание.

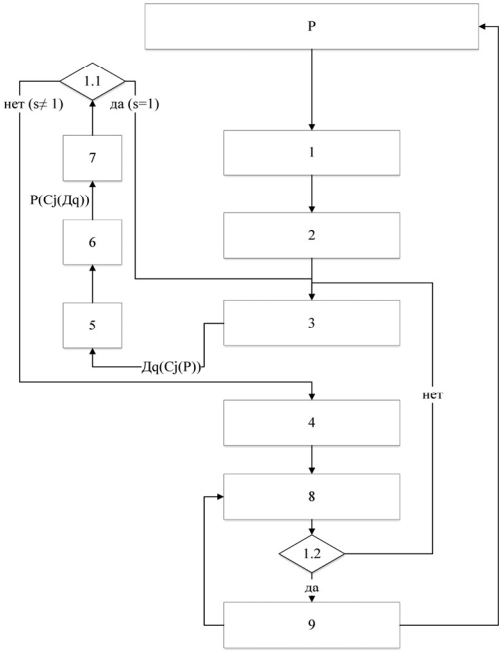


Рис. 3. Алгоритм функционирования системы

Fig. 3. The algorithm of the system functioning

8. Блок 4 проводит анализ баз данных C_j первоочередных на предмет готовности клиник к их выполнению (база готовности – блок 8). База готовности формируется клиниками. Если же клиники не могут осуществить телеконсультацию, то заявки вновь уходят в блок 3, где сортируются, проходят через блоки 5, 6, 7 и вновь оказываются в блоке 4.

Таблица 3

Table 3

База данных внеочередных заявок

Out of order database

C_1	C_1(Б$_1$)	C_1	C_1(Б$_2$), C_1(Б$_6$)
C_2	C_2(Б$_2$)	C_2	C_2(Б$_5$), C_1(Б$_7$)
…	…	…	…
C_m	…	…	…

9. Блок 9. Клиники осуществляют телеконсультации в соответствии с полученными заявками с помощью технических средств.

4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ И ОРГАНИЗАЦИИ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ КОНСУЛЬТАЦИЙ

Изложим функции по обеспечению безопасности информационной системы проведения и организации телемедицинских консультаций:

– контроль за достоверностью информации, получаемой врачом-консультантом о пациенте;

– коррекция указанной информации в случае ее искажения независимо от причин;

– защита канала передачи информации «больницы – диспетчерско-медицинские центры – клиники» с использованием криптосистем;

– защита каналов приема-передачи информации внутри больницы.

Для организации проведения телемедицинских консультаций предлагается использование TrueConf Server – защищенной программной системы ВКС (видеоконференции). Основными преимуществами TrueConf Server являются доступная инфраструктура, масштабируемость. TrueConf Server позволяет обеспечивать конфиденциальность информации как при работе в закрытой сети, так и при передаче данных по открытым каналам связи Интернет. Защита предусмотрена разработчиками TrueConf Server с возможностью поддержки шифрования по ГОСТу.

Для организации защищенного соединения и передачи информации, проходящей через Интернет, применяется КриптоПро NGate (TLS-сервер доступа к веб-сайтам, сервер портального доступа, VPN-сервер).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в статье показана система управления телемедицинскими консультациями, представлена разработка математической модели распределения телемедицинских консультаций с учетом приоритетности заявок и загруженности больниц, количество которых значительно превышает количество клиник; предложен алгоритм оптимального управления (критерий времени) выполнения заявок телемедицинских консультаций не в детерминированной поставке, а постоянно изменяющейся, а также рассмотрен вопрос обеспечения информационной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кленов В.А.* Практическое использование телемедицинских технологий в медицине катастроф (обзор литературы) // Смоленский медицинских альманах. – 2019. – № 1. – С. 160–162.

2. *Сенкевич Ю.И.* Организация телемедицинских консультаций в полярных экспедициях // Биотехносфера. – 2009. – № 2. – С. 46–52.

3. *Столбов А.П., Алленов А.М., Харитонова И.Б.* О стандартизации телемедицинских технологий: требования к организации применения // Проблемы стандартизации в здравоохранении. – 2018. – № 7–8. – С. 35–44.

4. Экономические аспекты оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий / О.С. Кобякова, В.И. Стародубов, Ф.Н. Кадыров, Н.Г. Куракова, А.М. Чилилов // Врач и информационные технологии. – 2020. – № 3. – С. 60–66.

5. Модель пациент-центрированной системы организации медицинской помощи в урологии с использованием телемедицинских технологий / О.И. Апалихин, В.И. Перхов, И.А. Шадёркин, А.В. Владзимирский // Экспериментальная и клиническая урология. – 2018. – № 1. – С. 14–18.

6. *Борисов Д.Н., Иванов В.В.* Организационная телемедицина // Врач и информационные технологии. – 2017. – № 3. – С. 112–120.

7. *Кажыров Ф.Н., Куракова Н.Г., Чилилов А.М.* Правовые проблемы применения телемедицинских технологий в условиях борьбы с распространением коронавируса COVID-19 // Врач и информационные технологии. – 2020. – № 2. – С. 45–51.

8. Распределение ответственности за некачественное оказание медицинской помощи при использовании телемедицинских технологий / С.П. Морозов, А.В. Владимирский, М.С. Варюшин, А.В. Аронов // Журнал телемедицины и электронного здравоохранения. – 2018. – № 1–2. – С. 9–15.

9. *Chellaiyan V.G., Nirupama A.Y., Taneja N.* Telemedicine in India: where do we stand? // Journal of Family Medicine and Primary Care. – 2019. – Vol. 8 (6). – P. 1872–1876. – DOI: 10.4103/jfmpc.jfmpc_264_19.

10. Acceptability, usability, and effectiveness: a qualitative study evaluating a pediatric telemedicine program / H. Sauers-Ford, M. Hamline, M. Gosdin, L. Kair, G. Weinberg, J. Marcin, J. Rosenthal // Academic Emergency Medicine. – 2019. – Vol. 26, N 9. – P. 1022–1033. – DOI: 10.1111/acem.13763.

11. *Zanaboni P., Wootton R.* Adoption of routine telemedicine in Norwegian hospital: progress over 5 years // BMC Health Services Research. – 2016. – Vol. 16. – P. 496. – DOI: 10.1186/s12913-016-1743-5.

12. Experiences of telemedicine in neurological out-patient clinics during the COVID-19 pandemic / E. Kristoffersen, E. Sandset, B. Winsvold, K. Faiz, A. Storstein // Annals of Clinical and Translational Neurology. – 2021. – Vol. 8, N 2. – P. 440–447. – DOI: 10.1002/acn3.51293.

13. Implementation and application of telemedicine in China: cross-sectional study // JMIR MHealth UHealth. – 2020. – Vol. 8, N 10. – P.e18426. – DOI: 10.2196/18426.

14. *Bokolo A. Jnr.* Use of telemedicine and virtual care for remote treatment in response to COVID-19 pandemic // Journal of Medical Systems. – 2020. – Vol. 44, N 7. – P. 132. – DOI: 10.1007/s10916-020-01596-5.

15. *Кцоев А.Б.* Государство и экономика: оптимальные механизмы распределения ресурсов: монография. – М.: Инфра-М, 2014. – 233 с.

16. *Чу Донг Сюань.* Управление процессами распределения ограниченных ресурсов с учетом активного поведения потребителей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 2019. – 20 с.

17. *Горбанева О.И.* Статические модели распределения ресурсов с учетом согласования интересов активных агентов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2018. – 49 с.

18. *Горелов Ю.Н., Данилов С.Б., Курганская Л.В.* Об оптимальном распределении ресурса управления в системе независимых объектов управления // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления. – М., 2019. – С. 663–668.

19. *Клевец Н.И.* Оптимальное распределение ресурсов в условиях неопределенности // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. – 2016. – № 1. – С. 118–123.

20. *Козлова Г.Г., Гришанов Ю.Е.* Применение имитационной модели для оптимального распределения ресурсов // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2021. – № 6. – С. 96–98.

21. *Хвастунов А.С.* Моделирование и оптимизация процессов переработки контейнерных грузов: дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2013. – 149 с.

22. *Бурмистрова Е.Б., Лобанов С.Г.* Линейная алгебра с элементами аналитической геометрии: учебное пособие. – 2-е изд., доп. – М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2007. – 220 с.

Ворожейкин Владимир Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры электронных систем и информационной безопасности Самарского государственного технического университета. Основные направления научных исследований – информационная безопасность, эффективные системы навигации и управления летательными аппаратами. E-mail: vorojeikinvladimir@yandex.ru

Баранов Александр Сергеевич, инженер кафедры электронных систем и информационной безопасности Самарского государственного технического университета. Область научных интересов – информационная безопасность. E-mail: as_baranov@bk.ru

DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-49-66

The task of organizing telemedicine consultations in emergency situations for hospitals remote from the clinics of the city center*

V.N. Voroszheykin[1], A.S. Baranov[2]

[1] *Samara State Technical University, 244 Molodogvardeyskaya Street, Samara, 443001, Russian Federation, candidate of technical sciences, associate professor of the Electronic Systems and Information Security Department. E-mail: vorojeikinvladimir@yandex.ru*

[2] *Samara State Technical University, 244 Molodogvardeyskaya Street, Samara, 443001, Russian Federation, engineer of the Electronic Systems and Information Security Department. E-mail: as_baranov@bk.ru*

The use of telemedicine consultations has become particularly popular and relevant in 2020 in the face of restrictive measures due to the COVID-19 pandemic. However, the use of means of communication for the transmission of medical indications began at the beginning of the XX century: the first transmission of electrocardiography signals by telephone was carried out in 1906. And in 1959, the first television consultation was held in the United States. To date, most telemedicine consultations are scheduled. Doctors submit applications and the necessary set of documents, after which the applications are considered, and the date of the consultation is set. For emergency situations, this procedure is not suitable, because the number of requests

* *Received 24 May 2021.*

may not correspond to the system bandwidth. The paper considers the problem of using telemedicine consultations in emergency situations. Technological accidents, severe epidemics do not allow to send the victims to the city center and require. This problem is related to the solution of the following tasks: construction of a telemedicine consultation management system; development of a mathematical model for the distribution of telemedicine consultations between hospitals that significantly exceed the number of clinics; development of algorithms for optimal management (time criterion) of the execution of telemedicine consultation requests in real time; consideration of issues related to the information security of the system. As a result, an approach to the construction of a system for organizing telemedicine consultations with the use of dispatching and medical centers was proposed. The mathematical formulation of the problem is formulated. An algorithm for the distribution and operation of the system, including hospitals, dispatching and medical centers and clinics, has been developed. The algorithm uses a mathematical model that implements the problem under consideration. For the developed system, software and hardware support for information security is proposed.

Keywords: telemedicine consultations, hospitals, clinics, applications, resource allocation, patients, mathematical model, algorithm

REFERENCES

1. Klenov V.A. Prakticheskoe ispol'zovanie telemeditsinskikh tekhnologii v meditsine katastrof (obzor literatury) [Practical use of telemedicine technologies in disaster medicine (literature review)]. *Smolenskii meditsinskikh al'manakh*, 2019, no. 1, pp. 160–162. (In Russian).

2. Senkevich Yu.I. Organizatsiya telemeditsinskikh konsul'tatsii v polyarnykh ekspeditsiyakh [Organization of telemedicine consultations in polar expeditions]. *Biotekhnosfera*, 2009, no. 2, pp. 46–52. (In Russian).

3. Stolbov A.P., Allenov A.M., Kharitonova I.B. O standartizatsii telemeditsinskikh tekhnologii: trebovaniya k organizatsii primeneniya [On the standardization of telemedical technologies: requirements for the organization of application]. *Problemy standartizatsii v zdravookhranenii = Health care Standardization Problems*, 2018, no. 7–8, pp. 35–44.

4. Kobyakova O.S., Starodubov V.I., Kadyrov F.N., Kurakova N.G., Chililov A.M. Ekonomicheskie aspekty okazaniya meditsinskoi pomoshchi s primeneniem teleme-ditsinskikh tekhnologii [Economic aspects of medical care with the use of telemedicine technologies]. *Vrach i informatsionnye tekhnologii = Physicians and IT*, 2020, no. 3, pp. 60–66.

5. Apalikhin O.I., Perkhov V.I., Shaderkin I.A., Vladzimirskii A.V. Model' patsient-tsentrirovannoi sistemy organizatsii meditsinskoi pomoshchi v urologii s ispol'zovaniem telemeditsinskikh tekhnologii [Model of a patient-centered system for organizing medical care in urology using telemedicine technologies]. *Eksperimental'naya i klinicheskaya urologiya = Experimental and clinical urology*, 2018, no. 1, pp. 14–18.

6. Borisov D.N., Ivanov V.V. Organizatsionnaya telemeditsina [Organizational telemedicine]. *Vrach i informatsionnye tekhnologii = Physicians and IT*, 2017, no. 3, pp. 112–120.

7. Kazhyrov F.N., Kurakova N.G., Chililov A.M. Pravovye problemy primeneniya telemeditsinskikh tekhnologii v usloviyakh bor'by s rasprostraneniem koronavirusa COVID-19 [Legal problems of the application of telemedicine technologies in the fight against the spread of the coronavirus COVID-19]. *Vrach i informatsionnye tekhnologii = Physicians and IT*, 2020, no. 2, pp. 45–51.

8. Morozov S.P., Vladimirskii A.V., Varyushin M.S., Aronov A.V. Raspredelenie otvetstvennosti za nekachestvennoe okazanie meditsinskoi pomoshchi pri ispol'zovanii telemeditsinskikh tekhnologii [Distribution of responsibility for poor quality medical care using telemedicine technologies]. *Zhurnal telemeditsiny i elektronnogo zdravookhraneniya = The Journal of Telemedicine and E-Health*, 2018, no. 1–2, pp. 9–15.

9. Chellaiyan V.G., Nirupama A.Y., Taneja N. Telemedicine in India: where do we stand? *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 2019, vol. 8 (6), pp. 1872–1876. DOI: 10.4103/jfmpc.jfmpc_264_19.

10. Sauers-Ford H., Hamline M., Gosdin M., Kair L., Weinberg G., Marcin J., Rosenthal J. Acceptability, usability, and effectiveness: a qualitative study evaluating a pediatric telemedicine program. *Academic Emergency Medicine*, 2019, vol. 26, no. 9, pp. 1022–1033. DOI: 10.1111/acem.13763.

11. Zanaboni P., Wootton R. Adoption of routine telemedicine in Norwegian hospital: progress over 5 years. *BMC Health Services Research*, 2016, vol. 16, p. 496. DOI: 10.1186/s12913-016-1743-5.

12. Kristoffersen E., Sandset E., Winsvold B., Faiz K., Storstein A. Experiences of telemedicine in neurological out-patient clinics during the COVID-19 pandemic. *Annals of Clinical and Translational Neurology*, 2021, vol. 8, no. 2, pp. 440–447. DOI: 10.1002/acn3.51293.

13. Cui F., Ma Q., He X., Zhai Y.-k., Zhao J., Chen B., Sun D., Shi J., Cao M., Wang Z. Implementation and application of telemedicine in China: cross-sectional study. *JMIR MHealth UHealth*, 2020, vol. 8, no. 10, p. e18426. DOI: 10.2196/18426.

14. Bokolo A. Jnr. Use of telemedicine and virtual care for remote treatment in response to COVID-19 pandemic. *Journal of Medical Systems*, 2020, vol. 44, no. 7, p. 132. DOI: 10.1007/s10916-020-01596-5.

15. Ktsoev A.B. *Gosudarstvo i ekonomika: optimal'nye mekhanizmy raspredeleniya resursov* [State and economy: optimal mechanisms of resource allocation]. Moscow, Infra-M Publ., 2014. 233 p.

16. Chu Dong Xuan. *Upravlenie protsessami raspredeleniya ogranichennykh resursov s uchetom aktivnogo povedeniya potrebitelei*. Avtoref. diss. kand. tekhn.

nauk [Management of the processes of allocation of limited resources taking into account the active behavior of consumers. Author's abstract of PhD eng. sci. diss.]. Voronezh, 2019. 20 p. (In Russian).

17. Gorbaneva O.I. *Staticheskie modeli raspredeleniya resursov s uchetom soglasovaniya interesov aktivnykh agentov*. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk [Static models of resource allocation taking into account the coordination of the interests of active agents. Author's abstract of Dr. eng. sci. diss.]. Moscow, 2018. 49 p.

18. Gorelov Yu.N., Danilov S.B., Kurganskaya L.V. [On the optimal distribution of the control resource in the system of independent control objects]. *XIII Vserossiiskoe soveshchanie po problemam upravleniya* [XIII All-Russian meeting on control problems]. Moscow, 2019, pp. 663–668. (In Russian).

19. Klevets N.I. Optimal'noe raspredelenie resursov v usloviyakh neopredelennosti [Optimal allocation of resources in conditions of uncertainty]. *Nauchnyi vestnik: finansy, banki, investitsii = Scientific Bulletin: Finance, Banking, Investment*, 2016, no. 1, pp. 118–123.

20. Kozlova G.G., Grishanov Yu.E. Primenenie imitatsionnoi modeli dlya optimal'nogo raspredeleniya resursov [Application of a simulation model for optimal resource allocation]. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika = Economics and business: theory and practice*, 2021, no. 6, pp. 96–98.

21. Khvastunov A.S. *Modelirovanie i optimizatsiya protsessov pererabotki konteinernykh gruzov*. Diss. kand. tekhn. nauk [Modeling and optimization of container cargo handling processes. Author's abstract of PhD eng. sci. diss.]. St. Petersburg, 2013. 149 p.

22. Burmistrova E.B., Lobanov S.G. *Lineinaya algebra s elementami analiticheskoi geometrii* [Linear algebra with elements of analytic geometry]. 2nd ed., add. Moscow, HSE Publ., 2007. 220 p.

Для цитирования:

Ворожейкин В.Н., Баранов А.С. Задача организации телемедицинских консультаций в чрезвычайных ситуациях для больниц, удаленных от клиник городского центра // Безопасность цифровых технологий. – 2021. – № 2 (101). – С. 49–66. – DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-49-66.

For citation:

Voroszheykin V.N., Baranov A.S. Zadacha organizatsii telemeditsinskikh konsul'tatsii v chrezvychainykh situatsiyakh dlya bol'nits, udalennykh ot klinik gorodskogo tsentra [The task of organizing telemedicine consultations in emergency situations for hospitals remote from the clinics of the city center]. *Bezopasnost' tsifrovykh tekhnologii = Digital technology security*, 2021, no. 2 (101), pp. 49–66. DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-49-66.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. – 2021. – № 2 (101). – 67–84

УДК 004.414 DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-67-84

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КВАЛИФИКАЦИИ IT-СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ*

Э.И. ГАВРИЛЬЕВ[1], Т.В. АВДЕЕНКО[2]

[1] *630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, аспирант кафедры теоретической и прикладной информатики. E-mail: erchimen_gavriliev@outlook.com*
[2] *630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, профессор кафедры теоретической и прикладной информатики. E-mail: tavdeenko@mail.ru*

Решающим фактором успешной работы современных IT-организаций являются профессиональные качества персонала и система их развития. Развитие персонала для IT-организаций в сфере разработки программного обеспечения (ПО) имеет особое значение в связи с тем, что деятельность предъявляет высокие требования к уровню квалификации сотрудников, их знаниям и навыкам, тогда как они имеют свойство быстро терять свою актуальность. Однако при оценке квалификации персонала возникают проблемы, влияющие на объективность оценки и эффективность дальнейших управленческих решений, например: фаворитизм, предвзятость, высокая требовательность, ошибочный эталон. Соответственно, целью работы является разработка модели оценки квалификации IT-специалистов в области разработки программного обеспечения. В работе рассматриваются система оценки персонала, виды критериев оценки квалификации разработчиков и тестировщиков программного обеспечении, которые охватывают технические аспекты деятельности, межличностные и ментальные характеристики специалистов. Для оценки квалификации была выбрана и изменена модель концептуальной теории компетентности разработки ПО. На основе обзора литературы, анализа вакансий и интервью с IT-специалистами были выделены основные направления деятельности разработчиков и тестировщиков, а также характеристики, которые необходимо оценить. На основе измененной модели был разработан прототип системы на языке программирования JavaScript и на программной платформе Node JS сбора информации, который загружает данные из систем контроля версий и отслеживания задач Atlassian Jira для дальнейшей оценки.

Ключевые слова: разработчики программного обеспечения, тестировщики программного обеспечения, компетенции, методы оценки персонала, критерии оценки персонала, управление персоналом, управление карьерой, теория процессов, Node.JS

* Статья получена 19 апреля 2021 г.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время динамично меняются факторы внутренней и внешней среды IT-индустрии: цифровая трансформация множества отраслей бизнеса, высокая сложность разрабатываемых систем из-за специфичных требований заказчиков, большая скорость появления новых технологий.

В рамках данных условий IT-организациям необходимо ориентировать свою деятельность на повышение конкурентного потенциала. Одним из основных факторов конкурентоспособности организации являются персонал и система его развития.

Однако при развитии профессиональных навыков IT-специалистов возникают следующие проблемы:

1) оценивание персонала – трудоемкий процесс, требующий значительных временных ресурсов, результаты которого являются субъективными;

2) существующие критерии и методы оценки фокусируют свое внимание только на технические навыки;

3) возникают трудности при подборе пути развития профессиональных навыков сотрудников.

Целью настоящей работы является разработка модели оценки квалификации IT-специалистов в области разработки программного обеспечения.

1. ОБЗОР АКТУАЛЬНЫХ РАБОТ

1.1. СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ ПЕРСОНАЛА

Оценивание персонала тесно связывают с системным подходом, система оценки персонала представляет собой совокупность взаимосвязанных действий, которые направлены на сбор данных о соответствии сотрудников заданным критериям [1].

В состав элементов системы оценивания персонала входят [2]:

– субъект оценки;
– объект оценки;
– предмет оценки;
– метод оценки;
– критерии оценки.

Объектом оценки является сотрудник либо группа сотрудников, которая выделена по определенному признаку (например, по занимаемой должности).

Субъектом оценки чаще всего является непосредственный руководитель, который составляет характеристику оцениваемому объекту. Также субъектом оценки могут выступать HR-отдел, коллеги, которые имеют функциональную связь с объектом оценки, и независимые эксперты.

Предмет оценки – характеристики объекта оценки (например, личностные и профессиональные качества, результаты работы и т. д.).

Критерии оценки – показатели и характеристики, позволяющие определить эффективность выполнения своих обязанностей непосредственным исполнителем [3].

В отечественной и мировой практике используется большое число методов оценки персонала. Выделяют три группы методов оценивания персонала [4]:

1) качественные – методы, которые предоставляют характеристики сотрудников без их количественного выражения;

2) количественные – методы, при помощи которых можно получить числовую оценку оцениваемых качеств сотрудников;

3) комбинированные – объединяют в себе особенности и приемы как качественных, так и количественных методов.

1.2. КРИТЕРИИ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАЗРАБОТЧИКОВ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Выделить объективные критерии для оценки разработчиков ПО довольно затруднительно. Большое количество работ акцентирует свое внимание только на технические навыки. В работе Суракка проведено исследование, в котором разработчики ПО оценили важность 42 различных предметов и навыков, ориентированных в большей мере на навыки, связанные с программированием: объектно-ориентированное программирование, функциональное программирование, интернет-протоколы, структуры данных и т. д. [5]. Исследование Робилларда и других авторов посвящено оценке эффективности анализа исходного кода системы, так как при разработке, поддержке и сопровождении часто приходится вносить изменения в уже разработанную систему [6]. Работа Ахмадзаде фокусирует свое внимание на оценке эффективности поиска и устранения дефектов в исходном коде системы [7].

Другая часть исследований сосредоточена на человеческих и социальных факторах, но она не связывает эти факторы с техническими навыками. Например, в работе Фахима проведен анализ 500 вакансий в области IT из разных стран, в котором основной фокус был уделен таким софт-скиллам, как коммуникационные навыки, организационные навыки, адаптивность и т. д. [8].

Некоторые работы предоставляют более целостное видение навыков разработчиков, которое включает в себя технические, межличностные и ментальные атрибуты, но они не совсем полны в своих исследованиях.

Например, исследование Хьюнера и Гуздиала посвящено компетенциям, которые работодатели из игровой индустрии ищут в выпускниках университетов [9]. В результате наиболее важными были выделены такие навыки, как программирование, а также навыки работы с людьми (например, «способность работать с другими» и «сдерживать свое эго»).

В статье Бегеля и Саймона было проведено похожее исследование, в котором проводился анализ работы восьми новых сотрудников Microsoft в течение четырех недель [10]. Авторы выявили, что новички должны быть «настойчивыми» и эффективно сотрудничать в «большой команде разработчиков ПО».

Описанные выше работы концентрируют свое внимание на «новичках» в ИТ-области, что не совсем подходит для оценки опытных специалистов.

Наиболее актуальными работами являются исследование Ли и Ко, посвященное поиску и приоритизации атрибутов «отличных» разработчиков ПО (great software engineer), и исследование Балтеса и Диля, в котором представлена концептуальная теория компетентности разработки ПО.

В работе Ли и Ко был проведен опрос 1926 сотрудников Microsoft о характеристиках «отличного» разработчика ПО [11]. На основе результатов опроса было выделено 54 атрибута, которые можно разделить на 4 группы (рис. 1) [12].

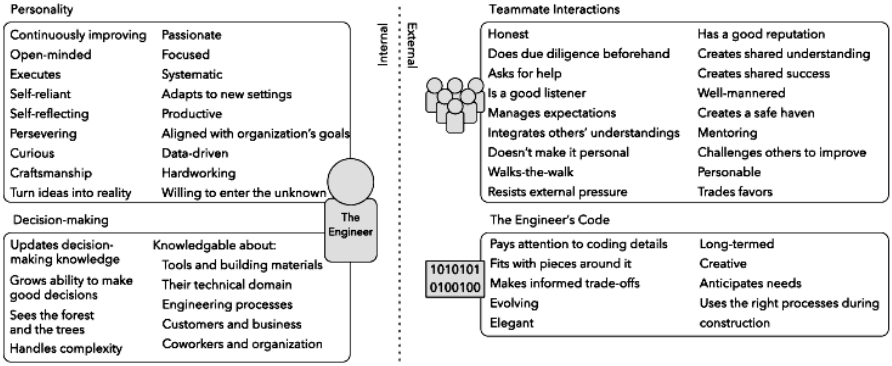


Рис. 1. Модель атрибутов «отличного» разработчика ПО

Fig. 1. Model of attributes of great software engineers

1. Группа «Личные характеристики» (Personality) включает 18 атрибутов, описывающих личность разработчиков ПО. Примерами атрибутов являются увлеченность (Passionate) и любопытство (Curious).

2. Группа «Принятие решений» (Decision-making) включает 9 атрибутов, связанных со способностью разработчиков принимать решения. Под процессом принятия решений исследователи понимают оценку текущей ситуации, определение альтернативных вариантов действий, оценку вероятностных результатов и оценку ценности будущих состояний.

3. Группа «Работа с командой» (Teammates) состоит из 17 атрибутов, описывающих взаимодействие разработчиков с коллегами. Атрибуты в этой области основаны на четырех концепциях: быть разумным человеком, быть хорошим лидером, эффективно общаться и укреплять доверие.

4. Группа «Программный продукт» (Software Product) состоит из девяти атрибутов программного обеспечения, созданного разработчиками, например, элегантный (Elegant) и креативный (Creative).

Самый высокий рейтинг важности получили следующие атрибуты:

– обращает внимание на детали программирования (pays attention to coding details);

– способен справляться со сложностями (mentally capable of handling complexity);

– постоянно совершенствуется (continuously improving);

– честный (honest).

Самый низкий рейтинг важности получили такие атрибуты:

– услужливый (trades favors);

– трудолюбивый (hardworking).

В работе Балтеса и Диля разработана концептуальная теория компетентности разработки программного обеспечения (SDExp) [13]. Теория основана на ответах онлайн-опроса 355 разработчиков ПО и на существующей литературе в области психологии по экспертным знаниям и производительности. Модель теории представлена на рис. 2.

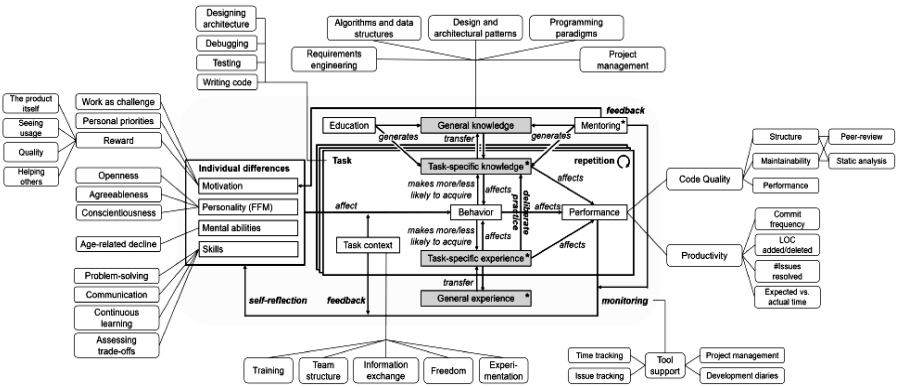


Рис. 2. Модель концептуальной теории компетентности разработки ПО

Fig. 2. Model of conceptual theory of software development expertise

Модель теории включает в себя элементы двух видов – это конструкты и взаимосвязи между этими конструктами. В состав конструктов входит следующее.

Индивидуальные различия (Individual differences). В данном конструкте указаны конкретные характеристики экспертов, в частности черты характера, которые способствуют развитию экспертных знаний. Например, непредвзятость (open-minded), любопытность (curious), способность к работе в команде (team players). К данной группе конструктов также отнесли такие конструкты, как мотивация (motivation), черты характера (personality), когнитивные возможности (mental abilities) и общие навыки (skills).

Задачи (Tasks). Этот конструкт включает в себя 3 наиболее важные задачи, решаемые разработчиком: разработка архитектуры ПО (designing software architecture), написание исходного кода (writing source code) и анализ и интерпретация требований (analyzing and understanding reqirements).

Опыт, знания (Experience, knowledge). К классу этих конструктов включены общие характеристики экспертов по разработке ПО: общий опыт (general experience), опыт работы над задачей (task-specific experience), общие знания (general knowledge) и «глубокие» знания (task-specific knowledge). К примеру, к общим знаниям относят знания о парадигмах программирования, структурах данных, алгоритмах и подходах к проектированию.

Наставничество (mentoring). К этому конструкту относят характеристики ментора, так как более половины участников опроса работали с наставником, который помогал им.

Производительность (performance). В этот конструкт включены метрики, при помощи которых можно измерить производительность экспертов.

В состав взаимосвязей включены **мониторинг, обратная связь и самоанализ (Monitoring, feedback and self-reflection)**. Наиболее важной деятельностью по мониторингу была экспертная оценка (peer review). Респонденты упоминали, что просили коллег дать обратную связь, выполняли анализ кода или участвовали в парном программировании. Участники также упомянули инструменты отслеживания времени (time tracking) и отслеживания ошибок (issue tracking) в качестве источников обратной связи, сравнивая ожидаемые с фактическими результатами.

1.3. КРИТЕРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕСТИРОВЩИКОВ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Тестирование программного обеспечения является неотъемлемой частью разработки ПО, которое обеспечивает качество продуктов и удобство работы с ними. Несмотря на то что тестирование требует определенных знаний и

навыков, углубленные исследования деятельности тестировщиков несколько отстают от исследований других ролей в командах по разработке ПО.

CSTE CBOK (Certified Software Tester Common Body of Knowledge) представляет собой ядро соответствующих фактических знаний в области тестирования ПО [14]. Его можно использовать в качестве руководства для разработки должностных инструкций ПО, а также для оценки компетенций тестировщиков.

В CSTE CBOK навыки тестирования были разделены на 10 категорий.

1. Принципы и концепции тестирования ПО (Software Testing Principles and Concepts).
2. Сборка тестовой среды (Building the Test Environment).
3. Управление тестовым проектом (Managing the Test Project).
4. Планирование тестирования (Test Planning).
5. Выполнение плана тестирования (Executing the Test Plan).
6. Процесс создания отчетов об испытаниях (Test Reporting Process).
7. Приемочное тестирование пользователей (User Acceptance Testing).
8. Программное обеспечение для тестирования, разработанное подрядчиками (Testing Software Developed by Contractors).
9. Тестирование средств управления программным обеспечением и адекватность процедур безопасности (Testing Internal Control).
10. Тестирование новых технологий (Testing New Technologies).

Для сертификации тестировщиков авторами была предложена трехуровневая шкала владения описанными выше навыками.

1. Не компетентен (Not competent) – эта оценка означает, что тестировщик не понимает этот навык или не знает, что требуется для выполнения этого навыка.
2. Некоторый уровень компетентности (Some competency) – эта оценка означает, что тестировщик знает, что необходимо для достижения определенного навыка.
3. Полностью компетентен (Fully competent) – эта оценка означает, что тестировщик не только знает, что требуется для выполнения определенного навыка, но и фактически применял этот навык в повседневной работе.

В работе Йивонен и Мантила на основе интервью со специалистами из IT-области были изучены характеристики эффективных тестировщиков программного обеспечения [15]. В результате были выделены 4 класса характеристик:

1) опыт и навыки (Experience and skills);
2) анализ (Reflection);
3) мотивы (Motivation);
4) личные характеристики (Personal Characteristics).

Среди найденных характеристик знания предметной области и специализированные технические навыки считаются более важными, чем навыки в разработке тест-кейсов и планировании тестирования.

Исследование Дика посвящено поиску и анализу наиболее важных характеристик для тестировщика [16]. В этом исследовании был проведено несколько интервью с тестировщиками и менеджерами тестирования из четырех IT-компаний. В состав важных характеристик тестировщиков были включены навыки коммуникации (Communication), образование в сфере информатики (IT Background), внимание к деталям (Details oriented), любопытство (Curious) и терпеливость (Patient).

Наиболее актуальной является работа Флорея и Стрэй, в которой был проведен анализ 400 вакансий в 33 странах для разработки профиля навыков тестировщиков, необходимых отрасли в настоящее время [17]. Исследователи выделили 4 группы навыков:

1) навыки, связанные с тестированием (Software Testing skills);
2) технические навыки (Technical skills);
3) софт навыки (Soft skills);
4) навыки, связанные с предметной областью (Domain-specific skills).

Результаты показывают, что работодателей больше всего интересуют навыки, связанные с планированием и разработкой тестов, автоматизацией тестирования, функциональным тестированием, тестированием производительности и отчетами о ходе работы. Тестировщики должны обладать техническими навыками (например, языками программирования). Кроме того, они должны выполнять задачи, связанные с управлением проектами, такие как оценка, управление рисками и обеспечение качества.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КВАЛИФИКАЦИИ ИТ-СПЕЦИАЛИСТОВ

Разработку ПО чаще всего декомпозируют на набор задач, например, анализ и сбор требований, программирование, тестирование и т. д. В связи с этим особую актуальность приобретает концептуальная теория компетентности разработки программного обеспечения Балтеса и Диля, ориентированная на задачи.

Для оценки квалификации IT-специалистов в области разработки программного обеспечения предлагается использовать модель, схема которой представлена на рис. 3.

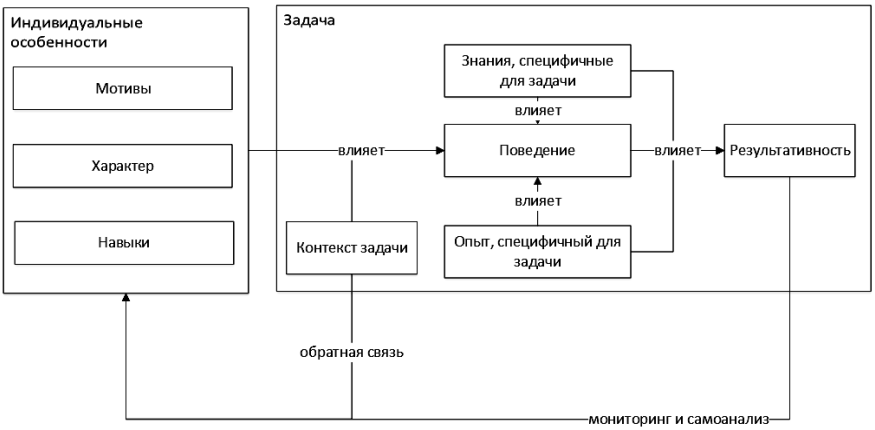


Рис. 3. Модель оценки квалификации IT-специалистов

Fig. 3. Model for the assessment of IT-specialists' qualification

Уровень соответствия занимаемой должности определяется результативностью, показатели которой зависят от выполняемой задачи. К конструкту «результативность» относятся метрики, при помощи которых можно измерить производительность экспертов. К конструкту «задачи» относят основные задачи, которые выполняет IT-специалист в своей ежедневной работе.

При решении задачи специалист использует знания и опыт, специфичные для этой задачи, также на поведение сотрудника влияет контекст задачи – организационные, социальные и технические ограничения, которые имеют отношение к поставленной задаче.

Сам специалист характеризуется набором показателей, составляющих 3 группы индивидуальных особенностей: мотивы, характер и навыки, которые, в свою очередь, влияют на поведение сотрудника.

На основе обзора литературы, вакансий в области IT, должностных инструкций и комментариев, собранных в ходе интервью с IT-специалистами, были определены основные задачи для разработчиков и тестировщиков. Основными задачами разработчиков являются:

1) анализ требований;
2) написание исходного кода;
3) разработка архитектуры ПО;
4) отладка ПО.

Для оценки квалификации сотрудника при выполнении задачи «Отладка ПО» выделим следующие элементы конструктов модели (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Элементы конструктов для оценки квалификации сотрудника при выполнении задачи «Отладка ПО»

Elements of model's constructs for the assessment of employee's expertise in execution of the task "Debugging"

Название конструкта	Элемент
Знания, специфичные для задачи	Знания языка программирования
	Знания инструментов для разработки
	Знания предметной области разрабатываемой системы
	Знания систем контроля версий
Опыт, специфичный для задачи	Количество исправленных ошибок до проведения оценки
Контекст задачи	Язык программирования
	Архитектура системы
	Шаги для воспроизведения ошибки
Результативность	Количество исправленных ошибок
	Средняя длительность исправления ошибок
	Среднее количество переоткрытий задач по исправлению ошибок

В список основных задач тестировщиков включено:

1) написание тест-кейсов;
2) планирование тестирования;
3) проведение ручного тестирования;
4) разработка автотестов.

Для оценки квалификации сотрудника при выполнении задачи «Проведение ручного тестирования» выделим следующие элементы конструктов модели (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Элементы конструктов для оценки квалификации сотрудника при выполнении задачи «Проведение ручного тестирования»

Elements of model's constructs for the assessment of employee's expertise in execution of the task "Manual testing"

Название конструкта	Элемент
Знания, специфичные для задачи	Знания в области тестирования
	Знания инструментов для управления процессом тестирования
	Знания в области видов тестирования
	Знания в области стратегий тестирования
Опыт, специфичный для задачи	Количество проверенных задач до проведения оценки
	Длительность работы с системой
Контекст задачи	Язык программирования
	Архитектура системы
Результативность	Количество проверенных задач
	Среднее время проверки задачи

2.2.. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТОТИПА СИСТЕМЫ СБОРА ИНФОРМАЦИИ

Чаще всего для оценки кандидатов используют следующие основные источники информации:

– документы из личного дела;

– нормативные документы, регламентирующие деятельность работника;

– мнения начальника, коллег, подчиненных.

Однако данные из этих источников слабо поддаются формализации, в связи с чем особую актуальность приобретают такие источники, как системы отслеживания задач (Task tracking system / Bug tracking system) и системы контроля версий (Version Control System).

Взаимодействие в рамках разработки программного обеспечения (регистрация задач и ошибок, мониторинг решения задач и исправления ошибок и т. д.) осуществляется с помощью системы отслеживания ошибок, предназначенной для организации взаимодействия проектной команды Atlassian Jira [18]. В Jira каждый запрос представляет собой задачу, которую необходимо выполнить в рамках разработки или сопровождения информационной системы [19].

Основными полями, описывающими запрос, являются:

1) приоритет (Priority) – важность запроса;

2) статус (Status) – текущее состояние запроса;

3) исполнитель (Assignee) – сотрудник, ответственный за решение запроса;

4) автор (Reporter) – сотрудник, создавший запрос;

5) журнал работ (Worklogs) – записи, хранящие информацию о количестве времени, уделенного на решение запроса;

6) история изменений (Changelogs) – записи, хранящие информацию об изменениях запроса.

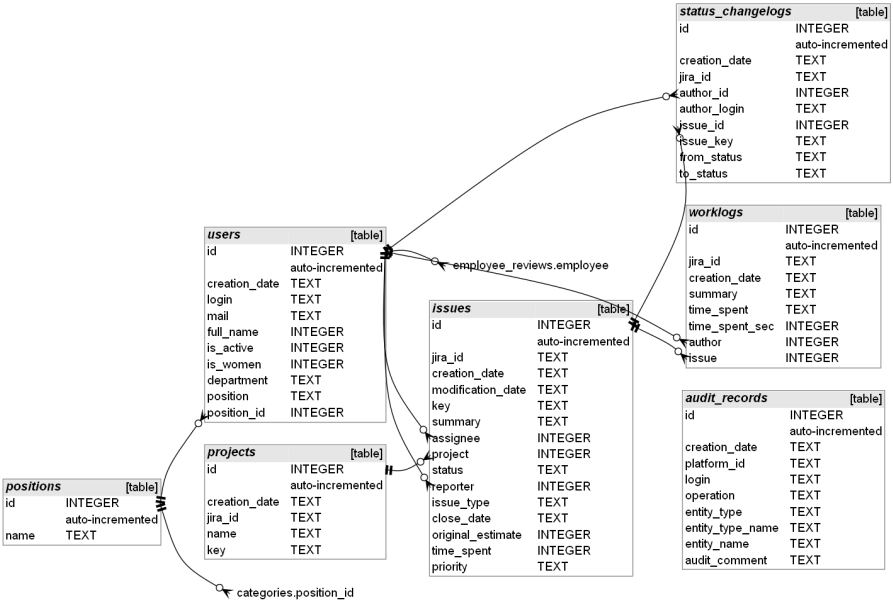


Рис. 4. Схема данных прототипа информационной системы

Fig. 4. Database schema of the prototype

На основе полей, описанных выше, можно получить количественные данные о сроках выполнения задачи, количестве затраченного времени на исполнение и количестве переоткрытий задачи.

Система контроля версий (СКВ) – это система, которая фиксирует изменения кода программного обеспечения, внесенные разработчиками [20]. Наиболее распространенными системами контроля версий являются Git, SVN, Mercurial и др.

На основе данных из СКВ можно получить более подробную информацию о количестве измененных разработчиком строк кода, частоте изменения кода информационной системы, а также сам код, который написал разработчик.

Для сбора информации из этих систем был разработан прототип на языке программирования JavaScript на программной платформе Node.js, в качестве системы управления базой данных была использована SQLite. Схема данных прототипа представлена на рис. 4.

На основе собранных данных из систем отслеживания задач и контроля версий в дальнейшем можно провести оценку результативности сотрудника по различным видам задач. Например, на основе данных из истории изменения запроса в Jira можно определить среднее время решения задачи, среднее время проверки решения задачи и количество переоткрытий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках настоящей работы для оценки квалификации была выбрана и изменена модель концептуальной теории компетентности разработки ПО. На основе обзора литературы, анализа вакансий и интервью с ИТ-специалистами были выделены основные направления деятельности и характеристики, которые необходимо оценить. На основе измененной модели был разработан прототип системы сбора информации, который загружает данные из систем контроля версий и отслеживания задач для дальнейшей оценки. В дальнейшем планируется выделить критерии для бизнес-аналитиков и ведущих разработчиков и доработать прототип для проведения оценки квалификации ИТ-специалистов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Носырева И.Г.* Анализ эффективности системы оценки персонала // Экономика труда. – 2019. – № 1 (6). – С. 440–452.

2. *Кибанов А. Я.* Управление персоналом в России: теория, отечественная и зарубежная практика. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 283 с.

3. *Джинчарадзе Г.Р.* Процедура оценки персонала в рамках системы управления человеческими ресурсами // Науковедение. – 2013. – № 3. – С. 1–12.

4. *Гафурова О.Ю.* Качественные, количественные и комбинированные методы оценки персонала // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2017. – № 5 (4). – С. 55–58.

5. *Surakka S.* What subjects and skills are important for software developers? // Communications of the ACM. – 2007. – Vol. 50 (1). – P. 73–80.

6. *Robillard M.P., Coelho W., Murphy G.C.* How effective developers investigate source code: an exploratory study // IEEE Transactions on Software Engineering. – 2004. – Vol. 30 (12). – P. 889–903.

7. *Ahmadzadeh M.* An analysis of patterns of debugging among novice computer science students // ACM SIGCSE Bulletin. – 2005. – Vol. 37 (3). – P. 84–88.

8. *Faheem A.* Soft skills requirements in software development jobs: a cross cultural empirical study / F. Ahmed, L. Fernando Capretz, S. Bouktif, P. Campbell // Journal of Systems and Information Technology. – 2005. – Vol. 14 (1). – P. 58–81.

9. *Hewner M., Guzdial M.* What game developers look for in a new graduate: interviews and surveys at one game company // Proceedings of the 41st ACM Technical Symposium on Computer Science Education. – New York, 2010. – P. 275–279.

10. *Begel A., Simon B.* Novice software developers, all over again // Computing Education Research Workshop. – Sydney, Australia, 2008. – P. 3–14.

11. *Li P.L., Ko A.J., Begel A.* What distinguishes great software engineers? // Empirical Software Engineering. – 2020. – Vol. 25. – P. 322–352.

12. *Li P.L., Ko A.J., Zhu J.* What makes a great software engineer? // 37th IEEE International Conference on Software Engineering. – 2015. – Vol. 1. – P. 700–711.

13. *Baltes S, Diehl S.* Towards a theory of software development expertise // Proceedings of the 2018 26th ACM Joint Meeting on European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering, ESEC/FSE 2018. ACM. – Lake Buena Vista, FL, 2018. – P. 187–200.

14. Certified Software Tester (CSTE): web-сайт. – URL: https://www.softwarecertifications.org/cste/ (accessed: 30.05.2021).

15. *Iivonen J., Mäntylä M., Itkonen J.* Characteristics of high performing testers: a case study // ESEM' 10: Proceedings of the 2010 ACM-IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement. – Bolzano-Bozen, Italy, 2010. – P. 1–9.

16. *Deak A.* What characterizes a good software tester? – A survey in Four Norwegian Companies // Testing Software and Systems. ICTSS 2014. – Berlin;

Heidelberg: Springer, 2014. – P. 161–172. – DOI: 10.1007/978-3-662-44857-1_11. – (Lecture Notes in Computer Science; vol. 8763).

17. *Florea R., Stray V.* The skills that employers look for in software testers // Software Quality Journal. – 2019. – Vol. 27. – P. 1449–1479.

18. *Макашов П.А., Романенко Н.А.* Сервис-ориентированный подход к управлению ИТ проектами на примере использования программного продукта JIRA // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2015. – № 2. – С. 127–132.

19. *Ясько А.О.* Обзор ITSM-систем для автоматизации бизнес-процессов внедрения и сопровождения программного обеспечения // Научный потенциал молодежи и технический прогресс. – 2018. – № 1. – С. 18–20.

20. *Zolkifli N.N., Ngah A., Deraman A.* Version control system: a review // Lecture Notes in Computer Science. – 2018. – Vol. 135. – P. 408–415.

Гаврильев Эрчимэн Иванович, аспирант кафедры теоретической и прикладной информатики Новосибирского государственного технического университета. E-mail: erchimen_gavriliev@outlook.com

Авдеенко Татьяна Владимировна, профессор кафедры теоретической и прикладной информатики Новосибирского государственного технического университета. E-mail: tavdeenko@mail.ru

DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-67-84

Model for assessing the qualification of it specialists in software development*

E.I. Gavrilev[1], T.V. Avdeenko[2]

[1] *Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, PhD student of the Department of Theoretical and Applied Computer Science. E-mail: Erchimen_gavriliev@outlook.com*

[2] *Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, professor of the Department of Theoretical and Applied Computer Science. E-mail: tvadveenko@mail.ru*

The decisive factor for the successful work of modern IT organizations is the professional qualities of the personnel and the system for its development. Staff training for software development organizations is of particular importance due to the fact that activities in this field

* *Received 19 April 2021.*

make high demands on the level of qualifications of employees, their knowledge and skills, while they tend to quickly lose their relevance. However, there are problems in the assessment of personnel qualifications that can affect its' objectivity and the effectiveness of further management decisions, for example: favoritism, bias, high exactingness, an erroneous standard. The purpose of the work is to develop a model for assessing the qualifications of IT specialists in the field of software development. . This study investigates personnel assessment system, types of criteria for assessing the qualifications of software developers and testers, which cover technical aspects of activities, interpersonal and mental characteristics of specialists. To assess the qualifications, a model of the conceptual theory of software development competence was selected and changed. Based on a literature review, analysis of vacancies and interviews with IT specialists, the main areas of activity of developers and testers were identified, as well as characteristics that need to be assessed. Based on the modified model, a prototype of the system was developed in the JavaScript programming language and on the Node JS software platform for collecting information, which loads data from the Atlassian Jira version control systems for further evaluation.

Keywords: software developers, software testers, competencies, personnel assessment methods, personnel assessment criteria, personnel management, career management, process theory, Node.JS

REFERENCES

1. Nosyreva I.G. Analiz effektivnosti sistemy otsenki personala [Analysis of the effectiveness of the personnel appraisal system]. *Ekonomika truda = Labor economics*, 2019, no. 1 (6), pp. 440–452.

2. Kibanov A. Ja. Upravlenie personalom v Rossii teorija otechestvennaja i zarubezhnaja praktika [Human Resource Management in Russia: Theory, Domestic and Foreign Practice]. Moscow, INFRA-M, 2014. 283 p.

3. Dzhincharadze G.R. Protsedura otsenki personala v ramkakh sistemy upravleniya chelovecheskimi resursami [Personnel assessment procedure within the framework of the human resource management system]. *Naukovedenie = Science of Science*, 2013, no. 3, pp. 1–12.

4. Gafurova O.Yu. Kachestvennye, kolichestvennye i kombinirovannye metody otsenki personala [Qualitative quantitative and combined methods of personnel assessment]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk = Actual problems of the humanities and natural sciences*, 2017, no. 5 (4), pp. 55–58.

5. Surakka S. What subjects and skills are important for software developers? *Communications of the ACM*, 2007, vol. 50 (1), pp. 73–80.

6. Robillard M.P., Coelho W., Murphy G.C. How effective developers investigate source code: an exploratory study *IEEE Transactions on Software Engineering*, 2004, vol. 30 (12), pp. 889–903.

7. Ahmadzadeh M. An analysis of patterns of debugging among novice computer science students. *ACM SIGCSE Bulletin*, 2005, vol. 37 (3), pp. 84–88.

8. Ahmed F., Fernando Capretz L., Bouktif S., Campbell P. Soft skills requirements in software development jobs: a cross cultural empirical study. *Journal of Systems and Information Technology*, 2005, vol. 14 (1), pp. 58–81.

9. Hewner M., Guzdial M. What game developers look for in a new graduate: interviews and surveys at one game company. *Proceedings of the 41st ACM Technical Symposium on Computer Science Education*. New York, 2010, pp. 275–279.

10. Begel A., Simon B. Novice software developers, all over again. *Computing Education Research Workshop*, Sydney, Australia, 2008, pp. 3–14.

11. Li P.L., Ko A.J., Begel A. What distinguishes great software engineers? *Empirical Software Engineering*, 2020, vol. 25, pp. 322–352.

12. Li P.L., Ko A.J., Zhu J. What makes a great software engineer? *37th IEEE International Conference on Software Engineering*, 2015, vol. 1, pp. 700–711.

13. Baltes S, Diehl S. Towards a theory of software development expertise. *Proceedings of the 2018 26th ACM Joint Meeting on European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering, ESEC/FSE 2018. ACM*, Lake Buena Vista, FL, 2018, pp. 187–200.

14. *Certified Software Tester (CSTE)*: website. Available at: https://www.softwarecertifications.org/cste/ (accessed 30.05.2021).

15. Iivonen J., Mäntylä M., Itkonen J. Itkonen Characteristics of high performing testers: a case study. *ESEM' 10: Proceedings of the 2010 ACM-IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*, Bolzano-Bozen, Italy, 2010, pp. 1–9.

16. Deak A. What characterizes a good software tester? – A survey in Four Norwegian Companies. *Testing Software and Systems. ICTSS 2014. Lecture Notes in Computer Science*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2014, vol. 8763, pp. 161–172. DOI: 10.1007/978-3-662-44857-1_11.

17. Florea R., Stray V. The skills that employers look for in software testers. *Software Quality Journal*, 2019, vol. 27, pp. 1449–1479.

18. Makashov P.A., Romanenko N.A. Servis-orientirovannyi podkhod k upravleniyu IT proektami na primere ispol'zovaniya programmnogo produkta JIRA [Service-oriented approach to IT project management through the example of using the JIRA software product]. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie = Modern information technology and IT education*, 2015, no. 2, pp. 127–132.

19. Yas'ko A.O. Obzor ITSM-sistem dlya avtomatizatsii biznes-protsessov vnedreniya i soprovozhdeniya programmnogo obespecheniya [Review of ITSM systems for automating business processes of software implementation and maintenance]. *Nauchnyi potentsial molodezhi i tekhnicheskii progress = Scientific potential of youth and technological progres*s, 2018, no. 1, pp. 18–20.

20. Zolkifli N.N., Ngah A., Deraman A. Version control system: a review. *Lecture Notes in Computer Science*, 2018, vol. 135, pp. 408–415.

Для цитирования:

Гаврильев Э.И., Авдеенко Т.В. Модель оценки квалификации ИТ-специалистов в области разработки программного обеспечения // Безопасность цифровых технологий. – 2021. – № 2 (101). – С. 67–84. – DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-67-84.

For citation:

Gavrilev E.I., Avdeenko T.V. K modeli otsenki kvalifikatsii IT-spetsialistov v oblasti razrabotki programmnogo obespecheniya [Model for assessing the qualification of it specialists in software development]. *Bezopasnost' tsifrovykh tekhnologii = Digital technology security*, 2021, no. 2 (101), pp. 67–84. DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-67-84.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. – 2021. – № 2 (101). – 85–96

УДК 004 DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-85-96

СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ: АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА*

Д.Л. КОСОВ

656015, РФ, г. Барнаул, ул. Деповская, 13-2, ООО «Юридическая компания “Надежда”», директор. E-mail: kosovdl@mail.ru

Любой вид деятельности приобретает социальную значимость, если соответствует предъявляемым к нему требованиям. Главным условием зарождения (возникновения) социально значимой деятельности следует считать высокую востребованность результатов такого типа профессионального труда. Востребованность, тем более высокая, является комплексным показателем, который включает в себя не только частотные количественные статистические характеристики (например, частоту обращения к какому-либо виду социально значимой деятельности, а именно к ее специалистам за результатами этой деятельности, влияющими на процессы жизнедеятельности как индивида, так и общества в целом), но и характеристики, определяющие качество выполняемых процедур на каждом шаге «алгоритма» (технологического цикла) конкретного, значимого вида деятельности, а значит, и результатов ее реализации. Неукоснительное соблюдение технологического цикла в рамках различных социально значимых профессиональных отраслей производства можно рассматривать как гарантию качества получаемых в них результатов, как залог того, что у потребителей продукции и услуг (населения государства) будет формироваться устойчивое положительное отношение к данному виду деятельности. В предлагаемой статье на основе многолетних исследований автором предложены и рассмотрены две составляющие комплексного подхода к оцениванию качества социально значимой деятельности – алгоритм выбора экспертов для оценивания качества социально значимой деятельности и собственно алгоритм оценивания качества этой деятельности. Каждый из предложенных алгоритмов имеет в своем составе как общие шаги выполнения действий, так и индивидуальные, обеспечивающие его новизну и отличия от уже существующих подобных алгоритмических схем.
В качестве математического аппарата при реализации данных алгоритмов была выбрана нечеткая логика.

Ключевые слова: социально значимая деятельность, оценки качества, алгоритмы оценивания качества, нечеткая логика, комплексный подход, качественные и количественные характеристики, востребованность результатов, технологический цикл, эксперты в области оценивания качества социально значимой деятельности

* Статья получена 12 мая 2021 г.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня в нестабильной системе общественно-политических и социальных отношений необходимо особое внимание уделять существующим и нарождающимся видам социально значимой деятельности (СЗД). Чрезвычайно важно понимать, на каком уровне качества находится СЗД, поскольку отсутствие понимания в этом вопросе может негативно повлиять на любые процессы как в государстве, так и в обществе в целом.

При оценивании качества СЗД необходимо учитывать ее специфику. Это влечет за собой разработку целого комплекса процедур для оценивания качества СЗД. В настоящей статье сделана попытка рассмотрения неотъемлемо связанных между собой алгоритмов выбора экспертов в области СЗД и оценивания ее качества.

1. АЛГОРИТМ ВЫБОРА ЭКСПЕРТОВ В ОБЛАСТИ ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА СЗД

Чтобы определить качество оказываемых услуг, необходимо собрать данные по оказанию этих услуг и проанализировать этот вид деятельности. Для этих целей (экспертиз деятельности) должен существовать контингент специалистов, обладающих определенными компетенциями. Именно они способны оценить качество СЗД, что в дальнейшем может повлиять на принятие различного рода судьбоносных решений на самом высоком государственном уровне. Попытаемся представить выбор подобных специалистов в виде блок-схемы алгоритма (рис. 1).

Первым шагом алгоритма является назначение или определение экспертов на конкурсной основе в области оценивания качества СЗД. Это действие предполагает наличие либо отсутствие базы данных экспертов в конкретной области деятельности. Наличие базы данных экспертов можно считать обязательным условием при оценивании качества СЗД. Если такая база данных имеется, то порядок реализации алгоритма будет следующим: из указанной базы данных выбирается необходимое количество экспертов по экспертируемой СЗД, затем из них же создается экспертная группа. После этого требуется согласие экспертов на проведение актуальной экспертизы. Если подобные процедуры реализуются полностью, то все действия по выбору экспертов благополучно заканчиваются.

Однако, как показывает практика, на сегодняшний день базы данных экспертов не имеют широкого распространения. В связи с этим более детально остановимся на процедуре формирования такой базы с использованием шагов правой ветви предлагаемого алгоритма (рис. 1).

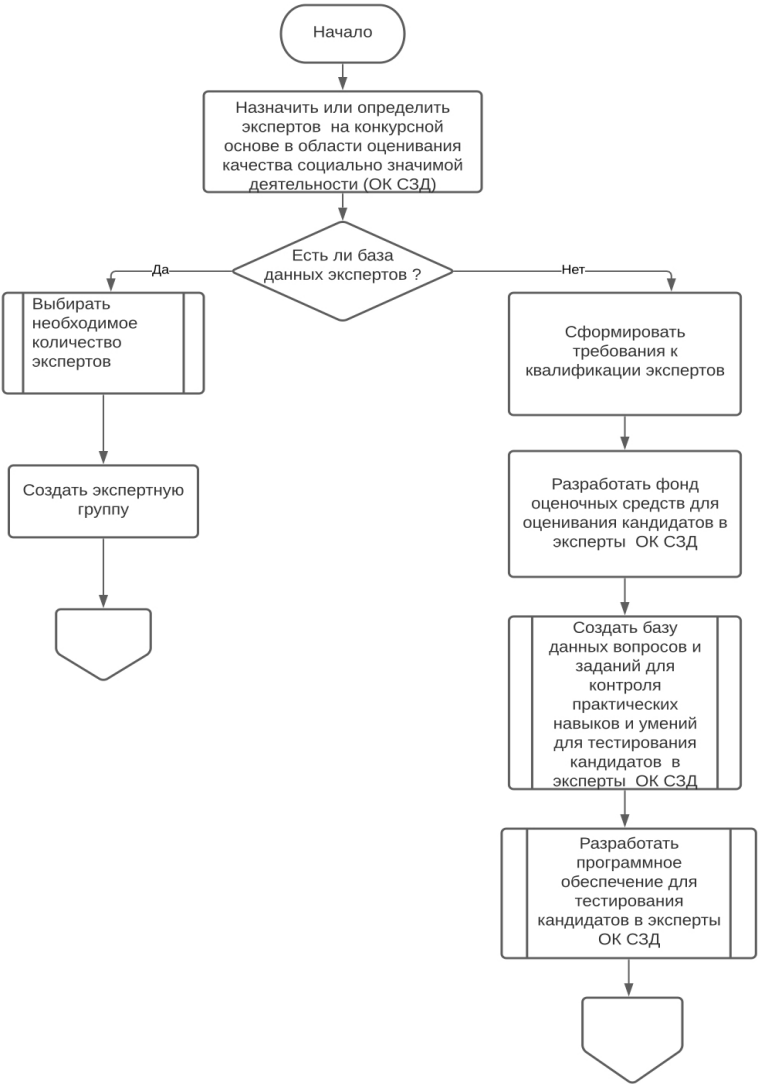


Рис. 1. Блок-схема алгоритма выбора экспертов в области оценивания качества СЗД (см. также с. 86)

Fig. 1. Block diagram of the algorithm for selecting experts in the field of assessing the quality of socially significant activities (SSA) (see also p. 86)

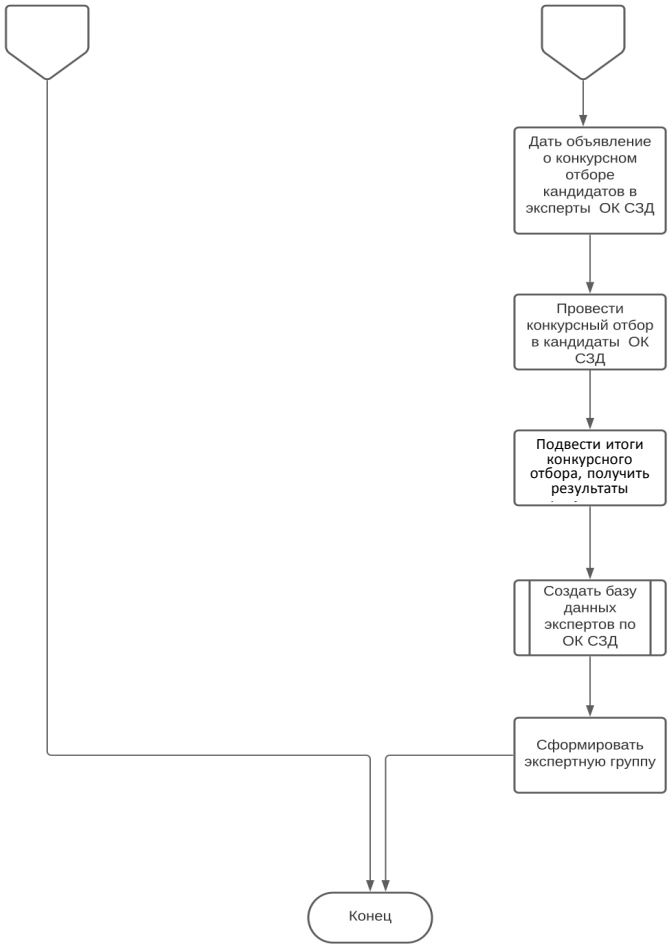


Рис. 1. Окончание

Fig. 1. Ending

Опять-таки первым шагом реализации правой ветви алгоритма является формирование требований к квалификации экспертов, которые заключаются в подтверждении их компетенций соответствующими документами, а также в подтверждении квалификации демонстрацией приобретенных ими знаний, умений и навыков.

Второй шаг предполагает разработку фонда оценочных средств для оценивания кандидатов в эксперты для оценивания качества СЗД. Фонд оценочных средств должен включать следующее:

1) вопросы для оценивания эрудиции и теоретических знаний в области оценивания качества СЗД;

2) практические задания для контроля умений и навыков;

3) шкалы для оценивания качества подготовки экспертов.

На третьем шаге правой ветви алгоритма при использовании результатов реализации шага два создается электронная база данных вопросов для контроля эрудиции, теоретической подготовки, практических умений и навыков кандидатов в эксперты оценивания качества СЗД.

Четвертый шаг предполагает разработку программного обеспечения (ПО) для тестирования кандидатов в эксперты оценивания качества СЗД. ПО может быть реализовано с использованием любого современного языка программирования либо взято из открытого доступа к существующим программным продуктам.

Пятый шаг – объявление о конкурсном отборе кандидатов в эксперты оценивания качества СЗД – является организационным и, конечно, может быть исполнен современными средствами цифрового общества.

Следующим мероприятием (шестым шагом) можно считать проведение конкурсного отбора кандидатов по оцениванию качества СЗД, которое реализуется в виде двух туров – теоретического и практического. Теоретический тур будет представлять собой тестирование по вопросам проведения оценивания качества СЗД, а практический – демонстрацию умений и навыков в проведении соответствующих процедур оценивания качества актуальной СЗД и подготовке необходимых отчетных документов. При реализации данного шага используется словосочетание «актуальная СЗД», в этот термин вкладывается простое содержание: СЗД – деятельность, экспертируемая в конкретный момент проведения экспертизы качества этого вида деятельности.

На седьмом шаге подводятся итоги конкурсного отбора с учетом результатов, полученных на шестом шаге алгоритма. После получения результатов конкурсного отбора и подведения итогов формируется электронная база экспертов оценивания качества актуальной СЗД. Во всех случаях формирования баз данных может быть использован любой подходящий для этих целей программный инструментарий.

Последним шагом алгоритма предшествующего процедуре непосредственного оценивания качества СЗД является формирование экспертной группы, в состав которой будут входить две категории участников – руководитель группы и специалисты-эксперты.

2. АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА АКТУАЛЬНОЙ СЗД

Блок-схема алгоритма оценивания качества актуальной СЗД приведена на рис. 2.

Входными данными для алгоритма непосредственного оценивания качества СЗД являются наличие экспертной группы, сформированной в ходе выполнения шагов алгоритма выбора экспертов в области оценивания качества СЗД, и информация об объекте СЗД.

Так же как и при построении алгоритма выбора экспертов, деятельность по оцениванию качества СЗД необходимо начинать с формулировки критериев оценивания качества.

Следующим шагом может быть шаг разработки фонда оценочных средств (ФОС) для оценивания качества СЗД. ФОС обычно включает в себя вопросы, на которые отвечают эксперты в ходе экспертизы качества СЗД, связанные с различными аспектами СЗД, а также набор шкал для формирования экспертных оценок в ходе процесса оценивания качества СЗД.

Далее следует сформировать базу данных вопросов и разработать ПО для оценивания качества СЗД.

После вышеперечисленных процедур можно перейти к непосредственной экспертизе качества актуальной СЗД.

Экспертиза предполагает получение экспертных оценок качества СЗД, которые должны стать основой для формирования отчетных документов по экспертизе качества СЗД.

На основе отчетных документов разрабатывается база данных экспертиз качества СЗД, которую необходимо сделать открытой и постоянно пополняемой.

Еще раз отметим, что ПО для оценивания СЗД может быть разработано заранее, разрабатываться в ходе экспертиз качества с учетом особенностей каждой СЗД, либо взято из открытого доступа в сети Интернет.

В настоящей статье автор не делает акценты на рассмотрении конкретных примеров выбора экспертов в области оценивания качества СЗД и проведении самих экспертиз оценивания качества потому, что этой теме было посвящено большое количество публикаций (например, [1–5]), в том числе и с участием автора. Вычислительные аспекты процедур проведения экспертиз оценивания качества СЗД можно найти в литературе (например, [6–15]). В приведенных литературных источниках рассматриваются алгоритмы теории нечеткой логики, которые, по мнению автора, наиболее приемлемы, испытаны временем и адаптированы к задачам формализации социальной сферы цифрового общества.

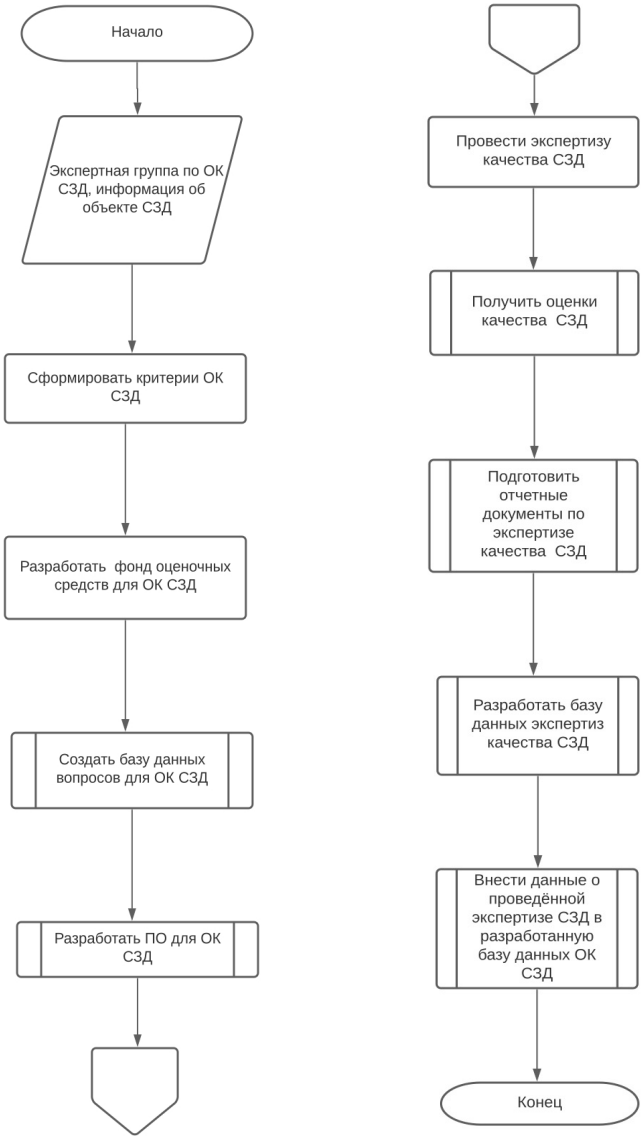


Рис. 2. Блок-схема алгоритма оценивания качества актуальной СЗД

Fig. 2. Block diagram of the algorithm for assessing the quality of relevant SSA

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в статье были рассмотрены два алгоритма – алгоритм выбора экспертов в области оценивания качества СЗД и алгоритм оценивания качества актуальной СЗД. Оба алгоритма являются главными составляющими элементами комплексного подхода в оценивании качества СЗД, который позволяет комплексно подойти к процедурам оценивания качества СЗД, повышая точность оценивания и уровень ответственности экспертных групп, снижая при дальнейшем использовании такого подхода временные затраты на проведение экспертиз качества СЗД как сложных и неоднозначных процедур в отрасли экспертного оценивания качества в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Реброва Н.В.* Сущность понятия «социально значимая деятельность» и ее роль в современном обществе // Научный альманах. – 2016. – № 3-2 (17). – С. 273–275.

2. *Zyryanov E.V., Belov V.M., Kosov D.L.* Quality assessment of regulatory legal acts using the Mamdani algorithm // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1441. – P. 012051.

3. *Зырянова Е.В., Белов В.М., Косов Д.Л.* Применение алгоритма оценки качества нормативных правовых актов на примере оценки качества государственных стандартов в области информационной безопасности телекоммуникационных систем // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 1 (94). – С. 132–144. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-132-144.

4. *Зырянова Е.В., Белов В.М., Косов Д.Л.* Алгоритмический и программный инструментарий повышения качества законодательства. – М.: Русайнс, 2019. – 124 с.

5. Гибридный метод оценивания качества социально значимой деятельности / В.М. Белов, Е.Н. Пивкин, Л.А. Грищенко, А.Б. Архипова // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 2. – URL: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6821 (дата обращения: 31.05.2021).

6. *Zadeh L.A.* Fuzzy sets // Information and Control. – 1965. – Vol. 8 (3). – P. 338–353.

7. *Mamdani E.H.* Applications of fuzzy algorithms for simple dynamic plant // Proceedings of the IEE. – 1974. – Vol. 121, iss. 12. – P. 1585–1588.

8. *Корченко А.Г.* Построение систем защиты информации на нечетких множествах: теория и практические решения. – Киев: МК-Пресс, 2006. – 320 с.

9. *Кравцов Ю.А.* Случайность, детерминированность, предсказуемость // Успехи физических наук. – 1989. – Т. 158, № 1. – С. 93–122.

10. *Мишин В.М.* Исследование систем управления: учебник для вузов. – 2-е изд., стер. – М.: Юнити-Дана, 2015. – 527 с.

11. *Новак В.*, *Перфильева И.*, *Мочкорж И.* Математические принципы нечеткой логики: пер с англ. / под ред. А.Н. Аверкина. – М.: Физматлит, 2006. – 352 с.

12. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А.Н. Аверкин, И.З. Батыршин, А.Ф. Блишун, В.Б. Силов, В.Б. Тарасов; под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.

13. *Азгальдов Г.Г.* Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии). – М.: Экономика, 1982. – 256 с.

14. *Алтунин А.Е., Семухин М.В.* Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. – Тюмень: Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 2000. – 352 с.

15. *Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П.* Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.

Косов Дмитрий Леонидович, директор ООО «Юридическая компания “Надежда”», президент Алтайской краевой общественной организации потребителей коммунальных ресурсов и услуг «Алтайская ассоциация жилищного самоуправления», медиатор, юрист, председатель общественного совета при Минстрое Алтайского края, член лицензионной комиссии при Инспекции жилищного и строительного надзора Алтайского каря, член комитета по законодательству и праву Алтайской торгово-промышленной палаты, член наблюдательного совета Ассоциации «СОЮЗ ЖКО Алтайского края», эксперт общероссийского народного фронта в Алтайском крае, независимый эксперт, уполномоченный на проведение антикоррупционных экспертиз. Область научных интересов – информационные технологии в социально значимой деятельности. Автор более 30 публикаций. E-mail: kosovdl@mail.ru

DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-85-96

Socially significant activity: algorithmic provision of its quality assessment*

D.L. Kosov

656015, RF, Barnaul, 13-2 Depovskaya Street, LLC Law firm "Nadezhda", director. E-mail: kosovdl@mail.ru

Any type of activity acquires social significance if it meets the requirements for it. The main condition for the origin (emergence) of socially significant activities should be considered a high demand for the results of this type of professional work. Demand, especially high, is a complex indicator that includes not only the frequency of quantitative statistical characteristics (for example, the frequency of access to any type of socially significant activity, namely, to its specialists for the results of this activity that affect the life processes of both the individual and society as a whole), but also the characteristics that determine the quality of the procedures performed at each step of the "algorithm" (technological cycle) of a specific, significant type of activity, and therefore the results of its implementation. Strict compliance with the technological cycle in various socially significant professional industries

Keywords: socially significant activities, quality assessments, quality assessment algorithms, fuzzy logic, integrated approach, qualitative and quantitative characteristics, relevance of results, technological cycle, experts in the field of quality assessment of socially significant activities

REFERENCES

1. Rebrova N.V. Sushchnost' ponyatiya «sotsial'no znachimaya deyatel'nost'» i ee rol' v sovremennom obshchestve [Essence of the concept "socially important activity" and her role in modern society]. *Nauchnyi al'manakh = Science Almanac*, 2016, no. 3-2 (17), pp. 273–275.

2. Zyryanov E.V., Belov V.M., Kosov D.L. Quality assessment of regulatory legal acts using the Mamdani algorithm. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1441, p. 012051.

3. Zyryanova E.V., Belov V.M., Kosov D.L Primenenie algoritma otsenki kachestva normativnykh pravovykh aktov na primere otsenki kachestva gosudarstvennykh standartov v oblasti informatsionnoi bezopasnosti telekommunikatsionnykh sistem [Application of the algorithm for quality assessment of normative legal acts on the example of quality assesment of state standards in the field of information security of telecommunication systems]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Transaction of*

* *Received 12 May 2021.*

scientific papers of the Novosibirsk state technical university, 2019, no. 1 (94), pp. 132–144. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-132-144.

4. Zyryanova E.V., Belov V.M., Kosov D.L. *Algoritmicheskii i programmnyi instrumentarii povysheniya kachestva zakonodatel'stva* [Algorithmic and software tools for improving the quality of legislation]. Moscow, Rusains Publ., 2019. 124 p.

5. Belov V.M., Pivkin E.N., Grishchenko L.A., Arkhipova A.B. Gibridnyĭ metod otsenivaniya kachestva sotsial'no znachimoĭ deyatel'nosti [Hybrid method for assessing the quality of socially significant activities]. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering Journal of Don*, 2021, no. 2. Available at: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6821 (accessed 31.05.2021).

6. Zadeh L.A. Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965, vol. 8 (3), pp. 338–353.

7. Mamdani E.H. Applications of fuzzy algorithms for simple dynamic plant. *Proceedings of the IEE*, 1974, vol. 121, iss. 12, pp. 1585–1588.

8. Korchenko A.G. *Postroenie sistem zashchity informatsii na nechetkikh mnozhestvakh: teoriya i prakticheskie resheniya* [Building information security systems on fuzzy sets: theory and practical solutions]. Kiev, MK-Press, 2006. 320 p.

9. Kravtsov Yu.N. Sluchainost', determinirovannost', predskazuemost' [Accident, determinism, predictability]. *Uspekhi fizicheskikh nauk = Soviet Physics Uspekhi*, 1989, vol. 158, iss. 1, pp. 93–122. (In Russian).

10. Mishin V.M. *Issledovanie sistem upravleniya* [Research of control systems]. 2nd ed. Moscow, Yuniti-Dana Publ., 2015. 527 p.

11. Novak V., Perfil'eva I., Mochkorzh I. *Matematicheskie printsipy nechetkoi logiki*. Moscow, Fizmatlit Publ., 2006. 352 p.

12. Averkin A.N., Batyrshin I.Z., Blishun A.F., Silov V.B., Tarasov V.B. *Nechetkie mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta* [Fuzzy sets in management and artificial intelligence models]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 312 p.

13. Azgal'dov G.G. *Teoriya i praktika otsenki kachestva tovarov (osnovy kvalimetrii)* [Theory and practice of assessing the quality of goods (basics of qualimetry)]. Moscow, Ekonomika Publ., 1982. 256 p.

14. Altunin A.E., Semukhin M.V. *Modeli i algoritmy prinyatiya reshenii v nechetkikh usloviyakh* [Models and algorithms for decision making in fuzzy conditions]. Tyumen, Tyumen State University Publ., 2000. 352 p.

15. Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. *Prinyatie reshenii na osnove nechetkikh modelei: primery ispol'zovaniya* [Fuzzy model decision making: use cases]. Riga, Zinatne Publ., 1990. 184 p.

Для цитирования:

Косов Д.Л. Социально значимая деятельность: алгоритмическое обеспечение оценивания качества // Безопасность цифровых технологий. – 2021. – № 2 (101). – С. 85–96. – DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-85-96.

For citation:

Kosov D.L. Sotsial'no znachimaya deyatel'nost': algoritmicheskoe obespechenie otsenivaniya kachestva [Socially significant activity: algorithmic provision of its quality assessment]. *Bezopasnost' tsifrovykh tekhnologii = Digital technology security*, 2021, no. 2 (101), pp. 85–96. DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-85-96.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. – 2021. – № 2 (101). – 97–121

УДК 004.89, 658.3.07 DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-97-121

ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОТБОРА ПЕРСОНАЛА РОССИЙСКИХ КОМПАНИЙ*

Ю.Ю. ПЕТРУНИН[1], А.Е. ПУГАЧЁВА[2]

[1] *119991, РФ, г. Москва, Ломоносовский проспект, 27, корпус 4, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой математических методов и информационных технологий в управлении факультета государственного управления. E-mail: petrunin@spa.msu.ru*
[2] *119991, РФ, г. Москва, Ломоносовский проспект, 27, корпус 4, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, магистрант кафедры управления персоналом факультета государственного управления. E-mail: PugachevaAE@spa.msu.ru*

В статье исследуются проблемы и перспективы внедрения технологий искусственного интеллекта при отборе персонала в коммерческих компаниях России. За последние годы растет как количество применений, так и количество научных статей на тему применения технологий искусственного интеллекта в процессах управления персоналом как в нашей стране, так и за рубежом. Однако в настоящее время существует определенная лакуна в вопросах оценки эффективности применения данных технологий, выделении наиболее перспективных направлений использования искусственного интеллекта при отборе персонала, определении факторов, которые влияют на результаты таких внедрений применительно к российским условиям. Проведенный опрос экспертов и практиков в области работы с технологиями искусственного интеллекта в сфере управлении персоналом ведущих российских компаний позволил частично ответить на поставленные актуальные вопросы. Анализ ответов респондентов показал, что такие технологии благоприятно влияют на отбор сотрудников, улучшают качество отбора, увеличивают его скорость, разгружают сотрудников, сберегают денежные ресурсы и способствуют устранению предвзятости к кандидатам. Были выделены факторы, повышающие эффективность и результативность внедрений технологий искусственного интеллекта при отборе персонала: категория подбираемых сотрудников, масштаб отбора, возможности интеграции с имеющимся программным обеспечением. К сложностям использования технологий искусственного интеллекта при отборе персонала можно отнести наличие нетиповых позиций для отбора, зависимость результатов от качества и объема набора обучающих данных, возможное нежелание кандидатов общаться с роботом. По результатам проведенного исследования можно сделать обоснованный вывод о том, что искусственный интеллект в сфере отбора персонала, несмотря на наличие определенных проблем, имеет множество преимуществ, а также большие перспективы развития.

* Статья получена 11 мая 2021 г.

Ключевые слова: цифровые технологии, искусственный интеллект, внедрение технологий, управление персоналом, отбор персонала, российские компании, эффективность применения ИИ-технологий, социология управления, опрос экспертов, рекомендательные и интеллектуальные системы поддержки принятия решений, машинное обучение, компьютерное зрение, обработка естественного языка, распознавание и синтез речи

ВВЕДЕНИЕ

По данным мониторинга глобальных трендов цифровизации искусственный интеллект (ИИ) второй год подряд занимает первое место среди других цифровых технологий. Технологии ИИ имеют максимальный интегральный вес по научным публикациям, инвестициям и патентам по сравнению с другими трендами ИКТ. Начиная с 2014 года технологии ИИ показывают уверенный рост по всем источникам в среднем на 30 % в год [28].

С каждым годом всё больше компаний различных отраслей внедряет в свою деятельность технологии искусственного интеллекта. Исследование, проведенное Ростелекомом и аналитическим центром TAdviser, в котором приняли участие 100 российских организаций из различных отраслей экономики, показало, что технологии ИИ уже внедряются или тестируются в 85 % из них, в первую очередь для оптимизации внутренних бизнес-процессов [29]. При этом 60 % компаний из тех, кто не использует ИИ-технологии, планируют их внедрение в ближайшее время.

Новые цифровые технологии принципиально меняют деятельность в области управления персоналом организаций. Особенно это касается процессов поиска, подбора и отбора персонала: повышаются требования к сотрудникам, усложняются методы их отбора, возрастает потребность прогнозирования их возможного ухода в конкурирующие компании. Оптимальным инструментом для решения подобных задач может выступать искусственный интеллект и программные продукты, основанные на его технологиях. Безусловно, искусственный интеллект является одним из важнейших компонентов современной парадигмы цифровой экономики [14].

Системы с элементами искусственного интеллекта способны существенным образом упрощать работу менеджеров по персоналу, оказывая помощь в решении целого комплекса задач – от процесса подбора кандидатов до удержания сотрудников [15]. В настоящее время необходимость внедрения технологий искусственного интеллекта в сфере отбора персонала стала очевидной для всех [17].

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Проблемы применения технологий искусственного интеллекта в управлении персоналом активно обсуждаются в международном научном сообществе. При этом анализируются как общие возможности и перспективы использования технологий ИИ [1, 4, 11], так и взаимоотношение между традиционными методами отбора и новыми цифровыми технологиями [8, 9], отдельные задачи отбора персонала в разрезе технологий ИИ [5], особенности применения различных технологий и систем ИИ в управлении персоналом [2, 3], опыт применения ИИ в отборе персонала в разных странах [6, 7, 10].

Растет число и российских публикаций на эту актуальную тему. Здесь также обсуждаются общие теоретические и методологические вопросы [16, 17, 19], использование конкретных технологий ИИ в отборе персонала: экспертных систем [23, 24], машинного обучения [20], чат-ботов [21]; отраслевая специфика внедрения ИИ [25]; сложности внедрения [26]; общие вопросы цифровизации управления персоналом и место в ней ИИ [18, 22, 27].

Однако тематика *внедрения* систем ИИ в отборе персонала в научной литературе остается слабо разработанной и только начинает развиваться. Если традиционные методы отбора достаточно активно освещаются в научной литературе, то методы с использованием искусственного интеллекта, несмотря на их актуальность, остались в области практической работы кадрового менеджмента передовых организаций и научному анализу подвержены в меньшей степени [16].

Таким образом, *проблема эффективности* применения технологий ИИ в процессах управления персоналом в большинстве случаев сводится к трудностям в отборе сотрудников. Сдерживающим фактором для использования ИИ-решений в отборе персонала является непонимание возможных эффектов для компании. Многие организации затрудняются в оценке эффектов от внедрения ИИ-решений либо даже не знают, как ее проводить.

Сложившаяся ситуация характеризуется явным *противоречием*. С одной стороны, растет заинтересованность компаний в технологиях искусственного интеллекта. С другой стороны, отсутствуют исследования, отражающие эффективность применения подобных технологий в процессах отбора персонала.

Эффективность применения ИИ-технологий при отборе сотрудников зависит от многих факторов, таких как масштаб отбора, категория подбираемых сотрудников, квалификация HR-специалистов и др. Эта тема практически не затрагивается в литературе, что безусловно является проблемой, так как для оценки целесообразности внедрения ИИ и обеспечения положительного эф-

фекта от применения подобных технологий необходимо выявить степень влияния каждого из факторов на конечных результат.

Целью настоящего исследования является выявление возможностей систем ИИ в оптимизации процесса отбора персонала и определение важнейших факторов их эффективного применения.

2. ИСТОЧНИКИ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения этой цели был проведен экспертный опрос сотрудников подразделений отбора персонала крупных российских компаний, в которых применяются технологии ИИ. Сформированная выборка позволяет определить возможности систем ИИ в оптимизации процесса отбора персонала и выявить важнейшие факторы эффективности использования таких систем. Отбор экспертов проводился по следующим критериям: род занятий (отбор персонала), стаж работы (более года) и уровень квалификации по исследуемому вопросу (наличие опыта работы с системами ИИ или участие в проектах по их внедрению).

Выбор метода экспертного опроса связан с ограниченным кругом специалистов, разбирающихся в рассматриваемой теме, с необходимостью владения специальными знаниями в области отбора персонала и понимания принципов работы систем ИИ, возможностей их применения в данном направлении. Исследование проводилось с 15 по 28 февраля 2021 года.

В экспертном опросе участвовали 10 специалистов из отделов отбора персонала различных компаний, по одному эксперту из каждой. В таблице представлена краткая информация об организациях, сотрудники которых участвовали в исследовании.

Характеристика компаний, сотрудники которых приняли участие в исследовании

Characteristics of companies whose employees participated in the study

Компания	Сфера деятельности	Численность персонала
ПАО «СИБУР Холдинг»	Нефтехимия	>22 000 сотрудников
ПАО «Северсталь»	Горнодобывающая промышленность и металлургия	>14 000 сотрудников
ООО «Яндекс»	Информационные технологии	>11 000 сотрудников

Окончание таблицы

End of Table

Компания	Сфера деятельности	Численность персонала
АО «Альфа-Банк»	Банковская сфера	>26 000 сотрудников
АО «Гринатом»	Информационные технологии	>5000 сотрудников
ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА»	Металлургия	>16 000 сотрудников
ООО «Лента»	Розничная торговля	>50 000 сотрудников
ПАО «Сбербанк»	Банковская сфера	>286 000 сотрудников
ПАО «МТС»	Телекоммуникации	>27 000 сотрудников
ПАО «Мегафон»	Телекоммуникации	>40 000 сотрудников

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам проведенного опроса, большинство исследуемых крупных компаний применяет для отбора персонала рекомендательные системы и интеллектуальные системы поддержки принятия решений (8 компаний). Пять экспертов отметили, что в их компаниях при отборе сотрудников используются технологии обработки естественного языка. Компьютерное зрение и технологии распознавания и синтеза речи также встречаются на практике, но применяются реже: трое опрошенных дали ответ «Компьютерное зрение» и трое – «Технологии распознавания и синтеза речи» (рис. 1).

Опыт работы экспертов с технологиями ИИ схож с практикой их применения в рассматриваемых компаниях (рис. 2). Об этом можно судить на основании того, что аналогичное количество опрошенных в своей работе сталкивались с рекомендательными системами (8 экспертов) и технологиями обработки естественного языка (5 экспертов), в то же время компьютерное зрение и технологии распознавания речи встречались экспертам на практике реже (выбраны по 2 раза). Эти факты позволяют предположить, что большинство экспертов впервые столкнулись с технологиями ИИ на настоящем месте работы.

Рис. 1. Технологии ИИ, применяемые в компаниях в отборе персонала (каждый эксперт мог указать несколько технологий)

Fig. 1. Technologies And technologies used in companies in the selection of personnel (each expert could specify several technologies)

Рис. 2. Технологии ИИ, используемые при отборе персонала (каждый эксперт мог указать несколько технологий)

Fig. 2. Technologies And technologies used in companies in the selection of personnel (each expert could specify several technologies)

Почти все эксперты (9 опрашиваемых) отметили, что в их компаниях системы ИИ применяются на этапе первичного отбора (рис. 3). Этот этап в

большей степени по сравнению с другими поддается автоматизации с помощью ИИ, так как он предполагает выполнение однотипных и повторяющихся действий, не требующих применения человеческой креативности и интуиции. Первичный отбор отнимает много рабочего времени и включает в себя рутинную деятельность, поэтому этот этап поддается автоматизации лучше остальных. На втором месте по количеству ответов оказался этап поиска и подбора (7 экспертов), а также испытания кандидатов (5 экспертов). Изучение документов о кандидате автоматизировано с помощью ИИ в трех компаниях. Реже ИИ применяется на этапах собеседований и принятия решения о найме (по 2 экспертных ответа). Исходя из этого можно сделать вывод о том, что сотрудники готовы отдать ИИ выполнение рутинных задач, однако пока боятся доверять ему решение более сложных вопросов, требующих принятия серьезных решений. Это обусловлено тем, что технологии ИИ пока что находятся на начальном этапе своего развития.

Рис. 3. Этапы процесса отбора персонала, на которых применяются системы ИИ (каждый эксперт мог указать несколько этапов)

Fig. 3. Stages of the personnel selection process where AI systems are applied (each expert could specify several stages)

ИИ в компаниях используется для автоматизации всех этапов и функций отбора персонала, хотя и в разной степени (рис. 4). Основное количество ответов экспертов коснулось функций поиска резюме (7 ответов), тестирования кандидатов (6 ответов), анализа резюме и социальных сетей соискателей (5 ответов), проведения видеоинтервью и оценки кандидата (5 ответов), реже ИИ применяется для размещения вакансий на работных сайтах (4 ответа). Функции предварительного телефонного собеседования, предоставление кандидатам обратной связи и их проверка получили по 3 экспертных ответа. Функция организации встреч и рассылка приглашений является наименее популярной для использования систем ИИ среди остальных, ее выбрали лишь двое опрошенных.

Рис. 4. Задачи отбора персонала, для которых применяются системы ИИ (каждый эксперт мог указать несколько задач)

Fig. 4. Personnel selection tasks for which AI systems are used (each expert could specify several tasks)

Среди факторов, влияющих на эффективность использования систем ИИ в отборе персонала, большинство экспертов выделяют категорию подбираемых

сотрудников (8 ответов) и масштаб отбора (6 ответов) (рис. 5). Отсюда следует, что внедрение и использование ИИ наиболее целесообразно при массовом отборе сотрудников на типовые должности, не требующие высокой квалификации. Также весомым фактором, по мнению экспертов, является выбор программного продукта на основе технологий ИИ. По 5 экспертных ответов получили факторы выбора программного продукта, качества и объема набора данных для обучения систем. Наименее значимыми факторами, по мнению экспертов, являются размер компании, коэффициент текучести кадров и квалификация HR-специалистов (по 2 экспертных ответа).

Рис. 5. Факторы, влияющие на эффективность использования систем ИИ в отборе персонала (каждый эксперт мог указать несколько факторов)

Fig. 5. Factors affecting the effectiveness of the use of AI systems in the selection of personnel (each expert could specify several factors)

При внедрении систем ИИ в процессы отбора персонала большинство исследуемых компаний столкнулось со сложностями их интеграции с используемым программным обеспечением (4 ответа) и крупными денежными затратами (3 ответа). В двух компаниях отметили сложность в разработке критериев эффективности работы системы. Проблемы нехватки временных ресурсов, как и неудобство системы, ощутили лишь в одной компании. Проблем в связи с недостатком цифровых компетенций HR-специалистов компании не испы-

тали, что может свидетельствовать о большой доле молодого поколения среди сотрудников компаний, а также о их гибкости и высокой скорости обучения навыкам работы с новыми системами (рис. 6).

Рис. 6. Сложности, с которыми столкнулись компании при внедрении систем ИИ (каждый эксперт мог указать несколько видов сложностей)

Fig. 6. Difficulties faced by companies when implementing AI systems (each expert could specify several types of difficulties)

В целом эксперты отметили благоприятный характер влияния систем ИИ на процессы отбора персонала: 4 эксперта считают влияние ИИ положительным, 3 – скорее положительным, чем отрицательным (рис. 7), 3 эксперта оценили влияние систем ИИ на область отбора как нейтральное. Остальные отметили слабое влияние систем на отбор кандидатов. Никто из опрашиваемых не склонился к отрицательному влиянию ИИ на деятельность по рассматриваемому направлению. Это доказывает целесообразность автоматизации данной сферы управления персоналом с помощью ИИ-функций.

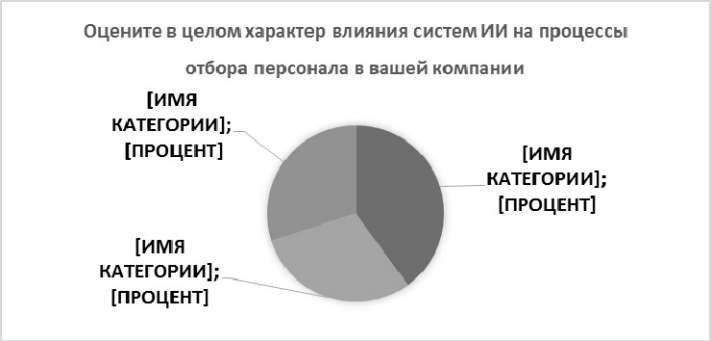


Рис. 7. Характер влияния систем ИИ на процессы отбора персонала

Fig. 7. The impact of AI systems on personnel selection processes

Кроме того, большинство из экспертов считают, что эффективность отбора персонала скорее возросла, чем осталась без изменений (6 экспертов), один эксперт уверенно отмечает рост эффективности, трое считают, что она не изменилась (рис. 8).

Рис. 8. Изменение эффективности отбора с момента внедрения систем ИИ

Fig. 8. Efficiency of personnel selection since the implementation of AI systems

Среди преимуществ использования систем ИИ в отборе практически все опрашиваемые выделяют экономию времени на рутинных задачах (9 экспертов), а большая часть из них отмечают улучшение качества отбора (6 экспертов). Половина опрошенных отметили увеличение скорости отбора. Среди преимуществ эксперты выделяют также устойчивость ИИ-систем к высоким

нагрузкам (3 ответа), экономию денежных ресурсов (3 эксперта), отсутствие предвзятости к кандидатам (2 эксперта). Важно также обратить внимание, что ни один эксперт не отметил отрицательного характера влияния систем на рассматриваемое направление деятельности (рис. 9).

Рис. 9. Преимущества использования систем ИИ в отборе персонала (каждый эксперт мог указать несколько преимуществ)

Fig. 9. Benefits of using AI systems in personnel selection (each expert could point out several advantages)

Вместе с тем недостатком систем ИИ большая часть экспертов считает сложности при отборе сотрудников на нетиповые позиции (6 ответов). Также к недостаткам систем эксперты приписывают их зависимость от качества и объема набора данных (4 ответа) и нежелание кандидатов общаться с роботом (4 ответа) (рис. 10). Меньшее количество опрошенных посчитали недостатками систем сложность их интеграции с другим программным обеспечением (3 эксперта) и невозможность отслеживания работы алгоритмов (3 эксперта). Ни один из опрошенных не отметил трудностей работы с системами.

Несмотря на наличие недостатков у ИИ, большинство опрошенных считают их преодолимыми (рис. 11); 4 эксперта отмечают, что для их устранения необходимы значительные затраты; 3 эксперта, наоборот, считают, что существенных затрат не потребуется, а двое вовсе отрицают существенность недостатков. Неустранимых недостатков, по мнению опрошенных, ИИ не имеет, это может говорить о том, что сотрудники видят перспективу в использовании и развитии этого инструмента при отборе персонала.

Рис. 10. Недостатки использования систем ИИ в отборе персонала (каждый эксперт мог указать несколько недостатков)

Fig. 10. Disadvantages of using AI systems in personnel selection (each expert could point out several shortcomings)

Рис. 11. Возможности устранения недостатков систем ИИ

Fig. 11. Opportunities to eliminate the shortcomings of AI systems

Подтверждением данному выводу служат ответы экспертов на вопрос об их отношении к применению технологий ИИ в отборе персонала (рис. 12), 6 из которых высказались положительно, а один скорее положительно, чем нейтрально; 3 эксперта обозначили нейтральное отношение к данному явлению. Отрицательных оценок применения технологий ИИ получено не было.

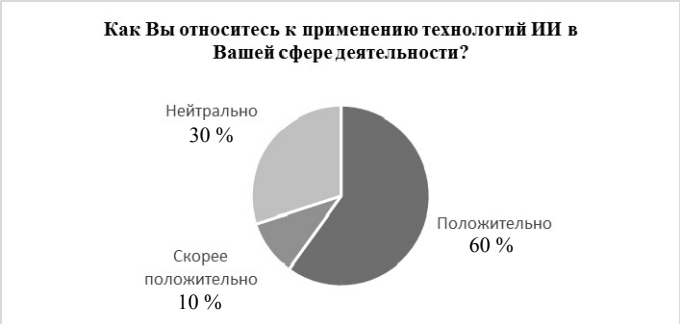


Рис. 12. Отношение экспертов к применению технологий ИИ при отборе сотрудников

Fig. 12. Expert assessment of the use of AI technologies in the selection of employees

В большинстве исследуемых компаний (6) планируется внедрение новых систем ИИ для отбора персонала в дальнейшем (рис. 13), однако информация по поводу задач, для решения которых они будут предназначены, преимущественно не раскрывается. Эксперты, владеющие информацией, отметили все задачи отбора персонала (рис. 14): проведение предварительного телефонного собеседования (3 ответа), организация встреч и рассылка приглашений на собеседование (2 ответа), проведение видеоинтервью с оценкой кандидата (2 ответа), предоставление кандидатам обратной связи (2 ответа), размещение вакансий на сайтах (1 ответ), поиск резюме (1 ответ), анализ резюме (1 ответ), тестирование кандидата (1 ответ), проверка документов (1 ответ).

Положительным результатом также является тот факт, что абсолютное большинство опрошенных считают, что в течение последних трех лет эффективность систем ИИ, предназначенных для отбора персонала, изменилась в лучшую сторону (9 экспертов), а один из них считает, что возросла значительно (рис. 15). Кроме того, практически все эксперты склоняются к тому, что системы ИИ в отборе персонала будут качественно совершенствоваться и применяться для большего количества задач, и лишь один считает, что системы ИИ выйдут на плато своего развития (рис. 16).

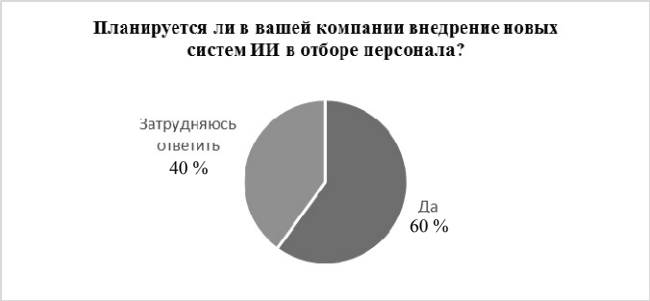


Рис. 13. Планирование компаниями внедрения систем ИИ в отбор персонала

Fig. 13. Companies ' planning for the implementation of AI systems in the selection of personnel

Рис. 14. Задачи, которые планируется автоматизировать компаниями в отборе персонала в будущем (каждый эксперт мог указать несколько задач)

Fig. 14. Tasks that are planned to be automated by companies in the selection of personnel in the future (each expert could specify several tasks)

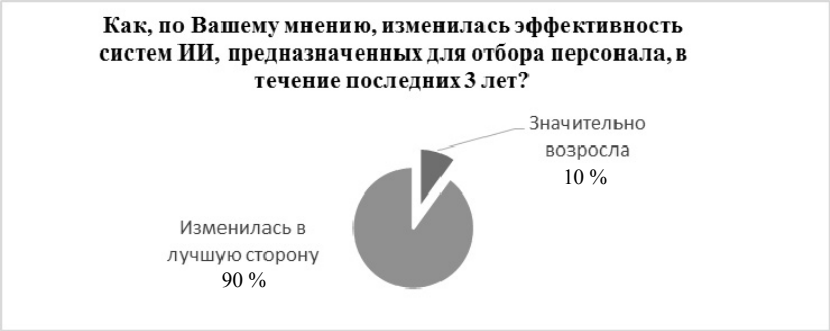


Рис. 15. Степень изменения эффективности систем ИИ за последние 3 года

Fig. 15. The degree of change in the effectiveness of AI systems over the past 3 years

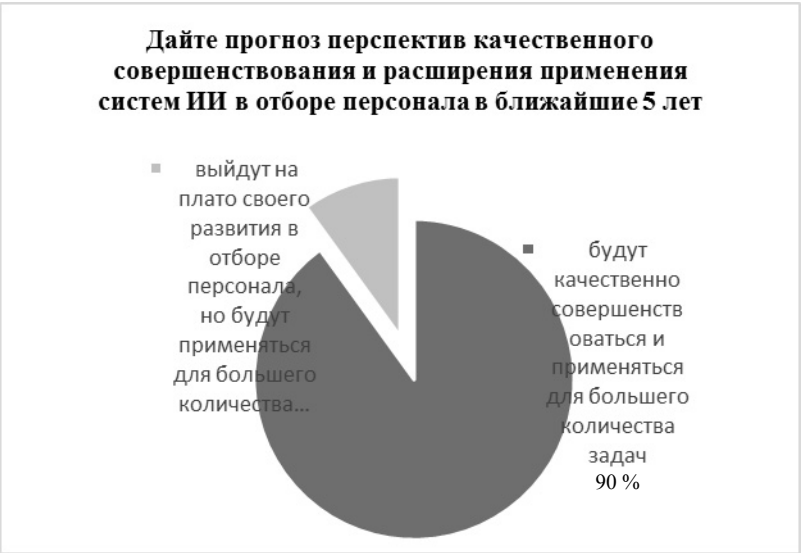


Рис. 16. Прогнозы экспертов о перспективах развития систем ИИ в отборе персонала

Fig. 16. Expert forecasts on the prospects for the development of AI systems in the selection of personnel

При оценке тенденций изменения спроса компаний на системы ИИ для отбора персонала практически все эксперты говорят о его росте в известных им компаниях (рис. 17).

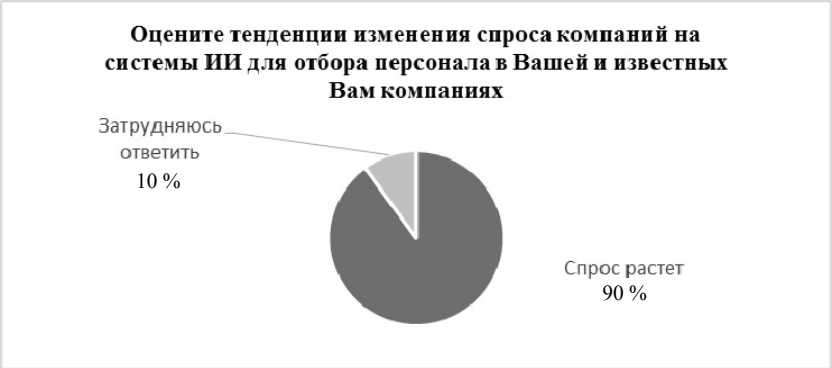


Рис. 17. Тенденции изменения спроса компаний на системы ИИ

Fig. 17. Trends in companies ' demand for AI systems

В результате проведенного экспертного опроса можно отметить положительную динамику в применении технологий и систем ИИ в отборе персонала, осознание HR-специалистами значительных преимуществ его применении в данной сфере, признание ими отсутствия непреодолимых недостатков его совершенствования, открытость руководства и сотрудников по отношению к внедрению ИИ-технологий. Также можно выделить важность таких факторов использования ИИ-технологий, как категория и масштаб подбираемых сотрудников, масштаб отбора и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За последние несколько лет область управления персоналом прошла большой путь с точки зрения цифровизации кадровых процессов. Одним из первостепенных направлений управления персоналом, в которые сегодня активно проникают технологии искусственного интеллекта, является отбор персонала. В этой сфере высокими темпами развиваются технологии машинного обучения, обработки естественного языка, распознавания образов, а также искусственных нейронных сетей и рекомендательных систем.

Результаты проведенного социологического исследования, направленного на выявление возможностей систем ИИ в оптимизации отбора персонала и

определение важнейших факторов их эффективного применения, позволяют выделить некоторые рекомендации для компаний.

1. В связи с тем, что наиболее важными факторами, влияющими на эффективность применения систем ИИ в рассматриваемой области, являются категория подбираемых сотрудников и масштаб отбора, на них необходимо обращать внимание в первую очередь.

2. При выборе системы ИИ стоит заранее учитывать ее возможности интеграции с имеющимся программным обеспечением.

3. При построении прогноза затрат на проект принимать во внимание возможность непредвиденных статей расходов, соотносить их с имеющимися финансовыми ресурсами и продумывать возможные стратегии.

4. Продумать решения и возможности нивелирования таких недостатков ИИ, как неприспособленность для отбора на нетиповые позиции, зависимость от качества и объема набора обучающих данных и возможное нежелание кандидатов общаться с роботом.

Результаты прикладного исследования позволяют сделать вывод о том, что грамотно выстроенная система отбора персонала с применением инновационных методов, основанных на ИИ, при условии учета индивидуальных характеристик организации и факторов эффективности применения ИИ способна обеспечить конкурентное преимущество компании.

На основе всего вышесказанного можно сделать вывод о том, что искусственный интеллект в сфере отбора персонала, несмотря на наличие определенных проблем, имеет множество преимуществ, а также большие перспективы развития. Современные программные решения, основанные на искусственном интеллекте, создают благоприятные возможности для роста и совершенствования компаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cappelli P., Tambe P., Yakubovich V.* Artificial intelligence in human resources management: challenges and a path forward // California Management Review. – 2019. – Vol. 61, iss. 4. – DOI: 10.2139/ssrn.3263878.

2. *Lawler J., Elliot R.* Artificial intelligence in HRM: an experimental study of an expert system // Journal of Management. – 1996. – Vol. 22, iss. 1. – P. 85–111. – DOI: 10.1016/S0149-2063(96)90013-6.

3. Competence assessment as an expert system for human resource management: a mathematical approach / M. Bohloulia, N. Mittasb, G. Kakarontzasbc, T. Theodosioub, L. Angelisb, M. Fathia // Expert Systems with Applications. – 2017. – Vol. 70. – P. 83–102. – DOI: 10.1016/j.eswa.2016.10.046.

4. *Nawaz N.* Exploring artificial intelligence applications in human resource management // Journal of Management Information and Decision Sciences. – 2020. – Vol. 23, iss. 5. – P. 552–563.

5. *Nawaz N.* Artificial intelligence applications for face recognition in recruitment process // Journal of Management Information and Decision Sciences. – 2020. – Vol. 23, Spec. iss. – P. 499–509.

6. *Nawaz N.* Artificial intelligence is transforming recruitment effectiveness in CMMI level companies // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. – 2019. – Vol. 8 (6). – P. 3017–3021.

7. *Abdeldayem M.M., Aldulaimi S.H.* Trends and opportunities of artificial intelligence in human resource management: aspirations for public sector in Bahrain // International Journal of Scientific and Technology Research. – 2020. – Vol. 9 (1). – P. 3867–3871.

8. *Boon C., Den Hartog D.N., Lepak D.P.* A systematic review of human resource management systems and their measurement // Journal of Management. – 2019. – Vol. 45 (6). – P. 2498–2537.

9. Introduction and background/context correlation between entrepreneurial orientation and implementation of AI in human resource management (HRM) / R. Baldegger, M. Caon, K. Sadiku, S. Ransbotham, P. Gerbert, M. Reeves, M. Spira // Technology Innovation Management Review. – 2017. – Vol. 10 (4). – P. 72–79.

10. *Matsa P., Gullamajji K.* To study impact of artificial intelligence on human resource management // International Research Journal of Engineering and Technology. – 2019. – Vol. 6, iss. 8. – P. 1229–1238.

11. *Davenport T.* AI and HR: a match made in many companies // Forbes. – 2019. – February 10. – URL: https://www.forbes.com/sites/tomdavenport/2019/02/10/ai-and-hr-a-match-made-in-many-companies/#71bcdc983cd3 (accessed: 29.05.2021).

12. A video-based screening system for automated risk assessment using nuanced facial features / S.J. Pentland, N.W. Twyman, J.K. Burgoon, J.F. Nunamaker, C.B.R. Diller // Journal of Management Information Systems. – 2017. – Vol. 34, N 4. – P. 970–993.

13. *Twyman N.W.* Automated human screening for detecting concealed knowledge: Dr. of philosophy diss. / Department of Management Information Systems, University of Arizona. – Tucson, AZ, 2012. – 128 p.

14. *Пантелеева Т.А., Арустамов Э.А., Максаев А.А.* Возможности искусственного интеллекта в управлении кадровыми ресурсами в условиях свободного предпринимательства // Отходы и ресурсы. – 2019. – Т.6, № 3. – С. 1–9.

15. *Климчук Т.В., Уваров М.А.* Искусственный интеллект в сфере управления персоналом // Вестник науки и образования. – 2020. – № 13-2 (91). – С. 31–35.

16. *Фадейкина В.С., Андреева Н.Н.* Современные технологии автоматизации процессов подбора персонала в организацию // Вестник экономики, права и социологии. – 2020. – № 1. – С. 142–151.

17. *Калиновская И.Н.* Теоретические аспекты подбора кадров с применением технологий искусственного интеллекта // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2021. – № 1 (21). – С. 48–64.

18. *Шарапова Н.В., Шарапова В.М., Швецова Д.М.* Digital-технологии подбора персонала // Креативная экономика. – 2017. – № 9. – С. 953–966.

19. *Чуланова О.Л., Хайбуллова К.Н.* Исследование применения технологий искусственного интеллекта в управлении персоналом современных организаций // Вестник Евразийской науки. – 2020. – № 1. – С. 1–14.

20. *Кораблев А.Ю., Булатов Р.Б.* Машинное обучение в бизнесе // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2018. – № 2 (23). – С. 68–72.

21. *Голованова О.С., Масюк Н.Н.* Чат-бот – digital помощник рекрутера // Территория новых возможностей. – 2020. – № 4. – С. 111–117.

22. *Архипова Н.И., Седова О.Л.* Применение digital-инструментов в подборе и отборе персонала в организации // Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право. – 2018. – № 2 (12). – С. 9–22.

23. *Вальдриева З.Р., Фандрова Л.П.* Оптимизация решений по отбору персонала на основе разработки экспертной системы // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы II Международной научно-практической конференции, г. Тамбов, 17–19 ноября 2015 г. – Тамбов, 2016. – Вып. 2, т. 2. – С. 327–335.

24. *Маслова В.М.* Система рекрутинга с элементами искусственного интеллекта // Экономические системы. – 2018. – Т. 11, № 1 (40). – С. 56–59.

25. *Шевелева А.В., Шевелев В.С.* Практика применения искусственного интеллекта в сфере управления персоналом нефтегазовых компаний // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. – 2019. – № 3. – С. 354–360.

26. *Блинникова А.В., Йинг Д.К.* Использование искусственного интеллекта в процессах управления человеческими ресурсами // Вестник Университета. – 2020. – № 7. – С. 14–21.

27. *Цой Д.В.* Трансформация системы управления персоналом в условиях цифровизации экономики // Инновационная наука. – 2020. – № 1. – С. 62–65.

28. Мониторинг глобальных трендов цифровизации 2020 / ПАО «Ростелеком». – URL: https://www.company.rt.ru/upload/iblock/6e0/ROSTELECOM_TRENDS2020_INTERACTIVE_FINAL.pdf (дата обращения: 29.05.2021).

29. Эффекты от внедрения решений на базе искусственного интеллекта в российских компаниях / ПАО «Ростелеком». – URL: https://www.company.rt.ru/press/news/files/ROSTELECOM_AI_0112.pdf (дата обращения: 29.05.2021).

Петрунин Юрий Юрьевич, доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой «Математические методы и информационные технологии в управлении» факультета государственного управления Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, руководитель секции «Управление знаниями» Научного совета РАН по методологии искусственного интеллекта, руководитель Центра анализа больших данных в общественных науках. Область научных интересов – искусственный интеллект, нейрокомпьютинг, анализ данных, управление. Имеет более 150 публикаций. E-mail: petrunin@spa.msu.ru

Пугачёва Анна Евгеньевна, магистрант кафедры управления персоналом факультета государственного университета МГУ имени М.В. Ломоносова. Область научных интересов – управление персоналом, отбор персонала, искусственный интеллект. E-mail: PugachevaAE@spa.msu.ru

DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-97-121

Implementation of artificial intelligence technologies in human resources management in Russian companies*

Yu.Yu. Petrunin[1], A.E. Pugacheva[2]

[1] *Lomonosov Moscow State University, 27/4 Lomonosov Prospekt, Moscow, 119991, Russian Federation, doctor of letters in philosophy, professor, head of the Mathematical Methods and Information Technology in Management Department. E-mail: petrunin@spa.msu.ru*

[2] *Lomonosov Moscow State University, 27/4 Lomonosov Prospekt, Moscow, 119991, Russian Federation, master's student of the Department of Personnel Management, E-mail: PugachevaAE@spa.msu.ru*

The article examines the problems and prospects of the introduction of artificial intelligence technologies in the selection of personnel in commercial companies in Russia. In recent years, both the number of applications and the number of scientific articles on the use of artificial in-

* *Received 11 May 2021.*

telligence technologies in personnel management processes both in our country and abroad have been growing. However, at present, there is a certain gap in the issues of evaluating the effectiveness of the use of these technologies, identifying the most promising areas for the use of artificial intelligence in the selection of personnel, and determining the factors that affect the results of such implementations in relation to Russian conditions. The survey of experts and practitioners in the field of working with artificial intelligence technologies in the field of personnel management of leading Russian companies allowed us to partially answer the relevant questions. The analysis of the respondents ' responses showed that these technologies favorably affect the selection of employees, improve the quality of selection, increase its speed, unload employees, save money resources and help eliminate bias towards candidates. The factors that increase the efficiency and effectiveness of the implementation of artificial intelligence technologies in the selection of personnel were identified: the category of selected employees, the scale of selection, and the possibility of integration with existing software. The difficulties of using artificial intelligence technologies in the selection of personnel include the presence of atypical positions for selection, the dependence of the results on the quality and volume of the training data set, and the possible reluctance of candidates to communicate with the robot. According to the results of the study, we can make a reasonable conclusion that artificial intelligence in the field of personnel selection, despite the presence of certain problems, has many advantages, as well as great prospects for development.

Keywords: digital technologies, artificial intelligence, implementation of the technology, human resources management, staff selection, Russian companies, AI technology efficiency, management sociology, expert survey, recommendation and intelligent decision support systems, machine learning, computer vision, natural language processing, speech recognition and synthesis

REFERENCES

1. Cappelli P., Tambe P., Yakubovich V. Artificial intelligence in human resources management: challenges and a path forward. *California Management Review*. 2019, vol. 61, iss. 4. DOI: 10.2139/ssrn.3263878.

2. Lawler J., Elliot R. Artificial intelligence in HRM: an experimental study of an expert system. *Journal of Management*, 1996, vol. 22, iss. 1, pp. 85–111. DOI: 10.1016/S0149-2063(96)90013-6.

3. Bohloulia M., Mittasb N., Kakarontzasbc G., Theodosioub T., Angelisb L., Fathia M. Competence assessment as an expert system for human resource management: a mathematical approach. *Expert Systems with Applications*, 2017, vol. 70, pp. 83–102. DOI: 10.1016/j.eswa.2016.10.046.

4. Nawaz N. Exploring artificial intelligence applications in human resource management. *Journal of Management Information and Decision Sciences*, 2020, vol. 23, iss. 5, pp. 552–563.

5. Nawaz N. Artificial intelligence applications for face recognition in recruitment process. *Journal of Management Information and Decision Sciences*, 2020, vol. 23, spec. iss., pp. 499–509.

6. Nawaz N. Artificial intelligence is transforming recruitment effectiveness in CMMI level companies. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 2019, vol. 8 (6), pp. 3017–3021.

7. Abdeldayem M.M., Aldulaimi S.H. Trends and opportunities of artificial intelligence in human resource management: aspirations for public sector in Bahrain. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 2020, vol. 9 (1), pp. 3867–3871.

8. Boon C., Den Hartog D.N., Lepak D.P. A systematic review of human resource management systems and their measurement. *Journal of Management*, 2019, vol. 45 (6), pp. 2498–2537.

9. Baldegger R., Caon M., Sadiku K., Ransbotham S., Gerbert P., Reeves M., Spira M. Introduction and background/context correlation between entrepreneurial orientation and implementation of AI in human resource management (HRM). *Technology Innovation Management* Review, 2017, vol. 10 (4), pp. 72–79.

10. Matsa P., Gullamajji K. To study impact of artificial intelligence on human resource management. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2019, vol. 6, iss. 8, pp. 1229–1238.

11. Davenport T. AI and HR: a match made in many companies. *Forbes*, 2019, February 10. Available at: https://www.forbes.com/sites/tomdavenport/2019/02/10/ai-and-hr-a-match-made-in-many-companies/#71bcdc983cd3 (accessed 29.05.2021).

12. Pentland S.J., Twyman N.W., Burgoon J.K., Nunamaker J.F., Diller C.B.R. A video-based screening system for automated risk assessment using nuanced facial features. *Journal of Management Information Systems*, 2017, vol. 34, no. 4, pp. 970–993.

13. Twyman N.W. *Automated human screening for detecting concealed knowledge*. Dr. of philosophy diss. Department of Management Information Systems, University of Arizona. Tucson, AZ, 2012. 128 p.

14. Panteleeva T.A., Arustamov E.A., Maksaev A.A. Vozmozhnosti iskusstvennogo intellekta v upravlenii kadrovymi resursami v usloviyakh svobodnogo predprinimatel'stva [The possibilities of artificial intelligence in the management of human resources in a free enterprise]. *Otkhody i resursy = Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*, 2019, vol. 6, no. 3, pp. 1–9.

15. Klimchuk T.V., Uvarov M.A. Iskusstvennyi intellekt v sfere upravleniya personalom [Artificial intelligence in human resource management]. *Vestnik nauki i obrazovaniya = Herald of Science and Education*, 2020, no. 13-2 (91), pp. 31–35.

16. Fadeikina V.S., Andreeva N.N. Sovremennye tekhnologii avtomatizatsii protsessov podbora personala v organizatsiyu [Modern technologies for automation

of recruitment processes in the organization]. *Vestnik ekonomiki, prava i sotsiologii = The Review of Economy, the Law and Sociology*, 2020, no. 1, pp. 142–151.

17. Kalinovskaya I.N. Teoreticheskie aspekty podbora kadrov s primeneniem tekhnologii iskusstvennogo intellekta [Theoretical aspects of personnel selection with the use of artificial intelligence technologies. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2021, no. 1 (21), pp. 48–64.

18. Sharapova N.V., Sharapova V.M., Shvetsova D.M. Digital-tekhnologii podbora personala [Digital-technologies of personnel selection]. *Kreativnaya ekonomika = Creative Economy*, 2017, no. 9, pp. 953–966.

19. Chulanova O.L., Khaibullova K.N. Issledovanie primeneniya tekhnologii iskusstvennogo intellekta v upravlenii personalom sovremennykh organizatsii [Research of the application of artificial intelligence technologies in personnel management of modern organizations]. *Vestnik Evraziiskoi nauki = The Eurasian Scientific Journal*, 2020, no. 1, pp. 1–14.

20. Korablev A.Yu., Bulatov R.B. Mashinnoe obuchenie v biznese [Machine learning in business]. *Azimut nauchnykh issledovanii: ekonomika i upravlenie = Azimuth of Scientific Research: Economics and Administration*, 2018, no. 2 (23), pp. 68–72.

21. Golovanova O.S., Masyuk N.N. Chat-bot – digital pomoshchnik rekrutera [Chat-bot – digital recruiter assistant]. *Territoriya novykh vozmozhnostei = The Territory of New Opportunities*, 2020, no. 4, pp. 111–117.

22. Arkhipova N.I., Sedova O.L. Primenenie digital-instrumentov v podbore i otbore personala v organizatsii [The use of digital tools in the selection and selection of personnel in the organization]. *Vestnik RGGU. Seriya: Ekonomika. Upravlenie. Pravo = RSUH/RGGU Bulletin. "Economics. Management. Low" Series*, 2018, no. 2 (12), pp. 9–22.

23. Val'drieva Z.R., Fandrova L.P. [Optimization of personnel selection decisions based on the development of an expert system]. *Virtual'noe modelirovanie, prototipirovanie i promyshlennyi dizain*: materialy II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Virtual simulation, prototyping and industrial design: materials of the II International Scientific and Practical Conference]. Tambov, 2016, iss. 2, vol. 2, pp. 327–335. (In Russian).

24. Maslova V.M. Sistema rekrutinga s elementami iskusstvennogo intellekta [Recruiting system with elements of artificial intelligence]. *Ekonomicheskie sistemy = Economic Systems*, 2018, vol. 11, no. 1 (40), pp. 56–59.

25. Sheveleva A.V., Shevelev V.S. Praktika primeneniya iskusstvennogo intellekta v sfere upravleniya personalom neftegazovykh kompanii [The practice of ap-

plying artificial intelligence in the field of personnel management of oil and gas companies]. *Vestnik Kemerovskogo gos-udarstvennogo universiteta. Seriya: Politicheskie, sotsiologicheskie i ekonomicheskie nauki = Bulletin of Kemerovo State University. Series: Political, Sociological, and Economic sciences*, 2019, no. 3, pp. 354–360.

26. Blinnikova A.V., Iing D.K. Ispol'zovanie iskusstvennogo intellekta v protsessakh upravleniya chelovecheskimi resursami [The use of artificial intelligence in the processes of human resource management]. *Vestnik Universiteta*, 2020, no. 7, pp. 14–21. (In Russian).

27. Tsoi D.V. Transformatsiya sistemy upravleniya personalom v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki [Transformation of the personnel management system in the conditions of digitalization of the economy]. *Innovatsionnaya nauka = Innovative Science*, 2020, no. 1, pp. 62–65.

28. PJSC Rostelecom. *Monitoring global'nykh trendov tsifrovizatsii 2020* [Monitoring global digitalization trends 2020]. Available at: https://www.company.rt.ru/upload/iblock/6e0/ROSTELECOM_TRENDS2020_INTERACTIVE_FINAL.pdf (accessed 29.05.2021).

29. PJSC Rostelecom. *Effekty ot vnedreniya reshenii na baze iskusstvennogo intellekta v rossiiskikh kompaniyakh* [Effects of implementing solutions based on artificial intelligence in Russian companies]. Available at: https://www.company.rt.ru/press/news/files/ROSTELECOM_AI_0112.pdf (accessed 29.05.2021).

Для цитирования:

Петрунин Ю.Ю., Пугачёва А.Е. Имплементация технологий искусственного интеллекта для отбора персонала российских компаний // Безопасность цифровых технологий. – 2021. – № 2 (101). – С. 97–121. – DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-97-121.

For citation:

Petrunin Yu.Yu., Pugacheva A.E. Implementatsiya tekhnologii iskusstvennogo in-tellekta dlya otbora personala rossiiskikh kompanii [Implementation of artificial intelligence technologies in human resources management in Russian companies]. *Bezopasnost' tsifrovykh tekhnologii = Digital technology security*, 2021, no. 2 (101), pp. 97–121. DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-97-121.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. – 2021. – № 2 (101). – 122–135

МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 004.056 DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-122-135

HONEYPOT КАК ИНСТРУМЕНТ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ЗАЩИЩЕННОЙ СИСТЕМЫ*

А.Б. АРХИПОВА[1], Д.Р. КАРЕВСКИЙ[2]

[1] *630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры защиты информации. E-mail: arhipova@corp.nstu.ru*
[2] *630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, лаборант кафедры защиты информации. E-mail: kaf_zi@corp.nstu.ru*

Honeypot-системы были разработаны для поиска и изучения действий злоумышленников в скомпрометированной системе. Термин honeypot используется для системы, которая была настроена с намерением быть скомпрометированной (поэтому обычно содержит более старое ПО с уязвимостями безопасности либо имеет дыры в безопасности, связанные с неправильной настройкой ПО) и для получения информации о методах и инструментах злоумышленника.
Honeypot-система может снизить количество ложных срабатываний, выдаваемых другими средствами защиты информации, внедренными в систему, такими как IDS/IPS-системы, различные антивирусы. Это делает чрезвычайно эффективным использование таких систем для обнаружения атак. Организации, которые могут регистрировать тысячи предупреждений в день с использованием традиционных технологий, будут регистрировать только сто предупреждений с помощью honeypot-систем. Honeypot, с другой стороны, могут быть легко использованы для выявления и захвата новых, более изощренных атак, придуманных сообществом черных хакеров. Honeypot могут легко обнаружить новые атаки, потому что любое действие против такой системы является аномалией. Таким образом, honeypot можно использовать для сбора, управления и анализа большего количества данных об атаках.
Honeypot-система также может быть использована для получения информации о хакерской деятельности в рамках определения методов работы злоумышленников и, как результат, становится превентивной мерой против реально защищенной системы. На ранних этапах хакер сканирует сеть для поиска уязвимых компьютеров, в результате чего обнаруживает приманку, которая намеренно уязвима для привлечения атак. Если в дальнейшем злоумышленник попытается подключиться к honeypot, система немедленно обнаружит и зафиксирует действие, потому что обычный пользователь не должен взаимодействовать с системой.

* Статья получена 22 февраля 2021 г.

В представленной работе были рассмотрены теоретические аспекты honeypot-систем, представлены классификации honeypot по различным основаниям. Представлена архитектура honeypot-системы, предназначенной для исследования поведения злоумышленника после его проникновения внутрь корпоративной системы, как инструмент реализации комплексной эффективной защищенной системы организации.

Ключевые слова: honeypot-система, информационная безопасность, киберугрозы, защищенная система, системы обнаружения вторжений, уязвимости CVE, среда виртуализации VMware с ОС Ubuntu, архитектура защищенной honeypot-системы

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время увеличение использования сетевых ресурсов сопровождается ростом объема проблем безопасности. Новые угрозы и уязвимости обнаруживают каждый день и затрагивают пользователей и компании на критических уровнях – от вопросов конфиденциальности до финансовых потерь. Одним из важных аспектов защиты в таком случае является анализ методов и действий, выполняемых злоумышленником.

За последние десятилетия было разработано большое количество инструментов для защиты от атак, с которыми сталкивается большинство коммерческих и некоммерческих организаций.

Один из наиболее часто используемых инструментов – межсетевой экран (firewall), который представляет собой программный или программно-аппаратный элемент компьютерной сети, осуществляющий контроль и фильтрацию проходящего через него сетевого трафика в соответствии с заданными правилами.

Система обнаружения вторжений (IDS, Intrusion Detection Systems) – это еще один тип таких инструментов, использующийся для обнаружения некоторых типов вредоносной активности, которая может нарушить безопасность компьютерной системы. К такой активности относят сетевые атаки против уязвимых сервисов, атаки, направленные на повышение привилегий, неавторизованный доступ к важным файлам, а также действия вредоносного программного обеспечения. Но этим инструментам зачастую не хватает возможности обнаружить новые угрозы, такие как уязвимости нулевого дня, основанные на атаках нулевого дня. Также эти инструменты не могут собрать больше информации о злонамеренных действиях злоумышленника, его полезной нагрузке (payload), доступных эксплоитах (exploit) и навыках ввиду отсутствия сигнатур атак нулевого дня в соответствующих базах [1, 2].

В рамках повышения уровня защиты любой организации и создания эффективных защищенных систем разработчики средств безопасности предпринимают попытки формирования наиболее полной базы данных о доступных уязвимостях, об имеющихся эксплоитах и действиях злоумышленников.

Исследовательские организации и образовательные учреждения по безопасности уже анализируют методы и следы сообщества «черных» хакеров. Решением проблемы может явиться создание honeypot-систем [1–3].

1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ HONEYPOT-СИСТЕМ

Изначально honeypot-системы были разработаны для поиска и изучения действий злоумышленников в скомпрометированной системе. Термин «honeypot» используется для системы, которая была настроена с намерением быть скомпрометированной (поэтому обычно содержит более старое ПО с уязвимостями безопасности либо имеет дыры в безопасности, связанные с неправильной настройкой ПО), и для получения информации о методах и инструментах злоумышленника.

Honeypot-система может снизить количество ложных срабатываний, выдаваемых другими средствами защиты информации, внедренных в системе, такими как IDS/IPS-системы, различные антивирусы. Это делает чрезвычайно эффективным использование таких систем для обнаружения атак. Организации, которые могут регистрировать тысячи предупреждений в день с использованием традиционных технологий, будут регистрировать только сто предупреждений с помощью honeypot-систем. Honeypot, с другой стороны, могут быть легко использованы для выявления и захвата новых, более изощренных атак, придуманных сообществом черных хакеров. Honeypot могут легко обнаружить новые атаки, потому что любое действие против такой системы является аномалией. Таким образом, honeypot можно использовать для сбора, управления и анализа большего количества данных об атаках.

Honeypot-система также может быть использована для получения информации о хакерской деятельности в рамках определения методов работы злоумышленников и, как результат, становится превентивной мерой против реально защищенной системы. На ранних этапах хакер сканирует сеть для поиска уязвимых компьютеров, в результате чего обнаруживает приманку, которая намеренно уязвима для привлечения атак. Если в дальнейшем злоумышленник попытается подключиться к honeypot, система немедленно обнаружит и зафиксирует действие, потому что обычный пользователь не должен взаимодействовать с системой.

Анализ литературы позволил классифицировать honeypots по разным основаниям. В частности, в зависимости от уровня взаимодействия honeypots подразделяются на три типа: с высоким, низким и средним уровнями взаимодействия [2].

Honeypot с высоким уровнем взаимодействия представляет собой полноценную систему для взаимодействия. Это означает, что honeypot с высокой степенью взаимодействия не просто имитирует операционную систему, сервисы, процессы и функции, а является максимально приближенной к реальной системе. Эта система предполагает получение злоумышленником полного контроля над системой honeypot, что может быть использовано для получения дополнительной информации об инструментах, тактике и мотивах атакующего [3].

Система honeypot с высоким уровнем взаимодействия может отвлекать внимание злоумышленника максимально эффективно от реальных ресурсов компании, поскольку предполагает расход большого количества ресурсов для обнаружения и компрометации данной системы.

У системы honeypot с высоким взаимодействием также есть недостатки. Например, злоумышленники могут использовать honeypot, которая была взломана, для проведения новых атак на другие системы, доступные в сети.

Система honeypot с низким уровнем взаимодействия обычно предоставляет только имитацию определенных сервисов. В результате honeypot с низким уровнем взаимодействия только эмулирует службу и регистрирует данные, которые в результате будут записаны на жесткий диск, однако не обеспечивает доступ к другим ресурсам на компьютере. Honeypot-система с низким уровнем взаимодействия имеет ряд преимуществ. Во-первых, данная система достаточно проста в настройке и обслуживании. Во-вторых, не требует значительных вычислительных мощностей и не может быть полностью скомпрометирована хакером. В результате риск использования honeypot с низким уровнем взаимодействия намного меньше, чем при использовании honeypot с высоким уровнем взаимодействия. С другой стороны, к недостаткам honeypot-систем с низким уровнем взаимодействия относят факт того, что происходит имитация реальной системы без предоставления злоумышленникам настоящей корневой оболочки.

Honeypot среднего взаимодействия. Этот тип honeypot создает иллюзию ложной операционной системы, с которой атакующий может взаимодействовать [4, 5], тем самым записывая все действия злоумышленника. Honeytrap является одной из honeypot-систем со средним взаимодействием.

Honeypot-системы могут работать как на реальных, так и на виртуальных машинах. В зависимости от этого выделяют физические и виртуальные системы honeypot. Так, физические системы теоретически обеспечивают больший уровень изоляции системы от остальной сети, но при этом требуют гораздо больших ресурсов для работы. Виртуальные же системы требуют меньше ресурсов, а также гораздо более удобны в настройке и обслуживании.

2. АРХИТЕКТУРА И РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАЩИЩЕННОЙ HONEYPOT-СИСТЕМЫ

Архитектура системы предполагает наличие следующих ключевых особенностей [6–17]:

1) система honeypot должна удерживать злоумышленника в системе в течение длительного времени, что означает, что система должна быть максимально реалистичной;

2) система honeypot не должна раскрывать реальную сеть организации (граница honeypot должна быть прочной);

3) система не должна содержать официально опубликованных уязвимостей CVE, чтобы атакующие с большей вероятностью стали применять неопубликованные атаки нулевого дня на систему honeypot;

4) honeypot-система должна работать в среде виртуализации VMware с ОС Ubuntu с базовой конфигурацией и службами, требующими мониторинга.

Идея разработки заключается в создании системы, идентичной существующим, предполагающей многопоточную работу несколько различных служб.

Допущение: наличие уязвимости, используя которую злоумышленник имеет возможность проникнуть в систему.

Архитектура защищенной honeypot-системы предполагает два основных этапа – выбор служб для реализации honeypot-системы и установку (настройку) служб.

В качестве первой ступени привлечения внимания злоумышленников выступает установка и настройка веб-сервера. Далее следует работа на уровне FTP-сервера в рамках обмена файлами между компьютерами по локальной сети и Интернету. На сервере настроен только анонимный доступ без возможности загрузки / скачивания файлов, FTP-сервер будет доступен на порте X.

Другой системной службой, работающей в системе, является MySQL-сервер. MySQL-сервер, как система управления базами данных, будет доступен на порте Y.

Также в разрабатываемой системе будет работать системная служба SSH, которая позволит производить удаленное управление операционной системой. SSH-сервер будет доступен на порте Z.

Для всех вышеперечисленных служб необходимым условием является открытие портов для имитации реальной системы.

В результате успешной brute-force атаки на службу SSH злоумышленник попадет на машину под пользователем с минимальными правами.

С этого момента все действия, которые предпримет злоумышленник, будут записаны при помощи различных средств: сниффер сетевых пакетов tcpdump (запишет и сохранит весь сетевой трафик), подсистема аудита auditd (запишет и сохранит журналы логирования системы), скрипт на языке Python для записи экрана (запишет экран в качестве видео со всеми действиями злоумышленника). После этого все файлы будут отправлены на удаленное хранилище.

Графически структура разработанной honeypot-системы представлена на рисунке.

При обращении потенциального злоумышленника к FTP-серверу отображается список файлов с разными именами, расширениями, размерами и датами создания. Это становится возможным за счет работы заранее прописанного скрипта, написанного на языке Python для привлечения внимания злоумышленника. Скрипт считывает имена и расширения из заранее подготовленных файлов согласно параметрам разработчика. Также он меняет размер и дату создания файла на случайную, чтобы они выглядели максимально правдоподобно.

Общая структура разработанной honeypot-системы

General structure of the developed honeypot system

Листинг скрипта может быть представлен в следующем виде:

```
import ....
BASE_DIR = 'docs'  # в какую папку сохранять файлы
WORDS_FILE = 'words.txt'
EXTENSION_FILE = 'extensions.txt'
SIZE_FROM = 1024  # размер файла не меньше значения (в байтах)
SIZE_TO = 8192  # размер файла не больше значения (в байтах)
def log(s):
    now = datetime.datetime.now()
    msg = '{}: {}'.format(now.strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S"), s)
    print(msg)
def load_file_content(fn):
    content = None
    try:
        with open(fn, 'r', encoding='utf-8') as file:
            content = file.read()
    except:
.....
    return content.splitlines()
def read_lists():
    if not os.path.isfile(WORDS_FILE):
        log(f'Не найден файл со списком слов!')
        sys.exit()
    words_list = load_file_content(WORDS_FILE)
    words_list = [x for x in words_list if x]
    if not words_list:
        log('Не удалось получить список слов!')
        sys.exit()

    if not os.path.isfile(EXTENSION_FILE):
        log(f'Не найден файл со списком расширений!')
        sys.exit()
    extensions_list = load_file_content(EXTENSION_FILE)
    extensions_list = [x for x in extensions_list if x]
    if not extensions_list:
        log('Не удалось получить список расширений!')
        sys.exit()
```

```
    return words_list, extensions_list
creator.py
def create_file(fn):
    file_size = random.randrange(SIZE_FROM, SIZE_TO)
    try:
        with open(fn, 'wb') as f:
            f.seek(file_size - 1)
            f.write(b'\0')
            return True
    except:
        log(f'Ошибка создания файла {fn}')
        sys.exit()

def change_time_creation(fn):
    file_year = str(random.randint(2000, 2020))
    file_month = str(random.randint(1, 7)).zfill(2)
    ……
```

Для документации действий злоумышленников в honeypot-системе был написан скрипт на языке Python, который с заданным интервалом делал скриншоты виртуальной машины и, сравнивая с предыдущим скриншотом, определял, происходит там что-то или нет. При выявлении активности скрипт включал запись экрана.

Алгоритм работы скрипта состоит из следующих действий:

1) подключение злоумышленника к системе при помощи SSH;
2) запуск скрипта;
3) формирование скриншота экрана;
4) дублирование скриншота экрана через фиксированный промежуток времени;
5) если скриншоты различны в результате изменения структуры:
5.1) старт записи экрана на определенное время;
5.2) сохранение записи в определенную папку и файл;
6) если ничего не произошло, то переходим к пункту 2.

Листинг скрипта может быть представлен в следующем виде:

```
def read_settings():
    config = configparser.ConfigParser()
    config.read("config.ini")
```

```
def log(s):
    now = datetime.datetime.now()
    msg = '{}: {}'.format(now.strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S"), s)
    print(msg)
def start_record(fn):
    log('Начата запись...')
    screen_size = (X1 - X0, Y1 - Y0)
    fourcc = cv2.VideoWriter_fourcc(*"XVID")
    out = cv2.VideoWriter(fn, fourcc, FPS, screen_size)
    cycle_time = FPS * DURATION
    for _ in range(cycle_time):
        img = pyautogui.screenshot(region=(X0, Y0, X1, Y1))
        frame = np.array(img)
        frame = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)
        out.write(frame)

    cv2.destroyAllWindows()
    out.release()
    log('Завершена запись видео.')
def main():
    log('Начало работы!')
    read_settings()
    base_screenshot = pyautogui.screenshot(region=(X0, Y0, X1, Y1))
    base_screenshot = cv2.cvtColor(np.array(base_screenshot),
cv2.COLOR_RGB2BGR)
    while True:
        new_screenshot = pyautogui.screenshot(region=(X0, Y0, X1, Y1))
        new_screenshot = cv2.cvtColor(np.array(new_screenshot),
cv2.COLOR_RGB2BGR)
        log('Сделан новый скриншот...')
        res = cv2.absdiff(base_screenshot, new_screenshot)
        res = res.astype(np.uint8)
        percentage = round((np.count_nonzero(res) * 100) / res.size, 2)
        log(f'Разница между изображениями: {percentage}')
```

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Концепция honeypot-систем является важным дополнением к сфере информационной безопасности. Разработанная honeypot-система предназначена для исследования поведения злоумышленника после его проникновения внутрь корпоративной системы. Для злоумышленников использовались такие системные службы, как веб-сервер Nginx, FTP-сервер, SSH-сервер для удаленного доступа к honeypot-системе, MYSQL-сервер, а также ряд утилит и скриптов. Разработанная honeypot-система предоставляет необходимый функционал для успешной работы, также ее архитектура позволяет при необходимости расширить спектр возможностей системы и задать вектор дальнейшего развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Diebold P., Hess A., Schäfer G.* A honeypot architecture for detecting and analyzing unknown network attacks // 14th Kommunikation in Verteilten Systemen (KiVS 2005), Kaiserslautern, 28. Februar – 3. März. – Berlin; Heidelberg: Springer, 2005. – P. 245–255.

2. An experimental study of SSH attacks by using honeypot decoys / E. Kheirkhah, S.M.P. Amin, H.A.J. Sistani, H. Acharya // Indian Journal of Science and Technology. – 2013. – Vol. 6. – P. 5567–5578.

3. *Tiwari R., Jain A.* Design and analysis of distributed honeypot system // International Journal of Computer Applications. – 2012. – Vol. 55, N 13. – P. 20–23.

4. *Mahajan S., Adagale A.M., Sahare C.* Intrusion detection system using Raspberry PI Honeypot in network security // International Journal of Engineering Science and Computing. – 2016. – Vol. 6. – P. 2792–2795.

5. *Provos N., Holz T.* Virtual honeypots: from botnet tracking to intrusion detection. – Upper Saddle River: Addison-Wesley, 2007.

6. Hack like no one is watching: using a honeypot to spy on attackers / L. Liu, K. Mahar, C. Virdi, H. Zhou // MIT Computer and Network Security Term Projects, 2016. – URL: http://docplayer.net/21979034-Hack-like-no-one-is-watching-using-ahoneypot-to-spy-on-attackers.html (accessed: 30.05.2021).

7. Applying deception mechanisms for detecting sophisticated cyber attacks / A Research Paper by TopSpin Security. – October, 2016. – URL: https://library.cyentia.com/report/report_002229.html (accessed: 30.05.2021).

8. *Robin B., Cukier M.* An evaluation of connection characteristics for separating network attacks // International Journal of Security and Networks. – 2009. – Vol. 4, iss. 1–2. – P. 110–124. – DOI: 10.1504/IJSN.2009.023430.

9. *Jones H.M.* The restrictive deterrent effect of warning messages on the behavior of computer system trespassers. PhD Thesis / University of Maryland. – College Park, 2014.

10. Restrictive deterrent effects of a warning banner in an attacked computer system / D. Maimon, M. Alper, B. Sobesto, M. Cuckier // Criminology. – 2014. – Vol. 52, iss. 1. – DOI: 10.1111/1745-9125.12028.

11. An experimental study of SSH attacks by using Honeypot Decoys / E. Kheirkhah, S.M.P. Amin, H.A. Sistani, H.S. Acharya // Indian Journal of Science and Technology. – 2013. – Vol. 6, iss. 12. – P. 5567–5578.

12. *Jiang X., Wang X., Xu D.* Stealthy malware detection through VMM-based "Out-of-the-box" semantic view reconstruction // Proceedings of the 14th ACM Conference on Computer and Communications Security (CCS, Alexandria, USA). – New York: ACM Press, 2007. – DOI: 10.1145/1315245.1315262.

13. *Jiang X., Wang X.* "Out-of-the-box" monitoring of VM-based high-interaction honeypots // Proceedings of the 10th International Symposium on Recent Advances in Intrusion Detection (RAID, Gold Goast, Australia, 5–7 September 2007). – Heidelberg: Springer, 2007. – DOI: 10.1007/978-3-540-74320-0_11. – (Lecture Notes in Computer Science; vol. 4637).

14. *Laurén S., Rauti S., Leppänen V.* An interface diversified honeypot for malware analysis // Proceedings of the 10th European Conference on Software Architecture Workshops (ECSAW, Copenhagen, Denmark, 28 November – 02 December 2016). – New York: ACM Press, 2016. – DOI: 10.1145/2993412.2993417.

15. *Barros A.* DLP and honeytokens. – 2007, August 27. – URL: http://blog.securitybalance.com/2007/08/dlp-and-honeytokens.html (accessed: 30.05.2021).

16. *Sobesto B.* Empirical studies based on honeypots for characterizing attackers behaviour. PhD Thesis / University of Maryland. – College Park, 2015.

17. *Sentanoe S., Taubmann B., Reiser H.P.* Virtual machine introspection based SSH honeypot // Proceedings of the 4th Workshop on Security in Highly Connected IT Systems, SHCIS, 19–22 June 2017, Neuchatel, Switzerland. – New York: ACM Press, 2017. – DOI: 10.1145/3099012.3099016.

Архипова Анастасия Борисовна, кандидат технических наук, доцент кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. Основные направления научных исследований – программное обеспечение научных задач, управление в социально-экономических систе-

мах, информационная безопасность. Имеет более 60 публикаций. E-mail: arhipova@corp.nstu.ru

Каревский Данила Русланович, лаборант кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. Основные направления научных исследований – программное обеспечение научных задач, информационная безопасность. E-mail: kaf_zi@corp.nstu.ru

DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-122-135

Honeypot as a tool for creating an effective secure system*

A.B. Arkhipova[1], D.R. Karevskiy[2]

[1] *Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Information Security. E-mail: arhipova@corp.nstu.ru*
[2] *Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, laboratory assistant of the Department of Information Security. E-mail: kaf_zi@corp.nstu.ru*

In the presente work, the theoretical aspects of honeypot systems were considered, and the classification of honeypots on various grounds was presented. The architecture of a honeypot system is presented, designed to investigate the behavior of an attacker after his penetration into the corporate system, as a tool for implementing a complex effective secure system of the organization.

Keywords: honeypot system, information security, cyber threats, protected system

REFERENCES

1. Diebold P., Hess A., Schäfer G. A honeypot architecture for detecting and analyzing unknown network attacks. *14th Kommunikation in Verteilten Systemen (KiVS 2005)*, Kaiserslautern, 28. Februar – 3. März. Berlin, Heidelberg, Springer, 2005, PP. 245–255. (In German).

2. Kheirkhah E., Amin S.M.P., Sistani H.A.J., Acharya H. An experimental study of ssh attacks by using honeypot decoys. *Indian Journal of Science and Technology*, 2013, vol. 6, pp. 5567–5578.

3. Tiwari R., Jain A. Design and analysis of distributed honeypot system. *International Journal of Computer Applications*, 2012, vol. 55, no. 13, pp. 20–23.

* *Received 22 February 2021.*

4. Mahajan S., Adagale A.M., Sahare C. Intrusion detection system using Raspberry PI Honeypot in network security. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 2016, vol. 6, pp. 2792–2795.

5. Provos N., Holz T. *Virtual honeypots: from botnet tracking to intrusion detection*. Upper Saddle River, Addison-Wesley Professional, 2007.

6. Liu L., Mahar K., Virdi C., Zhou H. Hack like no one is watching: using a honeypot to spy on attackers. *MIT Computer and Network Security Term Projects, 2016*. Available at: http://docplayer.net/21979034-Hack-like-no-one-is-watching-using-ahoneypot-to-spy-on-attackers.html (accessed 30.05.2021).

7. *Applying deception mechanisms for detecting sophisticated cyber attacks*. A research paper by TopSpin Security. October, 2016. Available at: https://library.cyentia.com/report/report_002229.html (accessed 30.05.2021).

8. Robin B., Cukier M. An evaluation of connection characteristics for separating network attacks. *International Journal of Security and Networks*, 2009, vol. 4, iss. 1–2, pp. 110–124. DOI: 10.1504/IJSN.2009.023430.

9. Jones H.M. *The restrictive deterrent effect of warning messages on the behavior of computer system trespassers. PhD Thesis*. University of Maryland. College Park, 2014.

10. Maimon D., Alper M., Sobesto B., Cuckier M. Restrictive deterrent effects of a warning banner in an attacked computer system. *Criminology*, 2014, vol. 52, iss. 1. DOI: 10.1111/1745-9125.12028.

11. Kheirkhah E., Amin S.M.P., Sistani H.A., Acharya H.S. An experimental study of SSH attacks by using Honeypot Decoys. *Indian Journal of Science and Technology*, 2013, vol. 6, iss. 12, pp. 5567–5578.

12. Jiang X., Wang X., Xu D. Stealthy malware detection through VMM-based "Out-of-the-box" semantic view reconstruction. *Proceedings of the 14th ACM Conference on Computer and Communications Security* (CCS, Alexandria, USA). New York, ACM Press, 2007. DOI: 10.1145/1315245.1315262.

13. Jiang X., Wang X. "Out-of-the-box" Monitoring of VM-based high-interaction honeypots. *Proceedings of the 10th International Symposium on Recent Advances in Intrusion Detection* (RAID, Gold Goast, Australia, 5–7 September 2007). *Lecture Notes in Computer Science*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2007, vol. 4637. DOI: 10.1007/978-3-540-74320-0_11.

14. Laurén S., Rauti S., Leppänen V. An interface diversified honeypot for malware analysis. *Proceedings of the 10th European Conference on Software Architecture Workshops* (ECSAW, Copenhagen, Denmark, 28 November – 02 December 2016). New York, ACM Press, 2016. DOI: 10.1145/2993412.2993417.

15. Barros A. *DLP and honeytokens*. 2007, August 27. Available from: http://blog.securitybalance.com/2007/08/dlp-and-honeytokens.html (accessed 30.05.2021).

16. Sobesto B. *Empirical studies based on honeypots for characterizing attackers behaviour. PhD Thesis*. University of Maryland. College Park, 2015.

17. Sentanoe S., Taubmann B., Reiser H.P. Virtual machine introspection based SSH honeypot. *Proceedings of the 4th Workshop on Security in Highly Connected IT Systems*, *SHCIS*, 19–22 June 2017, Neuchatel, Switzerland. New York, ACM Press, 2017. DOI: 10.1145/3099012.3099016.

Для цитирования:

Архипова А.Б., Каревский Д.Р. Honeypot как инструмент создания эффективной защищенной системы // Безопасность цифровых технологий. – 2021. – № 2 (101). – С. 122–135. – DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-122-135.

For citation:

Arkhipova A.B., Karevskiy. Honeypot kak instrument sozdaniya effektivnoy zashishennoy systemi [Honeypot as a tool for creating an effective secure system]. *Bezopastnost cifrovih technologiy = Digital security*, 2021, no. 2 (101), pp. 122–135. DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-122-135.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. – 2021. – № 2 (101). – 136–153

УДК 004.891.1.3 DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-136-153

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДЕЙСТВИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ*

Н.Е. КАРПОВА[1], А.А. ЕМЕЛИНА[2]

[1] *443001, РФ, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Самарский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные системы и информационная безопасность». E-mail:esib@samgtu.ru*
[2] *443001, РФ, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Самарский государственный технический университет, студент кафедры «Электронные системы и информационная безопасность». E-mail:alina.lina0723@gmail.ru*

В настоящее время существует большое число механизмов защиты компьютерных систем. Одним из направлений является создание систем, реагирующих на возможные угрозы информационной безопасности предприятия. Так как, по статистике, большое количество преступлений, связанных с информацией, совершают сотрудники предприятий, особенно важным и актуальным вопросом является мониторинг действий пользователя в информационной среде. Основными достоинствами таких систем мониторинга является возможность представлять произвольные значения параметров в виде аналитики заданных величин, возможность учитывать больше количество сценариев развития, возможность использовать данную систему при принятии решений, при описании схем анализа потоков информационной среды, а также отслеживать большое количество компьютерных параметров. Для своевременного реагирования на инциденты информационной безопасности актуально разработать систему, в которой будет также учитываться взаимосвязь действий пользователя в информационной среде. Статья посвящена исследованию корреляционной зависимости между отдельными отслеживаемыми параметрами действий пользователя. Корреляционная зависимость используется при разработке нечетких правил для системы мониторинга действий пользователя в информационной системе. Авторы настоящей работы строили гипотезу о том, что действия пользователя в компьютерной системе взаимосвязаны друг с другом, т. е. если в отдельном отслеживаемом параметре пользователь совершает подозрительные действия, то с большей степенью уверенности можно говорить, что данный пользователь будет совершать подозрительные действия и в другом отслеживаемом параметре. Корреляционный анализ необходим для возможного уменьшения количества итераций при работе программы, что в дальнейшем позволяет ускорить анализ действий пользователя в информационной среде. Для того чтобы исследовать статистическую взаимосвязь параметров, авторы находили математическую меру корреляции – коэффициент корреляции (коэффициент корреляции Пирсона) для исследуемых параметров. На основании проведенного анализа были сформулированы нечеткие правила, на основе

* Статья получена 19 мая 2021 г.

которых строится система мониторинга действий пользователя в информационной среде. В данной разработке вводятся такой термин, как «эталонное поведение пользователя». Любое отклонение от данного «эталона» рассматривается как подозрительное действие и требует своевременного реагирования на возможный инцидент.

Ключевые слова: коэффициент корреляции, информационная безопасность, нечеткие правила, эталон поведения пользователя, несанкционированный доступ, система мониторинга, аудит, поведенческий анализ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует большое число механизмов защиты компьютерных систем. Одним из направлений является создание систем, реагирующих на возможные угрозы информационной безопасности предприятия [2, 3]. Так как, по статистике, большое количество преступлений, связанных с информацией, совершают сотрудники предприятий, особенно важным и актуальным является мониторинг действий пользователя в информационной среде. Основными достоинствами таких систем мониторинга является возможность представлять произвольные значения параметров в виде аналитики заданных величин, возможность учитывать большее количество сценариев развития, возможность использовать данную систему при принятии решений, при описании схем анализа потоков информационной среды, а также отслеживать большое количество компьютерных параметров [4].

Для своевременного реагирования на инциденты информационной безопасности актуально разработать систему, в которой будет также учитываться взаимосвязь действий пользователя в информационной среде.

1. ИССЛЕДОВАНИЕ

В представленном исследовании для определения нормального, подозрительного и аномального поведения пользователей был проведен анализ шести параметров информационной системы Института автоматики и информационных технологий Самарского государственного технического университета. К этим параметрам были отнесены: пути перемещения пользователей в системе, продолжительность сеанса работы в системе, время входа и выхода из информационной системы, расширение вновь создаваемых файлов, часто используемые программы, время хранения файлов. Изучение данных параметров позволяет осуществлять комплексный анализ действий пользователя и своевременно реагировать на аномальное поведение, связанное с несанкционированным доступом.

В рамках исследования были проанализированы журналы событий за один месяц 50 учебных компьютеров, расположенных в аудиториях универ-

ситета. Основными пользователями компьютеров являлись студенты указанного учебного заведения. Анализ был проведен с использованием метода экспертных оценок и метода относительных частот (прямого группового метода) [1, 5, 6]. В качестве экспертов были привлечены 11 человек, являющихся преподавателями и системными администраторами института.

При анализе выделенных параметров были определены их функции принадлежности [7–17]. В общем случае степень принадлежности $\mu_A(x)$ – это некоторая невероятностная субъективная мера нечеткости, определяемая в результате опроса экспертов о степени соответствия элемента *x* понятию, формализуемому нечетким множеством *A*. То есть функция принадлежности $\mu_A(x) \in [0,\ 1]$ ставит в соответствие каждому числу $x \in X$ число из интервала [0,1], характеризующее степень принадлежности решения к подмножеству *A*.

На основе проведенного анализа была составлена классификация поведения пользователя в информационной среде.

Таблица 1

Table 1

Классификация поведения пользователя в информационной среде

Classification of user behaviour in the information system

Параметр \ Поведение	Нормальное	Подозрительное	Аномальное
Использование папок	$0{,}6 < \mu_A(x)$	$0{,}4 < \mu_A(x) \le 0{,}6$	$\mu_A(x) \le 0{,}4$
Время входа и выхода из информационной системы	$0{,}6 < \mu_B(t)$	$0{,}4 < \mu_B(t) \le 0{,}6$	$\mu_B(t) \le 0{,}4$
Расширение у вновь создаваемых файлов	$0{,}5 \le \mu_C(n)$	$0{,}4 < \mu_C(n) < 0{,}5$	$\mu_C(n) \le 0{,}4$
Продолжительность сеанса	$0{,}6 < \mu_D(t)$	$0{,}4 < \mu_D(t) \le 0{,}6$	$\mu_D(t) \le 0{,}4$
Часто используемые программы	$0{,}5 \le \mu_E(x)$	$0{,}4 < \mu_E(x) < 0{,}5$	$\mu_E(x) \le 0{,}4$
Время хранения файлов	$0{,}7 < \mu_F(t)$	$0{,}4 < \mu_F(t) \le 0{,}7$	$\mu_F(t) \le 0{,}4$

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы.

Нормальным является поведение пользователя (студента), если он совершает следующие действия:

– заходит в информационную среду только во время пар с продолжительностью работы в системе не более 4,5 часа;

– использует в своей работе только учебные программы, например: Visual Studio, IDA Pro, IP Video System design Tool, Microsoft Office, NanoCad, Multisim;

– создает следующие виды файлов: текстовые, графические, .dwg, .jvsg, .mc8;

– удаляет только те файлы, которые сам создал.

Используя полученные данные, найдем корреляционную зависимость, которую можно использовать при разработке системы анализа действий пользователя в информационной среде.

Корреляционная зависимость – статистическая взаимосвязь двух или более случайных величин. Авторы настоящей работы строили гипотезу о том, что действия пользователя в компьютерной системе взаимосвязаны друг с другом. Корреляционный анализ необходим для возможного уменьшения количества итераций при работе программы, что в дальнейшем позволяет ускорить анализ действий пользователя в информационной среде. Для того чтобы исследовать статистическую взаимосвязь параметров, найдем математическую меру корреляции – коэффициент корреляции для исследуемых параметров. Для исследования будем применять линейный коэффициент корреляции (коэффициент корреляции Пирсона) (1):

$$R = \frac{m\sum_{i=1}^{m} xy - \left(\sum_{i=1}^{m} x\right)\left(\sum_{i=1}^{m} y\right)}{\sqrt{\left(m\sum_{i=1}^{m} x^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} x\right)^2\right)\left(m\sum_{i=1}^{m} y^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} y\right)^2\right)}}, \qquad (1)$$

где m – число статистических наблюдений; x и y – случайные величины.

Коэффициент Пирсона подходит при работе с выборкой, в которой 2 массива данных.

Первыми параметрами исследуем время входа / выхода из системы (массив x) и перечень основных программ (массив y) (табл. 2). В первый массив вносим значения экспертных оценок для времени входа / выхода, во втором массиве мы соотносим время с экспертными оценками для использования программы. На основании журналов событий мы видим, что наиболее часто в интервале времени с 7.55 до 13.15 используется программа Microsoft Office. В обеденное время обычно использовалась система тестирования. С 13.30 до 15.20 обычно использовалась Visual Studio. С 15.20 до 18.40 использовались IDA Pro, Ip Video System, Multisim. В интервале с 18.40 до 7.55 использовались Kaspersky или другие редко используемые программы.

Таблица 2

Table 2

Массивы данных для нахождения коэффициента корреляции (случай 1)

Data arrays for finding correlation coefficients (case 1)

Массив *x* (значения экспертных оценок для времени входа / выхода)	Массив *y* (значения экспертных оценок для использования программы)
0,8	0,9
0,4	0,3
0,8	0,8
0,6	0,5
0,2	0,2

Определим коэффициент корреляции:

$$R = \frac{m\sum_{i=1}^{m} xy - \left(\sum_{i=1}^{m} x\right)\left(\sum_{i=1}^{m} y\right)}{\sqrt{\left(m\sum_{i=1}^{m} x^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} x\right)^2\right)\left(m\sum_{i=1}^{m} y^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} y\right)^2\right)}} = 0,968\,, \qquad (2)$$

затем построим диаграмму рассеивания (рис. 1).

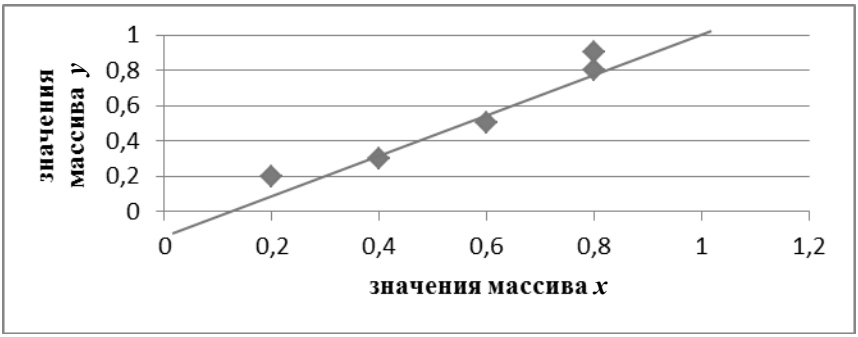


Рис. 1. Диаграмма рассеивания (случай 1)

Fig. 1. Scatter diagram (case 1)

Корреляция – положительная линейная. Значительная корреляция между этими двумя параметрами говорит о том, что в данной выборке существует некоторая статистическая связь. На основании данного исследования можем сделать вывод о том, что если вход произошел в «аномальное время», то нам нет смысла проверять используемую программу, так как в это время, как правило, может использоваться «неэталонная» программа.

Рассмотрим зависимость между используемыми программами (массив *x*) и создаваемыми файлами (массив *y*), табл. 2.

В первый массив вносим значения экспертных оценок для использования программ. Во второй массив вносим значения экспертных оценок для создания файлов, сопоставляя вероятности расширения файлов с используемой программой. Расширения скриптовых файлов, как правило, относятся к редко используемым программам. Использование Kaspersky и системы тестирования не подразумевает создания файлов, при работе с IDA Pro можно создать файл exe, при работе с IP Video System design Tool – файл .jvsg, при работе с Multisim – .mc8, при работе с Visual Studio – файл .exe, при работе с Microsoft Office – текстовые файлы.

Таблица 3

Table 3

Массивы данных для нахождения коэффициента корреляции (случай 2)

Data arrays for finding correlation coefficients (case 2)

Массив *x* (значения экспертных оценок для программы)	Массив *y* (значения экспертных оценок для расширения)
0,1	0,1
0,2	0
0,3	0
0,5	0,5
0,5	0,6
0,5	0,7
0,8	0,5
0,9	0,9

Определим коэффициент корреляции:

$$R = \frac{m\sum_{i=1}^{m} xy - \left(\sum_{i=1}^{m} x\right)\left(\sum_{i=1}^{m} y\right)}{\sqrt{\left(m\sum_{i=1}^{m} x^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} x\right)^2\right)\left(m\sum_{i=1}^{m} y^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} y\right)^2\right)}} = 0,84 . \quad (3)$$

Далее построим диаграмму рассеивания (рис. 2).

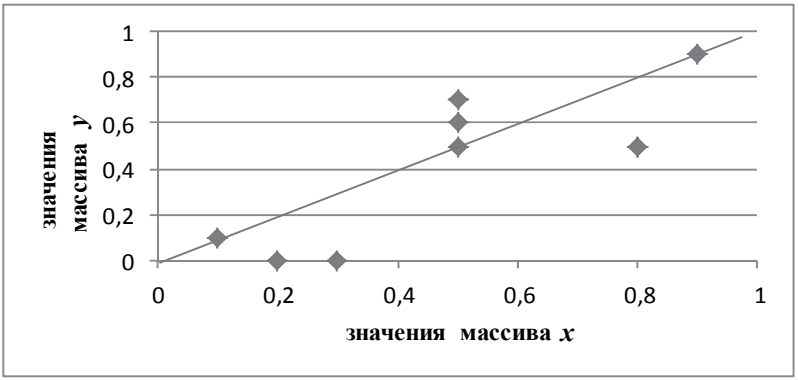


Рис. 2. Диаграмма рассеивания (случай 2)

Fig. 2. Scatter diagram (case 2)

Корреляция идентична случаю 1. На основании данного исследования можем сделать вывод о том, что если используется программа из списка «аномальных» программ, то нам нет смысла проверять расширение созданного файла.

Следующими параметрами, которые мы рассмотрим, являются значения экспертных оценок для используемых программ (массив *x*) и значения экспертных оценок для использования папок (массив *y*), табл. 4.

В первый массив вносим значения экспертных оценок для используемых программ, а во второй – значения экспертных оценок использования папок для каждой из программ. Как правило, редко используемые программы находятся в C:\Windows\Logs, Kaspersky находится в C:\Windows\System32, система тестирования в C:\Program Files, IDA Pro находится в C:\Users\1\

Documents\Загрузки\", IP Video System design Tool и Multisim в "C:\Documents and Settings\student\", Visual Studio в C:\Users\1\Documents\Загрузки\"", Microsoft Office в C:\Users\1\"

Таблица 4

Table 4

Массивы данных для нахождения коэффициента корреляции (случай 3)

Data arrays for finding correlation coefficients (case 3)

Массив *x* (значения экспертных оценок для использования программ)	Массив *y* (значения экспертных оценок для прохождения по путям)
0,1	0,2
0,2	0,2
0,3	0,3
0,5	0,6
0,5	0,7
0,5	0,7
0,8	0,6
0,9	0,8

Определим коэффициент корреляции:

$$R = \frac{m\sum_{i=1}^{m} xy - \left(\sum_{i=1}^{m} x\right)\left(\sum_{i=1}^{m} y\right)}{\sqrt{\left(m\sum_{i=1}^{m} x^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} x\right)^2\right)\left(m\sum_{i=1}^{m} y^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} y\right)^2\right)}} = 0,86 . \quad (4)$$

Затем построим диаграмму рассеивания (рис. 3).

Корреляция совпадает со случаями 1 и 2. На основании данного исследования можем сделать вывод о том, что если используется программа из списка «аномальных», то нам нет смысла проверять, какая папка используется в данный момент.

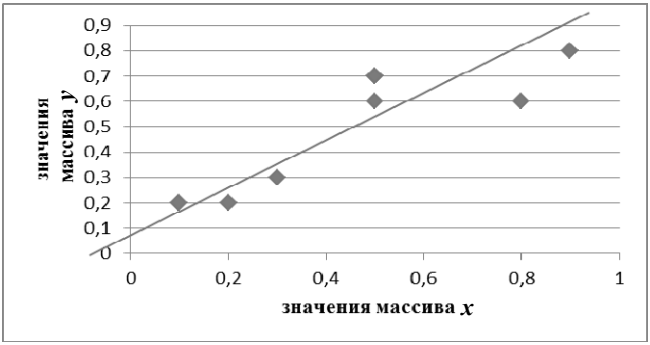


Рис. 3. Диаграмма рассеивания (случай 3)

Fig. 3. Scatter diagram (case 3)

Аналогично найдем статистическую взаимосвязь значений экспертных оценок для создания файлов (массив *x*) и значений экспертных оценок для использования папки (массив *y*), табл. 5.

Таблица 5

Table 5

Массивы данных для нахождения коэффициента корреляции (случай 4)

Data arrays for finding correlation coefficients (case 4)

Массив *x* (значения экспертных оценок для создания файлов)	Массив *y* (значения экспертных оценок для использования папок)
0,1	0,2
0,2	0,2
0,3	0,6
0,3	0,3
0.5	0,6
0,5	0,6
0,5	0,7
0,6	0,7
0,7	0,8
0,7	0,7
0,9	0,9
0,9	0,9

В первый массив вносим значения экспертных оценок для создания файлов, а во второй – экспертные оценки использования папок для каждой из программ. Скриптовые файлы, как правило, создаются в "C:\Windows\Logs", регистровые в "C:\Windows\System32", ярлыки в «C:\Documents and Settings\student\Рабочий стол», исполнительные файлы в "C:\Windows\", исполнительный (.exe, .com) и архивы в " C:\Documents and Settings\student\Мои документы"", Multisim, nanoCAD и IP Video System Design Tool файлы создаются в C:\Documents and Settings\student\", файлы Web-страниц в C:\Users\1\", графические и текстовые файлы создаются в C:\Documents and Settings\student\Мои документы.

Определим коэффициент корреляции:

$$R = \frac{m\sum_{i=1}^{m} xy - \left(\sum_{i=1}^{m} x\right)\left(\sum_{i=1}^{m} y\right)}{\sqrt{\left(m\sum_{i=1}^{m} x^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} x\right)^2\right)\left(m\sum_{i=1}^{m} y^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} y\right)^2\right)}} = 0,932\,. \qquad (5)$$

Далее построим диаграмму рассеивания (рис. 4).

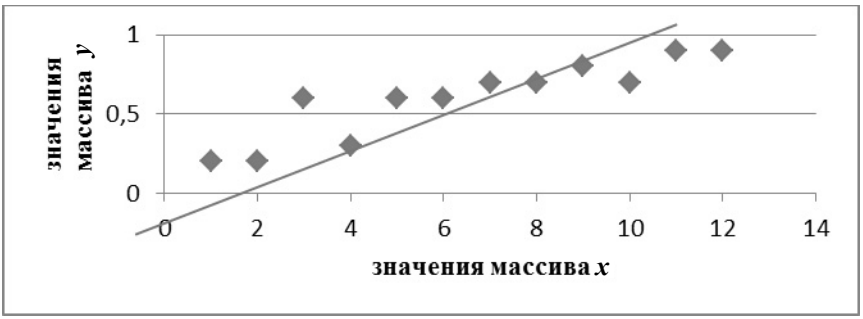


Рис. 4. Диаграмма рассеивания (случай 4)

Fig. 4. Scatter diagram (case 4)

Корреляция идентична случаям 1–3. На основании данного исследования можем сделать вывод о том, что если используются аномальные файлы, то нам нет смысла проверять, какая папка используется в данный момент.

Следующими рассматриваемыми параметрами являются путь файла и время удаления файла (табл. 6).

В массив x вносим экспертные оценки значений вероятностей пути, а в массив y – значения экспертных оценок, показывающих, через какое время после создания файла может быть удален этот файл в папке.

В системных папках "C:\Windows\Logs", "C:\Windows\System32", "C:\Windows\", как правило, удаление файлов происходит более чем через 6 часов после их создания, и это может делать либо администратор, либо злоумышленник. В "C:\Program Files" удаление наблюдалось через 5 часов после создания файла. В "C:\Users\1\Documents\Загрузки\" самое минимальное время удаления от момента создания файла наблюдалось через 30 минут. В папках "C:\Documents and Settings\student\Рабочий стол" "C:\Documents and Settings\student\Мои документы" "C:\Users\1\Documents\" удаление происходило через 1,5 часа. В папках "C:\Documents and Settings\student\" "C:\Users\1\" удаление происходило через 30 минут, а в папках "C:\Users\", "C:\Documents and Settings\", "C:\ " через 1,5…3 часа.

Таблица 6

Table 6

Массивы данных для нахождения коэффициента корреляции (случай 5)

Data arrays for finding correlation coefficients (case 5)

Массив x (значения экспертных оценок для использования папки)	Массив y (значения экспертных оценок для удаления файлов)
0,2	0,1
0,2	0,1
0,3	0,1
0,3	0,2
0,6	0,4
0,6	0,7
0,6	0,7
0,7	0,7
0,7	0,4
0,8	0,4
0,9	0,9
0,9	0,9
1	0,9

Определим коэффициент корреляции:

$$R = \frac{m\sum_{i=1}^{m} xy - \left(\sum_{i=1}^{m} x\right)\left(\sum_{i=1}^{m} y\right)}{\sqrt{\left(m\sum_{i=1}^{m} x^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} x\right)^2\right)\left(m\sum_{i=1}^{m} y^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} y\right)^2\right)}} = 0,885 . \quad (6)$$

Далее построим диаграмму рассеивания (рис. 5).

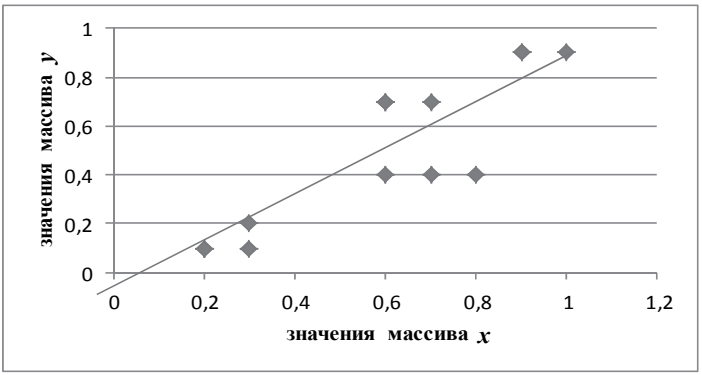


Рис. 5. Диаграмма рассеивания (случай 5)

Fig. 5. Scatter diagram (case 5)

Корреляция идентична случаям 1–4. На основании данного исследования можем сделать вывод о том, что если используются аномальные папки, то нам нет смысла проверять и ждать возможного удаления файлов в этих папках.

2. НЕЧЕТКИЕ ПРАВИЛА

На основании проведенного анализа были сформулированы нечеткие правила для разрабатываемой системы.

1. Если <*использование папок* – **аномальное**>, или <*продолжительность сеанса* – **аномальное**>, или <*время входа и выхода из информационной системы* – **аномальное**>, или <*расширение у вновь создаваемых файлов* – **аномальное**>, или <*часто используемые программы* – **аномальное**>,

или <*время хранения файлов* – **аномальное**>, то <**блокировка действий пользователя**>.

2. Если <*использование папок* – **подозрительное**>, или <*продолжительность сеанса* – **подозрительное**>, или <*время входа и выхода из информационной системы* – **подозрительное**>, или <*расширение у вновь создаваемых файлов* – **подозрительное**>, или <*часто используемые программы* – **подозрительное**>, или <*время хранения файлов* – **подозрительное**>, то <**информирование администратора**>.

3. Если <*использование папок* – **нормальное**>, и <*продолжительность сеанса* – **нормальное**>, и <*время входа и выхода из информационной системы* – **нормальное**>, и <*расширение у вновь создаваемых файлов* – **нормальное**>, и <*часто используемые программы* – **нормальное**>, и <*время хранения файлов* – **нормальное**>, то <**действий не требуется**>.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопрос обеспечения информационной безопасности на любом предприятии с каждым днем становится всё более актуальным. Инциденты в области информационной безопасности в корпоративной сети предприятия могут повлечь за собой утечку информации. Вследствие этого предприятие может потерпеть серьезные материальные и репутационные убытки и уступить на рынке конкурентам. В случае государственной организации последствия могут быть еще более плачевными. Поэтому в процессе разработки системы защиты на предприятии крайне важно осуществлять регулярный мониторинг действий пользователя в информационной среде. Мониторинг информационной безопасности в информационных (автоматизированных) системах представляет собой процесс постоянного наблюдения и анализа результатов регистрации событий безопасности с целью выявления нарушений, угроз безопасности информации. В работе был сформирован эталон пользователя информационной среды, найдена корреляционная зависимость между параметрами информационной системы, разработаны нечеткие правила для разрабатываемой системы. Система мониторинга разработана на языке программирования Python. Программа была протестирована в учебных аудиториях института. Система показала себя как стабильно функционирующая, устойчивая. На основе проведенных исследований с использованием математического аппарата нечетких множеств в будущем планируется разработка и обучение нейронной сети по выявлению аномального поведения пользователей в информационных системах, а также планируется возможность внедрения данной нейронной сети в другие корпоративные структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аверкин А.Н.* Нечеткие поведенческие модели принятия решений с учетом иррациональности поведения человека // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2014. – Т. 186. – С. 153–158.

2. *Баев А.В. Гаценко О.Ю. Самонов А.В.* Программный комплекс управления доступом USB-устройств к автоматизированным рабочим местам // Вопросы кибербезопасности. – 2020. – № 1 (35). – С. 52–61. – URL: http://cyberrus.com/wp-content/uploads/2020/03/52-61-135-20_6.-Baev.pdf (дата обращения: 31.05.2021).

3. *Cinque M., Della Corte R., Pecchia A.* Contextual filtering and prioritization of computer application logs for security situational awareness // Future Generation Computer Systems. – 2020. – Vol. 111. – P. 668–680. – DOI: 10.1016/j.future.2019.09.005.

4. *Ильин И.В., Гудков К.В.* Анализ недостатков искусственных нейронных сетей и методов их минимизации // Материалы X Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум – 2018». – URL: http://scienceforum.ru/2018/article/2018000271 (дата обращения: 31.05.2021).

5. Active authentication using file system decoys and user behavior modeling: results of a large scale study / V. Jonathan, S. Yingbo, M.B. Salem, H. Shlomo, S. Salvatore // Computers and Security. – 2019. – Vol. 87. – P. 101412. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167 404 818311258 (accessed: 31.05.2021).

6. *Karpova N.E., Panfilova I.E.* Ensuring the safety of information processes in sociotechnical systems based on an analysis of the behavioral characteristics of a person as a subject of such a system // 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP). – Samara, Russia, 2019. – P. 751–753.

7. *Mendel J.M.* Uncertain rule-based fuzzy logic systems: introduction and new directions. – Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2001. – 555 p.

8. *Zadeh L.A.* Fuzzy sets // Information and Control. – 1965. – Vol. 8 (3). – P. 338–353.

9. *Prade H.* A computational approach to approximate and plausible reasoning with applications to expert systems // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1985. – Vol. 7 (3). – P. 260–283.

10. *Nozaki K., Morisawa T., Ishibuchi H.* Adjusting membership functions in fuzzy rule–based classification systems // 3rd European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, EUFIT '95. – Aachen, Germany, 1995. – Vol. 1. – P. 615–619.

11. *Jang J.-S.R.* ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1993. – vol. 23 (3). – P. 665–685.

12. *Chang W.-J., Sun C.-C.* Constrained fuzzy controller design of discrete Takagi–Sugeno fuzzy models // Fuzzy Sets and Systems. – 2003. – Vol. 133. – P. 37–55.

13. *Oh S.-K., Pedrycz W., Parka H.-S.* Hybrid identification in fuzzy-neural networks // Fuzzy Sets and Systems. – 2003. – Vol. 138. – P. 399–426.

14. *Buckley J.J., Eslami E., Hayashi Y.* Solving fuzzy equations using neural nets // Fuzzy Sets and Systems. – 1997. – Vol. 86. – P. 271–278.

15. Fuzzy system modeling by fuzzy partition and GA hybrid schemes / Y.H. Joo, H.S. Hwang, K.B. Kim, K.B. Woo // Fuzzy Sets and Systems. – 1997. – Vol. 86. – P. 279–288.

16. *Wang L.-X.* Universal approximation by hierarchical fuzzy systems // Fuzzy Sets and Systems. – 1998. – Vol. 93. – P. 223–230.

17. *Friedman M., Ming M., Kandel A.* Fuzzy linear systems // Fuzzy Sets and Systems. – 1998. – Vol. 96. – P. 201–209.

Карпова Надежда Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные системы и информационная безопасность» Самарского государственного технического университета. Основные направления научных исследований – автоматизированные интеллектуальные системы и автоматизированные информационно-измерительные системы. Имеет более 100 публикаций. E-mail: esib@samgtu.ru

Емелина Алина Анатольевна, лаборант кафедры «Электронные системы и информационная безопасность». E-mail: alina.lina0723@gmail.ru

DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-136-153

Development of the monitoring system for user's actions in the informational system*

N.E. Karpova[1], A.A. Emelina[2].

[1] *Samara State Technical University, 244 Molodogvardeyskaya Street, Samara, 443001, Russian Federation, candidate of technical sciences, associate professor of the Electronic Systems and Information Security Department. E-mail: esib@samgtu.ru*
[2] *Samara State Technical University, 244 Molodogvardeyskaya Street, Samara, 443001, Russian Federation, student of the Electronic Systems and Information Security Department. E-mail: alina.lina0723@gmail.ru*

Currently, there are a large number of mechanisms for protecting computer systems, one of the directions is the creation of systems that respond to possible threats to the information security of the enterprise. Since according to statistics, a large number of information-related crimes are committed by employees of enterprises, monitoring of user actions in the information environment is a particularly important and relevant issue. The main advantages of such monitoring systems are the ability to represent arbitrary parameter values in the form of analytics of specified values, the ability to take into account a large number of development scenarios, the ability to use this system when making decisions, when describing schemes for analyzing information flows, and also to track a large number of computer parameters. In order to respond to information security incidents in a timely manner, it is important to develop a system that also takes into account the interrelationship of user actions. The authors of this paper hypothesized that the user's actions in a computer system are interrelated with each other, that is, if a user performs suspicious actions in a separate monitored parameter, then with a greater degree of confidence, we can say that this user will perform suspicious actions in another monitored parameter. Correlation analysis is necessary for possible reduction of the number of iterations during the program operation, which in the future allows to speed up the analysis of user actions in the information environment. In order to study the statistical relationship of the parameters, the authors found a mathematical measure of correlation - the correlation coefficient (Pearson correlation coefficient) for the studied parameters. Based on the analysis, fuzzy rules were formulated, on the basis of which a system for monitoring user actions in the information environment is built. In this development, a term such as reference user behavior is introduced. Any deviation from this "standard" is considered as a suspicious action and requires a timely response to a possible incident.

Keywords: correlation coefficient, information security, fuzzy rules, standard of user behavior, unauthorized access, monitoring system, audit, behavioral analysis.

REFERENCES

1. Averkin A.N. Nechetkie povedencheskie modeli prinyatiya reshenii c uchetom irratsional'nosti povedeniya cheloveka [Fuzzy behavioral decision-making modelbased on human irrational behavior]. *Nauchnye trudy Vol'nogo ekonomich-*

* *Received 19 May 2021.*

eskogo obshchestva Rossii = Scientific works of the Free Economic Society of Russia, 2014, vol. 186, pp. 153–158.

2. Baev A.V. Gacenko O.Yu. Samonov A.V. Programmnyi kompleks upravleniya dostupom USB-ustroistv k avtomatizirovannym rabochim mestam [The software complex access control USB devices to automated workstations]. *Voprosy kiberbezopasnosti = Cybersecurity Issues*, 2020, no. 1 (35), pp. 52–61. Available at: http://cyberrus.com/wp-content/uploads/2020/03/52-61-135-20_6.-Baev.pdf (accessed 31.05.2021).

3. Cinque M., Della Corte R., Pecchia A. Contextual filtering and prioritization of computer application logs for security situational awareness. *Future Generation Computer Systems*, 2020, vol. 111, pp. 668–680. DOI: 10.1016/j.future.2019.09.005.

4. Ilin I., Gudkov K. [Analysis of the disadvantages of artificial neural networks and methods for minimizing them]. *Materialy X Mezhdunarodnoi studencheskoi nauchnoi konferentsii "Studencheskii nauchnyi forum – 2018"* [Materials of the X International Student Scientific Conference "Student Scientific Forum 2018"]. (In Russian). Available at: http://scienceforum.ru/2018/article/2018000271 (accessed 31.05.2021).

5. Jonathan V., Yingbo S., Salem M.B., Shlomo H., Salvatore S. Active authentication using file system decoys and user behavior modeling: results of a large scale study. *Computers and Security*, 2019, vol. 87, p. 101412. Available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167 404 818311258 (accessed 31.05.2021).

6. Karpova N.E., Panfilova I.E. Ensuring the safety of information processes in sociotechnical systems based on an analysis of the behavioral characteristics of a person as a subject of such a system. *2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP)*, Samara, Russia, 2019, pp. 751–753.

7. Mendel J.M. *Uncertain rule-based fuzzy logic systems: introduction and new directions*. Upper Saddle River, NJ, Prentice-Hall, 2001. 555 p.

8. Zadeh L.A. Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965, vol. 8 (3), pp. 338–353.

9. Prade H. A computional approach to approximate and plausible reasoning with applications to expert systems. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1985, vol. 7 (3), pp. 260–283.

10. Nozaki K., Morisawa T., Ishibuchi H. Adjusting membership functions in fuzzy rule–based classification systems. *3rd European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, EUFIT '95*, Aachen, Germany, 1995, vol. 1, pp. 615–619.

11. Jang J.-S.R. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1993, vol. 23 (3), pp. 665–685.

12. Chang W.-J., Sun C.-C. Constrained fuzzy controller design of discrete Takagi–Sugeno fuzzy models. *Fuzzy Sets and Systems*, 2003, vol. 133, pp. 37–55.

13. Oh S.-K., Pedrycz W., Parka H.-S. Hybrid identification in fuzzy-neural networks. *Fuzzy Sets and Systems*, 2003, vol. 138, pp. 399–426.

14. Buckley J.J., Eslami E., Hayashi Y. Solving fuzzy equations using neural nets. *Fuzzy Sets and Systems*, 1997, vol. 86, pp. 271–278.

15. Joo Y.H., Hwang H.S., Kim K.B., Woo K.B. Fuzzy system modeling by fuzzy partition and GA hybrid schemes. *Fuzzy Sets and Systems*, 1997, vol. 86, pp. 279–288.

16. Wang L.-X. Universal approximation by hierarchical fuzzy systems. *Fuzzy Sets and Systems*, 1998, vol. 93, pp. 223–230.

17. Friedman M., Ming M., Kandel A. Fuzzy linear systems. *Fuzzy Sets and Systems*, 1998, vol. 96, pp. 201–209.

Для цитирования:

Карпова Н.Е., Амелина А.А. Разработка системы мониторинга действий пользователя в информационной системе // Безопасность цифровых технологий. – 2021. – № 2 (101). – С. 136–153. – DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-136-153.

For citation:

Karpova N.E., Amelina A.A. Razrabotka sistemy monitoringa deistvii pol'zovatelya v informatsionnoi sisteme [Development of the monitoring system for user's actions in the informational system]. *Bezopasnost' tsifrovykh tekhnologii = Digital technology security*, 2021, no. 2 (101), pp. 136–153. DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-136-153.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. – 2021. – № 2 (101). – 154–165

УДК 004.056.53 DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-154-165

МОДЕЛЬ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ «БИОМЕТРИЯ-КОД» НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕРМОГРАММ ЛИЦА СУБЪЕКТОВ*

П.С. ЛОЖНИКОВ[1], С.С. ЖУМАЖАНОВА[2]

[1] *644050, РФ, г. Омск, пр. Мира, 11, Омский государственный технический университет, д-р техн. наук, заведующий кафедрой комплексной защиты информации. E-mail: lozhnikov@mail.ru*

[2] *644050, РФ, г. Омск, пр. Мира, 11, Омский государственный технический университет, ассистент кафедры комплексной защиты информации. E-mail: samal_shumashanova@mail.ru*

Существующие алгоритмы асимметричного шифрования подразумевают хранение секретного закрытого ключа, авторизованный доступ к которым, как правило, осуществляется при предъявлении пароля. Пароли уязвимы перед методами социальной инженерии и подвержены «человеческому фактору».

Комбинирование биометрических методов защиты с криптографией рассматривается как возможное решение этой проблемы, но любая биометрическая криптосистема должна иметь возможность преодолевать небольшие различия, существующие между двумя разными реализациями одного и того же биометрического параметра. Особенно это актуально для динамической биометрии, когда различия могут быть вызваны изменением психофизиологического состояния субъекта. Решением этих вопросов является внедрение системы на базе преобразователя «биометрия-код», который настраивается на выдачу ключа пользователя при предъявлении его биометрического образа. Ключ при этом заранее генерируется в соответствии с принятыми нормами без использования биометрических образов. В настоящей работе предлагается использовать тепловизионные изображения пользователя для надежной биометрической аутентификации субъекта на основе нейросетевого преобразователя «биометрия-код». Тепловизионные изображения не так давно используются в качестве нового подхода в биометрических системах идентификации личности и являются особым видом биометрических образов, позволяющих решить вопрос как аутентификации субъекта, так и идентификации его психофизиологического состояния. Преимущества тепловидения заключаются в том, что эта технология в настоящее время становится доступной и мобильной. Это позволяет идентифицировать и аутентифицировать пользователя бесконтактным и непрерывным образом.

В настоящей работе проведен эксперимент по верификации образов термограмм 84 субъектов и получены следующие показатели ошибочных решений: EER = 0,85 % для пользователей в состоянии «норма».

* Статья получена 12 мая 2021 г.

Ключевые слова: преобразователь «биометрия-код», термограммы лица, искусственные нейронные сети, криптографический ключ, биометрическая аутентификация, психофизиологическое состояние, тепловизионные изображения, FRR, FAR

ВВЕДЕНИЕ

Биометрические данные обладают большим преимуществом – они уникальны для каждого человека, за счет этого повышают защищенность информационных ресурсов от несанкционированного доступа. Однако главный их недостаток заключается в том, что они неточны и изменяются от реализации к реализации одного и того же пользователя или состояния. Ограничения технологии сбора данных и естественные изменения биометрических данных и условий окружающей среды приводят к вариациям в каждом образце одного и того же биометрического параметра. Например, радужная оболочка считается наиболее точной из биометрических данных, однако между двумя разными изображениями одной и той же радужной оболочки может быть до 30 % различий [1]. Основная задача всех биометрических криптосистем – преодолеть эту вариацию, используя преимущества биометрии для повышения безопасности ключей и паролей.

Тепловизионные изображения не так давно используются в качестве нового подхода в биометрических системах идентификации личности и являются особым видом биометрических образов, позволяющих решить вопрос как аутентификации субъекта, так и идентификации его психофизиологического состояния.

Большая часть исследований в этой области основаны на выделении сосудистой сети субъекта и тепловой сигнатуры как уникального признака для идентификации субъекта, как это реализовано в [2]. Средняя точность идентификации субъектов при использовании такого метода составляет 88,46…90,39 %. Преимущества тепловидения заключаются в том, что эта технология в настоящее время становится доступной и мобильной. Это позволяет идентифицировать и аутентифицировать пользователя бесконтактным и непрерывным образом. Результаты по идентификации личности по рисунку вен кистей рук на данный момент приближаются к 100 % [3].

Такие высокие результаты достигаются в том числе за счет использования алгоритмов на базе глубокого обучения, в частности, сверточных нейронных сетей. В области обработки и анализа изображений, снятых в инфракрасном диапазоне (ИК-изображений), они дают высокие результаты как по точности распознавания, так и по скорости обучения. Рассматриваются теоретические и практические вопросы обучения преобразователей биометрических параметров нейронной сети в ключевой код (нейросетевые преобразователи «биометрия-код», НПБК), позволяющие также безопасно и анонимно хранить биометрический шаблон [4].

В состав НПБК входят специальные предварительно обученные глубокие сети со специальной архитектурой – автокодировщики [5]. Как показано на

рис. 1, автокодировщик состоит из двух компонентов, кодировщика и декодировщика, каждый из которых может иметь одинаковое количество скрытых слоев. Кодировщик учится сжимать входной вектор X до более короткого кода h, в то время как декодировщик учится восстанавливать входной вектор X, распаковывая h. Кодировщик и декодировщик, соответственно, определяются двумя функциями f и h как $f(X) = h$ и $g(h) = X'$. Типичный автокодировщик стремится решить функцию потерь следующим образом:

$$\arg\min_{f,g} \| X - g(f(X)) \|^2 .$$

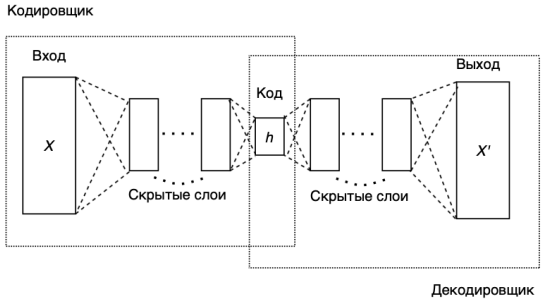


Рис. 1. Стандартная структура автокодировщика

Fig. 1. Standard Autoencoder structure

Важной задачей является защита биометрических образов, ключей и паролей от компрометации при хранении. Для успешной разблокировки криптографического ключа, связанного с биометрическим образом с помощью ПБК, необходимо следующее:

– биометрические данные пользователя;

– открытая дополнительная информация, позволяющая восстановить ключ (secure sketch);

– параметры преобразования для биоключа.

НПБК позволяют избежать разблокировки биоключа и при этом достигают более низких показателей FRR и FAR по сравнению со схемами нечеткого экстрактора [6, 7], не налагая ограничения на длину ключа. Чтобы злоумышленник не смог восстановить исходные данные биометрического образа из компактного описания после обучения НПБК, декодировщик необходимо удалить. НПБК строится персонально для каждого субъекта, при этом формируется искусственная нейронная сеть (ИНС), количество входов кото-

рой равно числу признаков (биометрических параметров), а количество выходов – длине личного ключа. Каждый нейрон последнего слоя генерирует один бит [8, 9].

Надежность обученного ПБК определяется тем, что даже без применения сторонних средств шифрования биометрический эталон пользователя и его личный ключ или пароль скрыты от восстановления из-за невозможности извлечь знания из обученного ПБК (рис. 2).

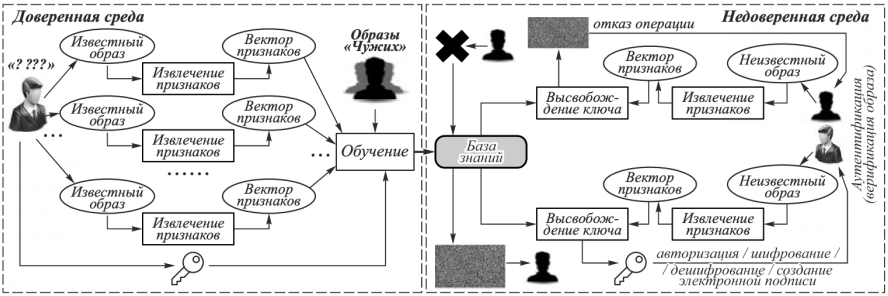


Рис. 2. Общая схема преобразователя «биометрия-код»

Fig. 2. General diagram of the biometrics-to-code converter

Настоящая работа посвящена вопросам генерации ключа на основе термограмм, регистрируемых бесконтактно, и влияния ПФС на результат генерации ключа.

ПОСТРОЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПБК ДЛЯ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО ТЕРМОГРАММАМ ЛИЦА С УЧЕТОМ ЕГО ПФС

В соответствии с ГОСТ Р 52633.5–2011 первый НПБК обогащает входные данные, второй – играет роль кодов, исправляющих ошибки. Однако по сравнению с нечеткими экстракторами нейросетевая коррекция ошибочных разрядов ключа обладает гораздо меньшей избыточностью [10]. Искусственный нейрон «широкой» сети базируется на функционале (1) и пороговой функции активации (2), модули весов нейронов первого слоя вычисляются по формуле (3) [10]:

$$y = \sum_{j=1}^{n} \mu_j a_j; \tag{1}$$

$$f(y) = \begin{Bmatrix} 0, y < \mu_0 \\ 1, y \geq \mu_0 \end{Bmatrix}; \quad \mu_j = |m_s(a_j) - m_o(a_j)| \ / \sigma_s(a_j)\sigma_o(a_j); \tag{2}$$

$$\mu_j = |m_s(a_j) - m_o(a_j)| \ / \sigma_s(a_j)\sigma_o(a_j), \quad (3)$$

где a_j – значение *j*-го признака (входа нейрона); $m_o(a_j)$ и $\sigma_o(a_j)$ – математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение значений *j*-го признака образа «Свой»; $m_s(a_j)$ и $\sigma_s(a_j)$ – аналогичные показатели образов для образа «Чужие»; μ_0 – порог активации нейрона; *y* – отклик нейрона на образ «Свой» или «Чужой»; *n* – количество входов (размерность) нейрона. Если нейрон настроен на выдачу «единицы» при поступлении образа «Свой», то знак весового коэффициента выбирается исходя из правила: «+» при $m_s(a_j) < m_o(a_j)$, иначе «–». Если нейрон настраивается на ноль, знаки инвертируются. Параметры $m_o(a_j)$, $\sigma_o(a_j)$, $m_s(a_j)$ и $\sigma_s(a_j)$ после обучения удаляются, чтобы не компрометировать эталон. Остаются таблицы связей и весов μ, что не дает непосредственного наблюдения за биометрическими признаками $m_o(a_j)$.

Слои нейронов НПБК являются частично связными. В соответствии с требованиями [11] входы нейронов не должны повторяться – каждый нейрон должен быть связан с уникальным набором признаков. В настоящем исследовании использовались НПБК из 123 нейронов, по 4 входа в каждом (492 / 4 = 123 бит длина ключа).

Количество нейронов последнего слоя равно длине генерируемого ключа.

Проведен вычислительный эксперимент с использованием набора данных термограмм 84 испытуемых, которые находились в следующих ПФС: нормальное, после физической нагрузки, стресс, сонное, 3 стадии алкогольного опьянения. Для ввода субъектов в каждое из заявленных состояний был составлен протокол проведения натурных экспериментов [12–15].

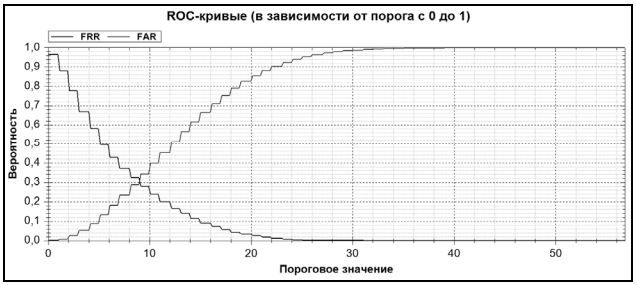
Эксперимент состоял из трех этапов. На первом этапе для обучения НПБК использовалось по 10 примеров термограмм каждого пользователя в нормальном состоянии. Тестирование проводилось на термограммах пользователей, находящихся также в нормальном состоянии, но не вошедших в обучающую выборку.

На втором этапе использовалось 20 обучающих примеров термограмм пользователей в нормальном состоянии. Тестирование проводилось на термограммах пользователей, находящихся в измененных состояниях.

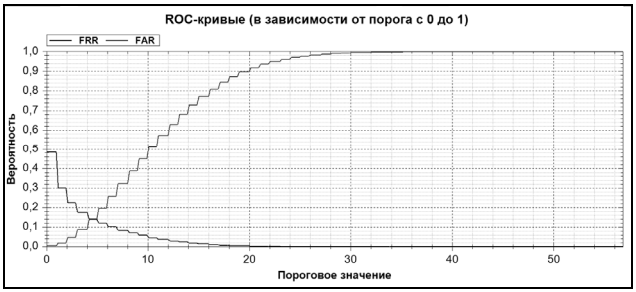
На третьем этапе объем обучающей выборки каждого пользователя составлял 40 примеров: 20 получены в нормальном ПФС, 20 – в состоянии после нагрузки. Тестирование проводилось на термограммах пользователей, соответствующих другим состояниям.

В качестве обучающей выборки «Чужие» во всех случаях использовалось по одному образу на каждого субъекта в нормальном состоянии. Результаты представлены на рис. 3.

а



б



в

Рис. 3. Результаты тестирования НПБК на термографических изображениях лица и шеи субъектов:

а – результаты этапа № 1; *б* – результаты этапа № 2; *в* – результаты этапа № 3

Fig. 3. Results of testing of NNCBC on thermographic images of the face and neck of subjects:

a is results of stage 1; *b* is results of stage 2; *c* is results of stage 3

Ключевыми показателями эффективности биометрической системы являются вероятности ошибок ложного отказа (FRR) и ложного пропуска (FAR). Для сравнения этих показателей обычно используется коэффициент равной вероятности ошибок (EER = FAR = FAR). Из рис. 3 можно сделать вывод, что генерация ключа длиной 123 бита вполне возможно осуществить на основе одной термограммы. Однако ПФС существенно влияет на результат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе установлено, что на основе термограммы лица можно сгенерировать криптографический ключ длиной 123 бита. Вероятность ошибок генерации ключа зависит от того, совпадает ли ПФС субъекта на этапе обучения и тестирования НПБК. При совпадении ПФС коэффициент равной вероятности ошибок составил EER = 0,85 %. В случае несовпадения вероятность существенно повышается до EER = 30,84 %.

В настоящей работе предложено следующее: обучение должно проводиться на данных, полученных для различных состояний субъекта (двух, трех) и желательно в разные дни. В этом случае количество ошибок снижается. Причем даже если пользователь обучал систему на данных нормального ПФС, сонного состояния и состояния после физической нагрузки, вероятность ошибочных решений снижается даже для тех состояний, которые не использовались при обучении (стресс, алкогольное опьянение): EER = 14,94 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Biometric cryptosystems: issues and challenges / U. Uludag, S. Pankanti, S. Prabhakar, A.K. Jain // Proceedings of the IEEE. – 2004. – Vol. 92 (6). – P. 948–960.

2. Thermal imaging as a biometrics approach to facial signature authentication / A.M. Guzman, M. Goryawala, Jin Wang, A. Barreto, J. Andrian, N. Rishe, M. Adjouadi // IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics. – 2013. – Vol. 17 (1). – P. 214–222.

3. VPID: Towards vein pattern identification using thermal imaging / S. Faltaous, J. Liebers, Y. Abdelrahman, F. Alt, S. Schneegass // i-com. De Gruyter Oldenbourg. – 2019. – Vol. 18 (3). – P. 259–270.

4. *Сулавко А. Е., Лыжин А. А.* Модель защищенного нейроиммунного контейнера для задач биометрической аутентификации // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых: сборник материалов IV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и моло-

дых ученых / Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет. – Омск, 2020. – С. 378–382.

5. Технология использования больших нейронных сетей для преобразования нечетких биометрических данных в код ключа доступа / Б.С. Ахметов, А.И. Иванов, В.А. Фунтиков, А.В. Безяев, Е.А. Малыгина. – Алматы: LEM, 2014. – 144 с.

6. Fuzzy vault scheme based on fixed-length templates applied to dynamic signature verification / W. Ponce-Hernandez, R. Blanco-Gonzalo, J. Liu-Jimenez, R. Sanchez-Reillo // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 11152–11164.

7. *Elrefaei L.A., Al-Mohammadi A.M.* Machine vision gait-based biometric cryptosystem using a fuzzy commitment scheme // Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences. – 2019. – DOI: 10.1016/j.jksuci.2019.10.011.

8. *Сулавко А.Е.* Высоконадежная двухфакторная биометрическая аутентификация по рукописным и голосовым паролям на основе гибких нейронных сетей // Компьютерная оптика. – 2020. – Т. 44, № 1. – С. 82–91. – DOI: 10.18287/2412-6179-CO-567.

9. *Хайкин С.* Нейронные сети. Полный курс. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1103 с.

10. *Ivanov A.I., Kachajkin E.I., Lozhnikov P.S.* A complete statistical model of a handwritten signature as an object of biometric identification // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). – Moscow, Russia, 2016. – P. 1–5. – DOI: 10.1109/SIBCON.2016.7491678.

11. *Akhmetov B.S., Ivanov A.I., Alimseitova Z.K.* Training of neural network biometry-code converters // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. – 2018. – Vol. 1. – P. 61–68.

12. ТС 26.2.002–2020. Системы обработки информации. Криптографическая защита информации. Защита нейросетевых биометрических контейнеров с использованием криптографических алгоритмов / Технический комитет по стандартизации «криптографическая защита информации» ТК 26. – М., 2020.

13. *Жумажанова С.С.* Особенности тепловых паттернов лица и шеи при физическом и ментальном стрессах // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2021. – Т. 24, № 1. – С. 13–21. – DOI: 10.18127/j15604136-202101-02.

14. *Белгородцев А.А., Жумажанова С.С., Пасенчук В.А.* О возможности определения степени алкогольного опьянения по термограммам лица субъекта // Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте: материалы III всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Омск, 2018. – P. 373–379.

15. *Жумажанова С.С., Сулавко А.Е., Лукин Д.В.* Анализ термограмм лица и шеи для распознавания состояния сонливости пользователей на основе классификатора Байеса // Вопросы защиты информации. – 2020. – № 2 (129). – С. 24–30.

Ложников Павел Сергеевич, заведующий кафедрой комплексной защиты информации Омского государственного технического университета, доктор технических наук. Основное направление научных исследований – биометрическая защита электронного документооборота. Автор более 60 научных и методических работ. E-mail: lozhnikov@mail.ru

Жумажанова Самал Сагидулловна, ассистент кафедры комплексной защиты информации Омского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – дистанционное определение психофизиологического состояния субъектов по термограммам лица на базе сверточных нейронных сетей. E-mail: samal_shumashanova@mail.ru

DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-154-165

Model of the "biometry-code" converter based on artificial neural networks for analysis of facial thermograms*

P.S. Lozhnikov[1], S.S. Zhumazhanova[2]

[1] *Omsk State Technical University, 11 Mira Prospekt, Omsk, 644050, Russian Federation, doctor of technical sciences, head of the Complex Information Protection Department. E-mail: lozhnikov@mail.ru.*
[2] *Omsk State Technical University, 11 Mira Prospekt, Omsk, 644050, Russian Federation, assistant of the Complex Information Protection Department. E-mail: samal_shumashanova@mail.ru*

Existing asymmetric encryption algorithms involve the storage of a secret private key, authorized access to which, as a rule, is carried out upon presentation of a password. Passwords are vulnerable to social engineering and human factors.
Combining biometric security techniques with cryptography is seen as a possible solution to this problem, but any biometric cryptosystem should be able to overcome the small differences that exist between two different implementations of the same biometric parameter. This is especially true for dynamic biometrics, when differences can be caused by a change in the psychophysiological state of the subject. The solution to the problems is the use of a system based on the "biometrics-code" converter, which is configured to issue a user key after presentation of his/her biometric image. In this case, the key is generated in advance in accordance

* *Received 12 May 2021.*

with accepted standards without the use of biometric images. The work presents results on using thermal images of a user for reliable biometric authentication based on a neural network "biometrics-code" converter. Thermal images have recently been used as a new approach in biometric identification systems and are a special type of biometric images that allow us to solve the problem of both the authentication of the subject and the identification of his psychophysiological state. The advantages of thermal imaging are that this technology is now becoming available and mobile, allowing the user to be identified and authenticated in a non-contact and continuous manner. In this paper, an experiment was conducted to verify the images of thermograms of 84 subjects and the following indicators of erroneous decisions were obtained: EER = 0.85 % for users in the "normal"state.

Keywords: “biometrics-code” converter, facial thermograms, artificial neural networks, cryptographic key, biometric authentication, psychophysiological state, thermal imaging images, FRR, FAR

REFERENCES

1. Uludag U., Pankanti S., Prabhakar S., Jain A.K. Biometric cryptosystems: issues and challenges. *Proceedings of the IEEE*, 2004, vol. 92 (6), pp. 948–960.

2. Guzman A.M., Goryawala M., Jin Wang, Barreto A., Andrian J., Rishe N., Adjouadi M. Thermal imaging as a biometrics approach to facial signature authentication. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 2013, vol. 17 (1), pp. 214–222.

3. Faltaous S., Liebers J., Abdelrahman Y., Alt F., Schneegass S. VPID: towards vein pattern identification using thermal imaging. *i-com. De Gruyter Oldenbourg*, 2019, vol. 18 (3), pp. 259–270.

4. Sulavko A.E., Lyzhin A.A. [Model of protected neuro-immune container for biometric authentication tasks]. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya molodykh uchenykh* [Fundamental and Applied Research of Young Scientists]. Collection of Materials of the IV International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. Siberian State Automobile and Highway University. Omsk, 2020, pp. 378–382. (In Russian).

5. Akhmetov B.S., Ivanov A.I., Funtikov V.A., Bezyaev A.V., Malygina E.A. *Tekhnologiya ispol'zovaniya bol'shikh neironnykh setei dlya preobrazovaniya nechetkikh biometricheskikh dannykh v kod klyucha dostupa* [Application of large neural networks for fuzzy biometric data conversion into access key code]. Almaty, LEM Publ., 2014. 144 p.

6. Ponce-Hernandez W., Blanco-Gonzalo R., Liu-Jimenez J., Sanchez-Reillo R. Fuzzy vault scheme based on fixed-length templates applied to dynamic signature verification. *IEEE Access*, 2020, vol. 8, pp. 11152–11164.

7. Elrefaei L.A., Al-Mohammadi A.M. Machine vision gait-based biometric cryptosystem using a fuzzy commitment scheme. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 2019. DOI: 10.1016/j.jksuci.2019.10.011.

8. Sulavko A.E. Vysokonadezhnaya dvukhfaktornaya biometricheskaya autentifikatsiya po rukopisnym i golosovym parolyam na osnove gibkikh neironnykh setei [Highly reliable two-factor biometric authentication based on handwritten and voice passwords using flexible neural networks]. *Komp'yuternaya optika = Computer Optics*, 2020, vol. 44, no. 1, pp. 82–91. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-567. (In Russian).

9. Haykin S. Neural networks. Upple Saddle River, Prentice Hall, 1999 (Russ. ed.: Khaikin S. *Neironnye seti. Polnyi kurs*. 2nd ed. Moscow, Williams Publ., 2006. 1104 p.).

10. Ivanov A.I., Kachajkin E.I., Lozhnikov P.S. A complete statistical model of a handwritten signature as an object of biometric identification. *2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*, Moscow, Russia, 2016, pp. 1–5. DOI: 10.1109/SIBCON.2016.7491678.

11. Akhmetov B.S., Ivanov A.I., Alimseitova Z.K. Training of neural network biometry-code converters. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, 2018, vol. 1, pp. 61–68.

12. TS 26.2.002–2020. *Sistemy obrabotki informatsii. Kriptograficheskaya zashchita informatsii. Zashchita neirosetevykh biometricheskikh konteinerov s ispol'zovaniem kriptograficheskikh algoritmov* [Technical Specification 26.2.002–2020. Information Processing Systems. Cryptographic protection. Data sheet. Protection of neural network biometric containers using cryptographic algorithms]. Technical Committee 26. Moscow, 2020.

13. Zhumazhanova S.S. Osobennosti teplovykh patternov litsa i shei pri fizicheskom i mental'nom stressakh [Difference of thermal patterns of the face and neck regions in states of physical and mental stresses]. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical Radioelectronics*, 2021, vol. 24, no. 1, pp. 13–21. DOI: 10.18127/j15604136-202101-02.

14. Belgorodtsev A.A., Zhumazhanova S.S., Pasenchuk V.A. [On the possibility of subject alcohol intoxication level identification by analysis of face thermograms]. *Pribory i metody izmerenii, kontrolya kachestva i diagnostiki v promyshlennosti i na transporte*: materialy III vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Instruments and methods of measurements, quality control and diagnostics in industry and transport: materials of the III All-Russian scientific and technical conference with international participation]. Omsk, 2018, pp. 373–379. (In Russian).

15. Zhumazhanova S.S., Sulavko A.E., Lukin D.V. Analiz termogramm litsa i shei dlya raspoznavaniya sostoyaniya sonlivosti pol'zovatelei na osnove klassifikatora Baiesa [Analysis of face and neck thermograms for users' drowsiness recogni-

tion based on the Bayesian classifier]. *Voprosy zashchity informatsii = Information Security Questions*, 2020, no. 2 (129), pp. 24–30.

Для цитирования:

Ложников П.С., Жумажанова С.С. Модель преобразователя «биометрия-код» на основе искусственных нейронных сетей для анализа термограмм лица субъектов // Безопасность цифровых технологий. – 2021. – № 2 (101). – С. 154–165. – DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-154-165.

For citation:

Lozhnikov P.S., Zhumazhanova S.S. Model' preobrazovatelya "biometriya-kod" na osnove iskusstvennykh neironnykh setei dlya analiza termogramm litsa sub"ektov [Model of the "biometry-code" converter based on artificial neural networks for analysis of facial thermograms]. *Bezopasnost' tsifrovykh tekhnologii = Digital technology security*, 2021, no. 2 (101), pp. 154–165. DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-154-165.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

УСЛОВИЯ ПРИЕМА СТАТЕЙ

Перед отправкой рукописи в редакцию авторам обязательно требуется проверить свою статью с помощью системы «Антиплагиат». Принятый Редакционной коллегией уровень оригинальности статей должен составлять не менее 85 %.

Все статьи и сопровождающие их материалы в журнал подаются через сайт журнала в электронном виде после регистрации всех авторов статьи. Регистрация обязывает каждого автора иметь международный идентификационный номер ORCID. Иные варианты подачи материалов не рассматриваются.

Автор (один из соавторов) в своем личном кабинете выбирает в меню пункт «Подать статью» и вводит все необходимые данные. Своих соавторов при этом он выбирает из списка зарегистрированных пользователей.

Рукопись статьи готовится в соответствии с правилами оформления в редакторе MS Word и прикрепляется в формате *.doc, *.docx.

Сканированные лицензионный договор с подписями авторов и экспертное заключение (цветной режим сканирования, разрешение не менее 600 dpi) необходимо также прикрепить на сайте журнала в разделе «Подать статью» в формате *.pdf, *.jpg, *.jpeg.

По окончании всех работ обязательно нажать кнопку «Отправить в редакцию».

В редакцию журнала предоставляются следующие материалы.

1. **Статья**, подготовленная в соответствии с правилами оформления, – печатная версия, 2 экземпляра, подписанных авторами.

2. **Контактная информация** (телефоны рабочий и сотовый, адреса электронной почты, место работы, адрес места работы, должность, ученая степень, ученое звание автора) – печатная версия, 2 экземпляра.

3. **Описание статьи для базы данных «Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)»**, подготовленное в соответствии с правилами оформления, – печатная версия, один экземпляр.

4. **Лицензионный договор**, заполненный и подписанный.

5. **Электронная версия статьи, контактной информации, описания статьи для базы данных РИНЦ, сканированный лицензионный договор и экспертное заключение о возможности опубликования (в отдельных файлах на адрес редакции)**.

6. **Экспертное заключение о возможности опубликования**.

Редакцией рассматриваются только те материалы авторов, которые полностью соответствуют вышеобозначенным требованиям. Неполный пакет материалов редакцией не рассматривается.

Подготовленные материалы направляются на почтовый адрес редакции: 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), корп. 7, ком. 606, в редакцию журнала «Безопасность цифровых технологий».

Все рукописи рецензируются, по результатам рецензирования редколлегия принимает решение о целесообразности опубликования материалов.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ

При подготовке документов для отправки в редакцию журнала авторам рекомендуется внимательно прочитать правила и посмотреть примеры оформления статей и всех необходимых сопутствующих документов. Редакция рассматривает статьи, подготовленные как на русском, так и на английском языке. Для опубликования статьи на английском языке необходимо дополнительно предоставить ее русскоязычный вариант, оформленный по правилам журнала (кроме зарубежных авторов).

Перед отправкой рукописи в редакцию авторы должны проверить свою статью с помощью системы «Антиплагиат». Принятый Редакционной коллегией уровень оригинальности статей – не менее 90 %.

Чтобы статья была направлена на рецензирование, Вам необходимо подготовить следующее:

1) **статью** в соответствии с правилами оформления;

2) **контактную информацию** в одном файле предоставить по каждому автору: ФИО полностью, ученая степень, ученое звание автора, должность, место работы, адрес места работы, телефон рабочий и мобильный, адрес электронной почты;

3) **описание статьи для базы данных «Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)»**;

4) **лицензионный договор** заполнить, бланк лицензионного договора должен быть подписан только авторами (он доступен авторам также в личном кабинете), если авторов несколько, то необходимо добавить поля на всех авторов и подписать каждому из них;

5) **экспертное заключение** о возможности опубликования, принятое в Вашей организации;

6) авторы, не являющиеся сотрудниками НГТУ, предоставляют **сопроводительное письмо** на имя проректора по научной работе НГТУ (ссылка на страницу сайта НГТУ). Письмо нужно подготовить на бланке организации с подписью и печатью руководителя.

ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ ЖУРНАЛА

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Управление в организационных системах.

Методы и системы защиты информации, информационная безопасность.