

## Уважаемые читатели и авторы!

Представители Elsevier – одного из крупнейших мировых издательств научной литературы – в соответствии с Дорожной картой, подписанной 19 февраля 2019 года компанией Elsevier и ГИАЦ Минобразования, провели аудит журнала «Цифровая трансформация» с целью предварительной оценки готовности издания к подаче заявки для индексации в базе данных Scopus.

По итогам аудита специалисты Elsevier сформировали рекомендации по дальнейшему совершенствованию редакционной политики журнала, в соответствии с которыми были внесены определенные изменения в правила для авторов. В частности, повышены требования к научным источникам: в список литературы необходимо включать авторитетные научные публикации по теме исследования, а также статьи на иностранном языке. Введено ограничение на самоцитирование: ссылки на собственные работы авторов не должны превышать трети от общего числа публикаций в списке литературы. Уточнены требования к аннотациям.

Также редакция рекомендует авторам при подаче рукописи указывать свой ORCID ID – идентификатор, облегчающий полный учет публикаций и цитирований. Получить более подробную информацию об ORCID и пройти бесплатную регистрацию для получения ORCID ID можно на сайте [orcid.org](http://orcid.org). Новые правила вступают в силу начиная с № 2 за 2019 год.

Напоминаем, что редакция журнала всегда открыта для сотрудничества

и приглашает ученых, педагогов, аспирантов и практикующих специалистов принять участие в формировании содержания выпусков журнала. Плата за публикацию статей, равно как и за доступ к электронной версии журнала, не взимается.

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 05.07.2018 № 168 журнал «Цифровая трансформация» включен в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (направление «информатика, вычислительная техника и управление») и экономическим наукам. Также журнал индексируется в базе Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

С электронной версией журнала, редакционной политикой и обновленными правилами для авторов можно ознакомиться на сайте [dt.gias.by](http://dt.gias.by). Рукопись научной статьи на рассмотрение к публикации можно подать с помощью специальной формы на сайте журнала или отправить на адрес электронной почты [journal@unibel.by](mailto:journal@unibel.by).

Читателей, которые предпочитают получать информацию на бумажных носителях, редакция приглашает оформить подписку на журнал «Цифровая трансформация» на квартал, полугодие или год. Подписные индексы: 75057 – для индивидуальных подписчиков, 750572 – для ведомственных.

*Редакция журнала «Цифровая трансформация»*

# ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

научно-практический журнал

*Выходит ежеквартально*

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

- Главный редактор – В. А. Богуш**, д. ф.-м. н., ректор БГУИР, Минск, Беларусь  
**В. Г. Сафонов**, д. ф.-м. н., проректор по научной работе, БГУ, Минск, Беларусь  
**М. М. Ковалев**, д. ф.-м. н., профессор кафедры аналитической экономики и эконометрики, БГУ, Минск, Беларусь  
**Т. В. Борботько**, д. т. н., заведующий кафедрой защиты информации, БГУИР, Минск, Беларусь  
**А. Н. Курбацкий**, д. т. н., заведующий кафедрой технологий программирования, БГУ, Минск, Беларусь  
**С. Ф. Миксюк**, д. э. н., профессор кафедры прикладной математики и экономической кибернетики, БГЭУ, Минск, Беларусь  
**Г. О. Читая**, д. э. н., заведующий кафедрой прикладной математики и экономической кибернетики, БГЭУ, Минск, Беларусь  
**А. В. Бондарь**, д. э. н., заведующий кафедрой экономической политики, БГЭУ, Минск, Беларусь  
**Д. В. Косяков**, заместитель директора по развитию, научный сотрудник лаборатории наукометрии, ГПНТБ СО РАН, Новосибирск, Россия; научный сотрудник информационно-аналитического центра, ИНГГ СО РАН, Новосибирск, Россия  
**Энрике Ордуна-Мале**, д. филос. н. (библиотечные и информационные науки), доцент, Политехнический университет Валенсии, Валенсия, Испания  
**В. В. Глухов**, д. э. н., профессор, руководитель административного аппарата ректора, ФГАОУ ВО СПбПУ, Санкт-Петербург, Россия  
**В. А. Плотников**, д. э. н., профессор кафедры общей экономической теории и истории экономической мысли, СПбГЭУ, Санкт-Петербург, Россия  
**Г. Г. Малинецкий**, д. ф.-м. н., профессор, заведующий отделом математического моделирования нелинейных процессов, ИПМ РАН, Москва, Россия  
**Гинтаутас Дземида**, д. т. н., профессор, действительный член Академии наук Литвы, директор, Институт науки о данных и цифровых технологий Вильнюсского университета, Вильнюс, Литва
- Учредитель и издатель:** учреждение «Главный информационно-аналитический центр Министерства образования Республики Беларусь»  
Издается с IV квартала 1995 г.  
Ранее издание выходило под названием «Информатизация образования» (переименовано в 2017 г.).  
Свидетельство о регистрации № 662 выдано 27.09.2017 г.  
Министерством информации Республики Беларусь.  
Все научные статьи проходят рецензирование.

**Приказом ВАК Республики Беларусь от 5 июля 2018 г. №168 журнал включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований.**  
Издание входит в базу данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ).

## Подписные индексы:

75057 — для индивидуальных подписчиков, 750572 — для ведомственных подписчиков.

Редакторы: А. Б. Бельский, Т. М. Шавердо, Д. П. Свяцкая.

Корректор: К. П. Атрашкевич.

Макет и верстка: Д. П. Свяцкая.

Адрес редакции: г. Минск, ул. Казинца, д. 4. Тел. +375 (17) 294-15-94. E-mail: journal@unibel.by.  
<http://dt.giac.by>

Издается при поддержке некоммерческого фонда "Наука вокруг нас"

Подписано в печать 24.07.2019. Бумага мелованная. Печать офсетная.

Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 8,37. Тираж 300 экз. Заказ № 1792.

Отпечатано в унитарном предприятии «Типография ФПБ», ЛП 02330/54 от 12.08.2013 г., г. Минск, пл. Свободы, 23-103.

© Цифровая трансформация, 2019



# DIGITAL TRANSFORMATION

## Scientific and Practical Journal

*Publication frequency — quarterly*

### EDITORIAL BOARD

**Editor-in-chief – V. A. Bogush**, Doctor of Science (Physics and Mathematics), Rector of the BSUIR, Minsk, Belarus

**V. G. Safonov**, Doctor of Science (Physics and Mathematics), Vice-rector for Science, BSU, Minsk, Belarus

**M. M. Kovalev**, Doctor of Science (Physics and Mathematics), Professor of the Department of Analytical Economics and Econometrics, BSU, Minsk, Belarus

**T. V. Borbotko**, Doctor of Science (Technology), Head of the Department of Information Security, BSUIR, Minsk, Belarus

**A. N. Kurbackij**, Doctor of Science (Technology), Head of the Department of Programming Technologies, BSU, Minsk, Belarus

**S. F. Miksyuk**, Doctor of Science (Economics), Professor of the Department of Applied Mathematics and Economic Cybernetics, BSEU, Minsk, Belarus

**G. O. Chitaya**, Doctor of Science (Economics), Head of the Department of Applied Mathematics and Economic Cybernetics, BSEU, Minsk, Belarus

**A. V. Bondar**, Doctor of Science (Economics), Head of the Department of Economic Policy, BSEU, Minsk, Belarus

**D. V. Kosyakov**, Deputy Director, Researcher of the Laboratory of Scientometrics, SPSTL SB RAS, Novosibirsk, Russia; Researcher of Information and Analytical Centre, IPGG SB RAS, Novosibirsk, Russia

**Enrique Orduña-Malea**, PhD in Library & Information Science, Assistant Professor, Polytechnic University of Valencia, Valencia, Spain

**V. V. Glukhov**, Doctor of Science (Economics), Professor, SPbPU, Saint Petersburg, Russia

**V. A. Plotnikov**, Doctor of Science (Economics), Professor, SPbSUE, Saint Petersburg, Russia

**G. G. Malinetskiy**, Doctor of Science (Physics and Mathematics), Professor, Head of the Department of Mathematical Modeling of Nonlinear Processes, Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Gintautas Dzemyda**, Prof. Dr. Habil. (Technology), Full member of the Lithuanian Academy of Sciences, Director, Institute of Data Science and Digital Technologies, Vilnius University, Vilnius, Lithuania

**Founder and publisher:** Establishment "The Main Information and Analytical Center of the Ministry of Education of the Republic of Belarus".

The journal has been published since fourth quarter of 1995.

The publication previously came out under the title "Informatization of Education" (renamed in 2017).

All scientific articles are peer reviewed.

**The journal is included in the List of Scientific Publications of the Republic of Belarus for publication of the results of dissertation research and in the database "Russian Index of Scientific Citation".**

Editors: A. B. Belsky, T. M. Shaverdo, D. P. Svyatskaya.

Corrector: K. P. Atrashkevich.

Layout: D. P. Svyatskaya.

Address of editorial office: 4 Kazinca Str., 220099 Minsk, Republic of Belarus.

Phone: +375 (17) 294-15-94.

E-mail: [journal@unibel.by](mailto:journal@unibel.by).

<http://dt.giac.by>

Published with the support of the non-profit Science Around Us Foundation

© Digital Transformation, 2019



# СОДЕРЖАНИЕ

№ 2 (7), июнь, 2019

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

- 5** Оценка качества проекта на основе нечеткого моделирования  
**Авторы:** Е. Н. Живицкая, Т. А. Сафронова
- 13** Готовность населения к экономическому поведению в условиях электронной экономики: проблемы электронного здравоохранения  
**Авторы:** Т. Н. Беляцкая, О. М. Маклакова
- 29** Научно-методологические аспекты управления формированием и развитием инновационной среды «Университета 3.0»  
**Авторы:** Ю. Г. Алексеев, Н. А. Дудко, В. Т. Минченя, С. В. Харитончик

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- 36** Безопасность информационно-коммуникационных технологий в контексте устойчивого развития социума  
**Авторы:** В. А. Артамонов, Е. В. Артамонова, Л. А. Кулак (псевдоним Антония Ильинская)
- 46** Интеллектуальный анализ текстовой информации в специализированных областях в системе электронного правительства  
**Автор:** Т. И. Макаревич
- 53** Искусственная нейронная сеть в обучающей системе CATS  
**Автор:** Ю. Б. Попова
- 60** Сравнительный анализ нейросетевой и регрессионных моделей прогнозирования временных рядов  
**Автор:** С. В. Шолтанюк

# CONTENTS

No 2 (7), June, 2019

## ECONOMIC SCIENCES

- 5** Project Quality Assessment Based on Fuzzy Nodeling  
**Authors:** E. N. Zhivitskaya, T. A. Safronova
- 13** Willingness of People to Economic Behavior in the Conditions of e-Economy: e-Health Problems  
**Authors:** T. N. Belyackaya, O. M. Maklakova,
- 29** Scientific and Methodological Aspects to the Formation and Development Management of «University 3.0» Innovation Environment  
**Authors:** Y. G. Aliakseyeu, N.A. Dudko, V. T. Minchenya, S. V. Kharytonchik

## TECHNICAL SCIENCES

- 36** Safety of Information and Communication Technologies in the Context of the Sustainable Development of Human Society  
**Authors:** V.A. Artamonov, E. V. Artamonova, L.A. Kulak (pen name Antoniya Ilyinskaya)
- 46** Intellectual Analysis of Textual Information in Domain Fields in the System of e-Government  
**Author:** T. I. Makarevich
- 53** Artificial Neural Network in the CATS Training System  
**Author:** T. I. Makarevich
- 60** Comparative Analysis of Neural Networking and Regression Models for Time Series Forecasting  
**Author:** S. V. Sholtanyuk



## Оценка качества проекта на основе нечеткого моделирования

**Е. Н. Живицкая**, проректор по учебной работе

E-mail: [jivitskaya@bsuir.by](mailto:jivitskaya@bsuir.by)

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», ул. П. Бровки, д. 6, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

**Т. А. Сафронова**, исследователь

E-mail: [tanyshka-mog@yandex.ru](mailto:tanyshka-mog@yandex.ru)

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», ул. П. Бровки, д. 6, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В статье рассмотрены методы поддержки принятия решений для слабоструктурированных задач на основе создания лингвистической модели. Представлена типовая структура нечеткой модели. Рассмотрено создание нечеткой модели оценки качества проекта с содержательной интерпретацией входных (опыт проектировщика, процент совершенных им ошибок, универсальность, сложность проекта, качество исходных данных, время разработки) и выходной переменных (ошибка проекта). Описан косвенный вариант построения функций принадлежности. Указаны блоки правил. Первый блок правил – рейтинг проектировщика – позволяет учесть качество работы разработчика проекта и состоит из 36 правил нечетких продукций. Второй блок – оценка проекта – содержит 81 правило нечетких продукций. С помощью среды fuzzyTECH 5.54d построены нечеткая модель и поверхности нечеткого вывода. В качестве средства дефазификации использован метод наилучшего компромисса. Полученные результаты указывают на экономию денежных средств за счет снижения производственных запасов на основе анализа качества проекта.

**Ключевые слова:** методы поддержки принятия решений, неопределенность, нечеткая логика, лингвистическая переменная, терм-множества, база правил, фаззификация, дефаззификация

**Для цитирования:** Живицкая, Е. Н. Оценка качества проекта на основе нечеткого моделирования/ Е. Н. Живицкая, Т. А. Сафронова // Цифровая трансформация. – 2019. – № 2 (7). – С. 5–12. <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2019-2-5-12>

© Цифровая трансформация, 2019



## Project Quality Assessment Based on Fuzzy Nodeling

**E. N. Zhivitskaya**, Vice-Rector for Academic Affairs

E-mail: [jivitskaya@bsuir.by](mailto:jivitskaya@bsuir.by)

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,  
6 P. Brovka Str., 220013 Minsk, Republic of Belarus

**T. A. Safronova**, Researcher

E-mail: [tanyshka-mog@yandex.ru](mailto:tanyshka-mog@yandex.ru)

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,  
6 P. Brovka Str., 220013 Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Methods for decision making as semi-structured goals which based on creation of linguistic model are considered in this article. Pattern of fuzzy model system is presented. Creation fuzzy model for project quality with substantive interpretation for input (projector experience, universality, projector error bar, project complexity, quality of basic data, engineering time) and output (project error) variables is reported in main body. Rule blokes are indicated to estimate output variable. The first rule bloke – projector rating- consists of 36 fuzzy rules that help taking into account quality of projector's work. The second rule bloke consists of 81 fuzzy rules. Fuzzy model and surfaces of fuzzy inference are created in fuzzyTECH 5.54d. In the capacity of defuzzification method is used method of the best compromise. Obtained results point at capital saving due to inventory decrease on basis of analysis of project quality.

**Key words:** support methods for decision making, uncertainty, fuzzy logic, linguistic variable, term-sets, rule base, fuzzification, defuzzification

**Введение.** Принятие решений в реальной системе управления – это многогранный процесс, осложненный бесконечным разнообразием объективно существующих альтернатив и ограниченными техническими и временными возможностями. Во время их выполнения в условиях неопределенности часто возникает один из двух типов задач: слабоструктурированные или неструктурированные. Слабоструктурированные задачи содержат неизвестные или не измеряемые компоненты, которые невозможно оценить количественно, а постановка задач предполагает принятие решений в условиях неполной информации. Неструктурированные задачи содержат не формализуемые процедуры, базирующиеся на неструктурированной информации, важной чертой которой является высокая степень неопределенности. Применение теории нечетких множеств позволяет построить формальные схемы решения задач, характеризующихся той или иной степенью неопределенности, которая может быть обусловлена неполнотой, внутренней противоречивостью, неоднозначностью и размытостью исходных данных, представляющих собой приближенные или качественные оценки объектов [1].

Л. Заде предложил лингвистическую модель, которая использует не математические выражения, а слова, отражающие качество [2].

Основной тенденцией развития современного управления проектами является их неопределенность. Факторы неопределенности рассматриваются как специфические риски, методы управления которыми до недавнего времени не были разработаны [3; 4].

Целью исследования является построение нечеткой модели для оценки качества проекта – ключевого фактора в отклонениях проектных и фактических объемов для снижения уровня производственных запасов.

**Основная часть.** По А. Пегату [5] можно выделить три основных метода нечеткого моде-

лирования: нечеткое моделирование на основе экспертных знаний о системе; построение самонастраивающихся нечетких моделей на основе измерения входов и выходов системы; построение самоорганизующихся и самонастраивающихся нечетких моделей на основе измерений входов и выходов системы.

Чтобы построить нечеткую модель, необходимо определить все ее элементы: базу правил, число и тип функций принадлежности для каждой переменной модели, параметры функций принадлежности, логические операторы и т. п.

В результате анализа различных классификаций факторов, влияющих на качество проекта [3; 6; 7; 8], были выведены следующие входные лингвистические переменные разрабатываемой нечеткой модели:

1) «Опыт проектировщика» («Projector\_Experience»). Для данной переменной будем использовать множество:  $T_1 = \{ \text{"низкий"}, \text{"средний"}, \text{"высокий"}, \text{"чрезмерный"} \}$ .

2) «Универсальность» («Universality»). Будем использовать терм-множество:  $T_2 = \{ \text{"низкая"}, \text{"средняя"}, \text{"высокая"} \}$ .

3) «Процент ошибок проектировщика» («Error\_Var»). Будем использовать терм-множество  $T_3 = \{ \text{"низкая"}, \text{"средняя"}, \text{"высокая"} \}$ .

4) «Сложность проекта» («Complexity»). Будем использовать терм-множество:  $T_4 = \{ \text{"низкая"}, \text{"средняя"}, \text{"высокая"} \}$ .

5) «Качество исходных данных» («Basic\_data»). Будем использовать терм-множество:  $T_5 = \{ \text{"низкое"}, \text{"среднее"}, \text{"высокое"} \}$ .

6) «Время разработки» («Engineering\_time»). Будем использовать терм-множество:  $T_6 = \{ \text{"низкое"}, \text{"среднее"}, \text{"высокое"} \}$ .

В качестве метода построения функции принадлежности используется построение частотных оценок терм-множеств.

Процесс построения частотных оценок терм-множеств для лингвистической переменной

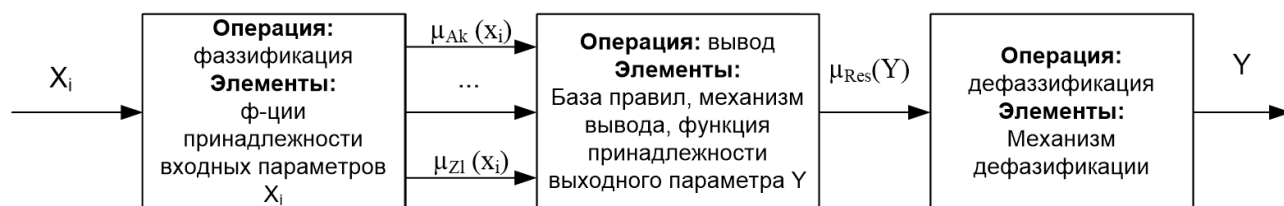


Рис. 1. Типовая структура нечеткой модели системы

Fig. 1. Pattern of fuzzy model system

«сложность» базируется на статистической обработке мнений группы экспертов [9].

Согласно [8] с ростом числа экспертов в группе точность измерения повышается, и исходная численность экспертной группы составляет обычно не менее 7 человек. В рассматриваемом исследовании количество экспертов составило 8 человек: 3 главных инженера проекта (с привлечением специалистов сторонних организаций) и 5 инженеров-проектировщиков (с привлечением специалистов сторонних организаций).

При построении функций принадлежности каждый эксперт заполнил анкету, в которой указал свое мнение о наличии у элементов свойств нечеткого множества. Будем считать оценки экспертов бинарными, где 1 указывает на наличие у элемента свойства нечеткого множества, а 0 – на их отсутствие.

По результатам анкетирования степени принадлежности нечеткому множеству были рассчитаны по формуле (1):

$$\mu_{ij}(u_i) = \frac{1}{K} \sum_{k=1, \overline{K}} b_{j,i}^k, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где  $K$  – количество экспертов,  $b_{j,i}^k$  – мнение  $k$ -го эксперта о наличии у элемента  $u_i$  свойств нечеткого множества  $\tilde{J}_j$ .

Столбцы индексированы количеством домов, подлежащих переключению на технологию xPON, а строки – элементами терм-множеств «очень простой», «простой», «средний», «сложный», «очень сложный».

При проектировании внутридомовых и магистральных сетей в рамках проектов необходи-

мо предусмотреть строительство и подключение отдельно стоящих домов и зданий организаций. Так, при проектировании телефонизации новых домов разрабатывается проект для одного дома, в котором проектируется магистральная, распределительная и абонентская сети. При переключении района (районов) количество отдельно стоящих домов существенно возрастает, как следствие появляются разветвительные и соединительные муфты, врезки в существующие муфты, устройства абонентских вводов, докладки участков телефонной канализации, строительство новых участков, переключение станционного оборудования, установка кроссов и т. п.

На пересечении соответствующей строки и столбца каждый эксперт указал, можно ли отнести данное количество домов к соответствующей мере сложности проекта, т.е. насколько сходны понятия «простой» и «10-16 домов» в ситуации проектирования магистральных и внутридомовых сетей.

Результаты обработки экспертных мнений сведены в таблицы 2 и 3. Данные в таблице 2 соответствуют количеству голосов, отданных экспертами за принадлежность к нечеткому множеству соответствующего элемента универсального множества, а числа в таблице 3 представляют собой результаты расчета функции принадлежности по формуле (1).

Аналогичным образом строятся частотные оценки лингвистических переменных «Универсальность», «Время разработки», «Качество исходных данных».

Расчет процента брака в работе проектировщиков производится с учетом постоянного

Таблица 1. Результат опроса экспертов  
Table 1. Result of experts' examination

	Терм	1-2	3-5	5-10	10-16	>16
Эксперт 1	очень простой	1	1	1	1	0
	простой	1	1	1	1	0
	средний	0	1	1	1	0
	сложный	0	0	0	1	1
	очень сложный	0	0	0	0	1
Эксперт 2	очень простой	1	0	0	0	0
	простой	1	1	0	0	0
	средний	1	1	1	0	0
	сложный	0	0	1	1	1
	очень сложный	0	0	0	1	1
Эксперт 3	очень простой	1	1	0	0	0
	простой	1	1	1	0	0
	средний	0	1	1	1	0

Продолжение таблицы 1  
Table 1 (continuation)

	сложный	0	0	0	1	1
	очень сложный	0	0	0	1	1
Эксперт 4	очень простой	1	0	0	0	0
	простой	1	1	0	0	0
	средний	1	1	1	0	0
	сложный	0	1	1	1	1
	очень сложный	0	0	0	1	1
Эксперт 5	очень простой	1	0	0	0	0
	простой	1	1	0	0	0
	средний	1	1	1	0	0
	сложный	0	1	1	1	1
	очень сложный	0	0	0	0	1
Эксперт 6	очень простой	1	1	1	0	0
	простой	1	1	1	1	0
	средний	0	1	1	1	0
	сложный	0	0	0	1	1
	очень сложный	0	0	0	1	1
Эксперт 7	очень простой	1	1	0	0	0
	простой	1	1	1	0	0
	средний	0	1	1	1	0
	сложный	0	0	1	1	1
	очень сложный	0	0	0	1	1
Эксперт 8	очень простой	1	0	0	0	0
	простой	1	1	0	0	0
	средний	1	1	1	0	0
	сложный	0	0	0	1	1
	очень сложный	0	0	0	1	1

расчета отклонений фактических и проектных величин по видам материального ресурса в разрезе каждого проектировщика. Общий процент брака рассчитывается как среднеквадратическое отклонение по реализованным проектам за выбранный период.

Первый блок правил с именем «Рейтинг проектировщика» («Projector\_Rating») используется для промежуточной оценки общего уровня

разработчика проекта и для рассматриваемой системы нечеткого вывода содержит 36 правил нечетких продукций. Входными лингвистическими переменными этого блока правил являются первые три входные лингвистические переменные проекта, а выходной лингвистической переменной этого блока правил – промежуточная переменная данного проекта с именем «Projector\_Rating».

Таблица 2. Результат обработки мнений экспертов  
Table 2. Result of processing experts' opinions

Терм	1-2	3-5	5-10	10-16	>16
очень простой	8	4	2	1	0
простой	8	8	4	2	0
средний	4	8	8	4	0
сложный	0	2	4	8	8
очень сложный	0	0	4	6	8



Таблица 3. Определение сложности проекта (функции принадлежности)  
 Table 3. Definition of project complexity (membership functions)

Терм	1-2	3-5	5-10	10-16	>16
очень простой	1	0,5	0,25	0,13	0
простой	1	1	0,5	0,2	0
средний	0,5	1	1	0,5	0
сложный	0	0,25	0,5	1	1
очень сложный	0	0	0,5	0,75	1

Второй блок правил – «Оценка проекта» («Project\_Assessment») – применяется для оценки общего уровня ошибки проекта и для рассматриваемой системы нечеткого вывода содержит 81 правило нечетких продукций. Входными лингвистическими переменными этого блока правил являются: «Качество исходных данных» («Basic\_Data»), «Сложность проекта» («Complexity»), «Время разработки проекта» («Engineering\_time») и промежуточная переменная «Projector\_Rating». Выходная переменная – «Ошибка проекта» («Project\_Error»).

В качестве метода дефаззификации используется стандартный метод Center-of-Maximum (сокращенно – CoM), который представляется путем наилучшего компромисса для получения окончательного значения входных переменных. В программе fuzzyTECH он работает аналогично методу центра тяжести. Главным его достоинством является то, что в дефаззификации участвуют все активизированные функции принадлежности заключений (все активные правила), а, значит, он является более «демократичным» и обеспечивающим высокую чувствительность нечеткой модели к изменению входных сигналов [10].

Нечеткая модель реализована через fuzzyTech 5.54 d Professional Edition и представлена на рис. 2.

На рисунках 3, 4, 5 и 6 представлена трехмерная поверхность нечеткого вывода для нечеткой модели «Ошибка проекта».

На рисунке 7 представлен анализатор правил нечетких продукций для промежуточной переменной «Рейтинг проектировщика».

На рисунке 8 представлен вид рабочего интерфейса «Ошибка проекта» при заданных условиях и вычислена ошибка проекта.

В дальнейшем, анализируя входные переменные, накопленные в базе данных, и используя основные принципы построения функций принадлежности, проводится построение самонастраивающейся нечеткой модели для анализа вновь разработанного проекта.

Рассмотрев таблицу 4, видим, что данные, полученные с помощью нечеткой модели, ближе к фактическим величинам по сравнению с проектными величинами, что приводит к уменьшению производственных запасов и снижению замораживания оборотного капитала.

**Заключение.** Лингвистические модели позволяют принимать решения для слабоструктурированных задач. Использование нечеткой логики позволяет снижать уровень производственных запасов. Построена нечеткая модель оценки качества проекта, которая, в зависимости от результата, дает

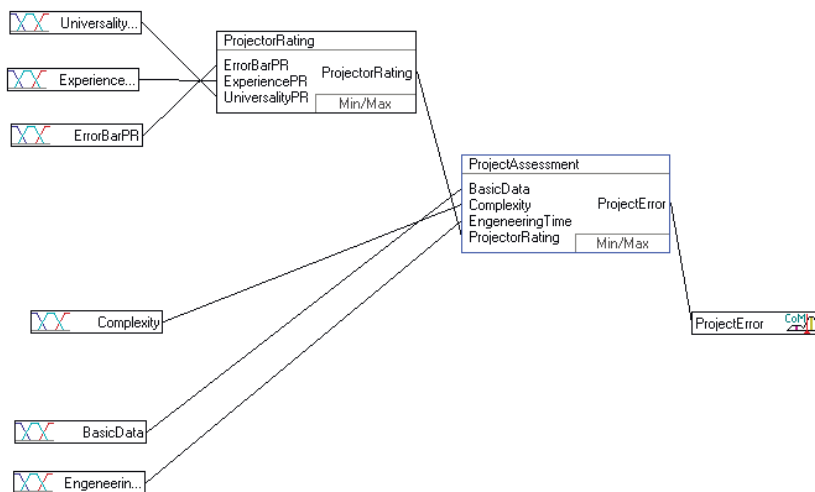


Рис. 2. Нечеткая модель оценки качества проекта  
 Fig. 2. Fuzzy model of project quality evaluation

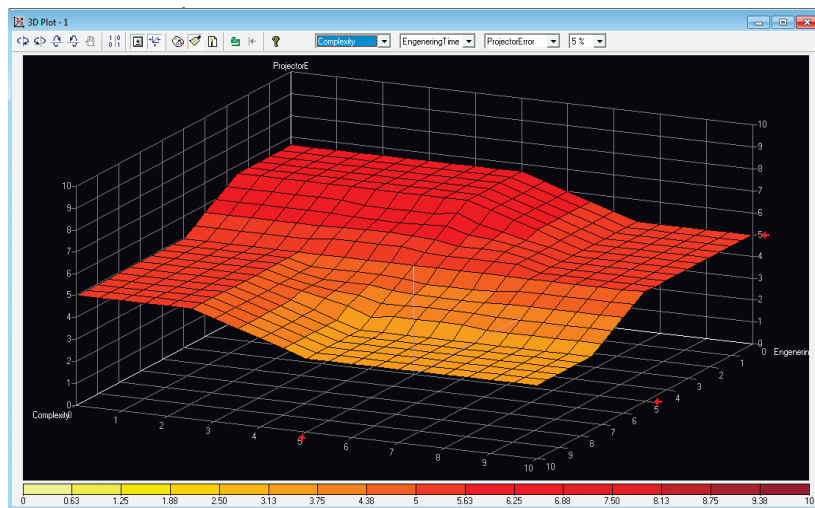


Рис. 3. Вид поверхности нечеткого вывода на трехмерной поверхности для разработанной модели в интерактивном режиме отладки (сложность, время разработки, ошибка проекта)

Fig. 3. View of fuzzy inference surface on 3D surface for the developed model in debugging interactive mode (complexity, engineering time, project error)

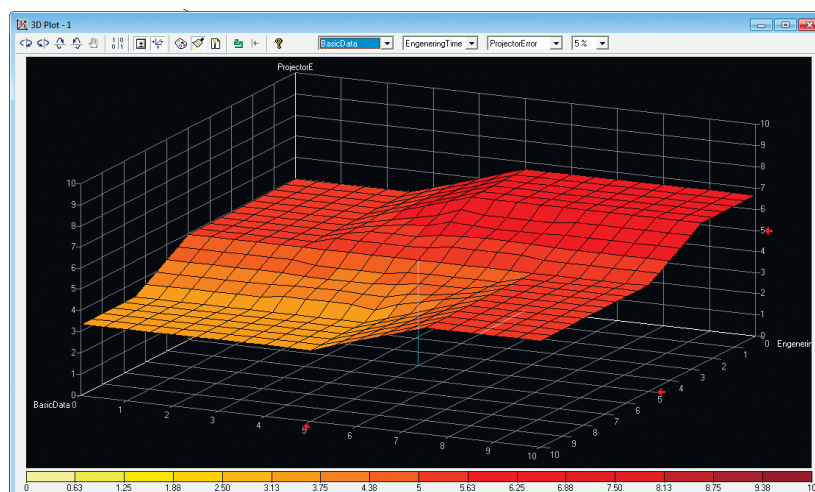


Рис. 4. Вид поверхности нечеткого вывода на трехмерной поверхности для разработанной модели в интерактивном режиме отладки (исходные, время разработки, ошибка проекта)

Fig. 4. View of fuzzy inference surface on 3D surface for the developed model in debugging interactive mode (basic data, engineering time, project error)

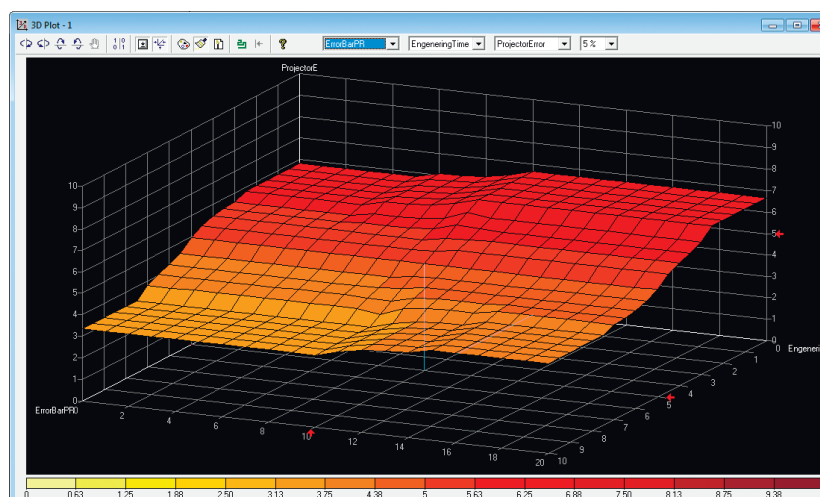


Рис. 5. Вид поверхности нечеткого вывода на трехмерной поверхности для разработанной модели в интерактивном режиме отладки (% брака проектанта, время разработки, ошибка проекта)

Fig. 5. View of fuzzy inference surface on 3D surface for the developed model in debugging interactive mode (error bar, engineering time, project error)

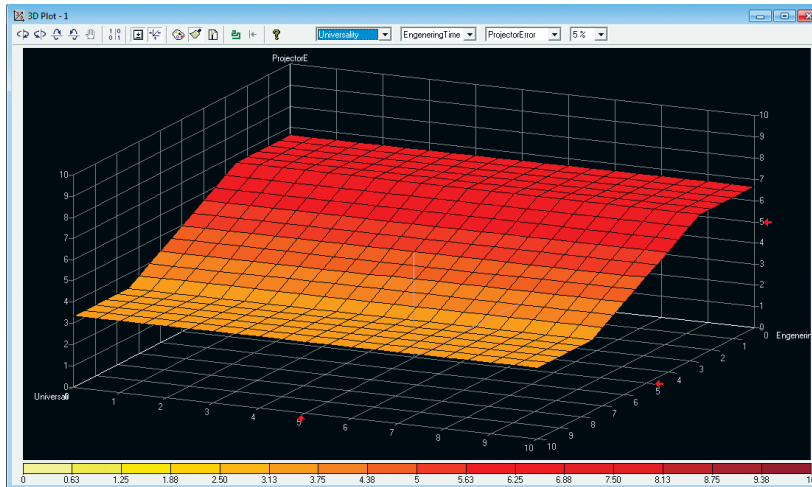


Рис. 6. Вид поверхности нечеткого вывода на трехмерной поверхности для разработанной модели в интерактивном режиме отладки (универсальность, время разработки, ошибка проекта)  
 Fig. 6. View of fuzzy inference surface on 3D surface for the developed model in debugging interactive mode (universality, engineering time, project error)

The screenshot shows the 'Rule Analyzer - ProjectorRating' window. It displays the fuzzy rule 'ProjectorRating = (0.00000, 1.00000, 0.00000)'. The table below shows the analysis of rules:

Term	RB	IF	Aggr.	DoS	Res.A...
low = 0.00000					
medium = 1.00000	ProjectorRating	ErrorBarPR = medium... Experience = medium... Universality = high	0.50004	1.00000	0.50004
	ProjectorRating	ErrorBarPR = medium... Experience = close & Universality = high	0.49996	1.00000	0.49996
high = 0.00000					

Рис. 7. Анализатор правил нечетких продукций  
 Fig. 7. Analyzer of fuzzy rules

The screenshot shows the 'Watch: Interactive Debug Mode' window. It displays the following values:

Inputs:	Outputs:	Intermediate:
BasicData: 3.825	ProjectorError: 6.065	ProjectorRating.low: 1.000
Complexity: 6.684		ProjectorRating.medium: 0.032
EngeneeringTime: 1.958		ProjectorRating.high: 0.000
ErrorBarPR: 14.921		
Experience: 1.076		
Universality: 6.966		

Рис. 8. Вид рабочего интерфейса в режиме отладки  
 Fig. 8. View of debugging interface

Таблица 4. Анализ результатов  
 Table 4. Analysis of results

	Проектная величина	Величина по нечеткой модели	Фактическая величина
Проект А, материал 1	1,631	1,61	1,590
Проект А, материал 2	1,937	1,879	1,856
Проект Б, материал 1	4,694	4,597	4,421
Проект Б, материал 2	2,508	2,403	2,311

допустимую оценку количества закладываемых материалов, что позволят заказывать оптимальное количество материалов и своевременно строить объекты. Построение нечетких моделей оценки

проектов может использоваться для различных строительных проектов, позволяет учитывать отклонения проектных величин от фактических объемов на базе анализа качества разработанного проекта.

### Список литературы

1. Демидова, Л. А. Принятие решений в условиях неопределенности / Л. А. Демидова, В. В. Кираковский, А. Н. Пылькин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 288 с.
2. Заде, Л. Тени нечетких множеств/ Л. Заде //Проблемы передачи информации. – 1966. – Т. 2. – С.37-44
- 3.Ципес, Г. Л. Менеджмент проектов в практике современной компании / Г. Л. Ципес, А. С. Товб. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2006. – 304 с.
4. Живицкая, Е. Н. Логистические информационные системы: монография / Е. Н. Живицкая. – Минск: БГУИР, 2013. – 362 с.
5. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление/ А. Пегат. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.
6. Локк, Д. Основы управления проектами / Д. Локк – М.: «HIPPO», 2004. – 253 с.
7. Богданов, В. В. Управление проектами. Корпоративная система – шаг за шагом / В.В. Богданов. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2012. – 248 с.
8. Живицкая, Е. Н. Теория принятия решений в экономических исследованиях: учеб. пособие / Е. Н. Живицкая. – Минск: БГУИР, 2017. – 294 с.
9. Штовба, С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2007. – 288 с.
10. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH/ А. В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

### References

1. Demidova L. A. Prinytie resheniy v ysvloiyx neopredelennosti [Decision making under uncertainty]. M.: Gorychay linia-Telecom Publ., 2012. 288 p. (in Russian).
2. Zadeh L. Teny nechetkich mnojestv [Shadows of Fuzzy Sets]. Problems of Information Transmission, 1966, Vol.2. pp. 37-44 (in Russian).
3. Cipers G. L. Menegdgment proektov v praktike sovrimenoy kompanii [Project management in the practice of a modern company]. Moscow: Olimp Business Publ., 2006, 304 p. (in Russian).
4. Zhivitskaya H. N. Logisticheskie informacionnye sistemy: monografija [Logistic information systems: monograph]. Minsk: BSUIR, 2013, 362 p. (in Russian).
5. Pegat A. Nechetkoe modelirovanie i ypravlenie [Fuzzy simulation and control]. M.: BINOM Laboratoriy znaniy Publ., 2013, 798 p. (in Russian).
6. Lock D. Osnovy ypravleniy proektami [Project Management Basics]. M.: «HIPPO», 2004, 253 p. (in Russian).
7. Bogdanov V. V. Ypravleniy proektami. Korporativnay sistema [Project Management. Corporate System – step by step]. M.: Mann, Ivanov and Ferber Publ., 2012, 248 p. (in Russian).
8. Zhivitskaya H. N. Decision making theory in economic research: study guide. Minsk: BSUIR, 2017. 294 p. (in Russian).
9. Shtovba S. D. Proektirovanie nechetkix system sredstvami MATLAB. M.: Gorychay linia-Telecom Publ., 2007. 288 p. (in Russian).
10. Leonenko A. V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH [Fuzzy simulation in MATLAB and fuzzyTECH]. SpB.: BVX-Piterburg Publ., 2005, 736 p. (in Russian).

*Received: 17.06.2019*

*Поступила: 17.06.2019*

## Готовность населения к экономическому поведению в условиях электронной экономики: проблемы электронного здравоохранения

**Т. Н. Беляцкая**, к. э. н., доцент, зав. кафедрой менеджмента

E-mail: beltan@tut.by

ORCID ID: 0000-0002-3746-9174

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», ул. П. Бровки, д. 6, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

**О. М. Маклакова**, м. э. н., старший преподаватель кафедры менеджмента

E-mail: o.maklakova@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-2172-4185

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», ул. П. Бровки, д. 6, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Проведено исследование готовности населения Беларуси к экономическому поведению на рынке электронного здравоохранения. Со стороны спроса сдерживающими факторами выступают низкая осведомленность о возможности использования услуг и товаров электронного здравоохранения, отсутствие навыков и опыта покупок и потребления данных товаров и услуг, убежденность в справедливости безвозмездности электронного здравоохранения. Побуждающими факторами могут являться отсутствие альтернатив электронному здравоохранению, возможность обучения получению услуг, гарантированность безопасности передачи данных.

**Ключевые слова:** электронное здравоохранение, рынок электронного здравоохранения Беларуси, потребительские предпочтения, поведение на электронных рынках

**Для цитирования:** Беляцкая, Т. Н. Готовность населения к экономическому поведению в условиях электронной экономики: проблемы электронного здравоохранения / Т. Н. Беляцкая, О. М. Маклакова // Цифровая трансформация. – 2019. – № 2 (7). – С. 13–28. <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2019-2-13-28>



© Цифровая трансформация, 2019

## Willingness of People to Economic Behavior in the Conditions of e-Economy: e-Health Problems

**T. N. Belyackaya**, Candidate of Science (Economics), Associate Professor, Head of Management Department

E-mail: beltan@tut.by

ORCID ID: 0000-0002-3746-9174

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 6 P. Brovka Str., 220013 Minsk, Republic of Belarus

**O. M. Maklakova**, Master of Economic Sciences, Senior Lecturer of Management Department

E-mail: o.maklakova@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-2172-4185

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 6 P. Brovka Str., 220013 Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** A study was conducted of the readiness of the population of Belarus for economic behavior in the e-health market. It is believed that there is a low awareness of the possibilities of using services and goods provided by the population,



as well as of the experience in obtaining data and services. Lack of alternative e-health, the possibility of learning to receive services, guaranteed security of data transmission.

**Key words:** e-health, e-health market of Belarus, consumer preferences, behavior in e-markets

**For citation:** Belyackaya T. N., Maklakova O. M. Willingness of People to Economic Behavior in the Conditions of E-Economy: E-Health. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2019, 2 (7), pp. 13–28 (in Russian). <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2019-2-13-28>

**Введение.** Развитие электронной экономики является стратегической целью белорусского общества на ближайшую перспективу. Одной из задач ее формирования является развитие электронного здравоохранения (ЭЗ), для чего разработана Концепция развития электронного здравоохранения Республики Беларусь на период до 2022 года [1]. Документ предусматривает внедрение информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в здравоохранение, что обеспечит становление электронного здравоохранения как объективной реальности, обеспечивающей полноту и достоверность медицинской информации, существенно улучшит качество оказания медицинской помощи. В Концепции указывается, что «внедрение электронного здравоохранения зависит от развития ИКТ в Республике Беларусь, включая проникновение в районные центры широкополосного доступа к сети Интернет и создание новых медико-информационных прикладных технологий обслуживания пациентов и организаций здравоохранения... ИКТ позволят повысить качество оказания медицинской помощи, в том числе оперативность проведения профилактических и лечебно-диагностических мероприятий, оптимизировать трудозатраты медицинских работников и административно-управленческого персонала при оказании медицинской помощи пациентам».

В рамках прикладных вопросов реализации Концепции предусматриваются создание централизованной информационной системы здравоохранения (ЦИСЗ) для формирования единого информационного архива пациентов и обмена медицинскими данными [2], создание интегрированной электронной медицинской карты и полномасштабной системы обращения электронных рецептов с использованием электронной цифровой подписи [3].

Высокий уровень информатизации системы здравоохранения республики является необходимым условием достижения одного из важнейших на современном этапе показателей эффективности национальной системы здравоохранения – высокого уровня удовлетворенности граждан качеством предоставляемых услуг.

Реализация проектов требует активного вовлечения населения в экономические отношения

© Digital Transformation, 2019

на складывающемся рынке электронного здравоохранения. Вопросам готовности белорусского населения к экономическому поведению на рынке ЭЗ посвящено исследование, проведенное на кафедре менеджмента БГУИР с целью изучения опыта и предрасположенности к пользованию электронными услугами и товарами в целом и услугами электронного здравоохранения в частности.

**Основная часть.** Термин электронное здравоохранение был введен в оборот в 1999 году и изначально имел прикладное значение.

Медицинский журнал *Internet Research* определяет электронное здравоохранение как возникающую область на стыке медицинской информатики, общественного здравоохранения и бизнеса, касающуюся медицинских услуг и информации, предоставляемой или улучшенной через Интернет и связанные с ним технологии [4]. В более широком смысле этот термин характеризует не только техническое развитие, но и состояние души, образ мышления, отношение и приверженность сетевому, глобальному мышлению, для улучшения здравоохранения на местном, региональном и международном уровнях путем использования информационных и коммуникационных технологий».

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) определяет электронное здравоохранение как экономически эффективное и безопасное использование информационных и коммуникационных технологий для поддержки здравоохранения и связанных со здоровьем областей, включая наблюдение за здоровьем и санитарное просвещение, знания и исследования [5].

Европейская комиссия определяет электронное здравоохранение как использование современных информационных и коммуникационных технологий для удовлетворения потребностей граждан, пациентов, медицинских работников, а также политиков [6].

В отечественной литературе [7] электронное здравоохранение определено как механизм передачи ресурсов здравоохранения и медико-санитарной помощи с помощью электронных средств, а также механизм сбора, обработки, хранения и использования данных о здоровье граждан. ЭЗ следует рассматривать как обеспечивающую

щую систему информационного общества, целью которой является сохранение и воспроизводство ресурсного потенциала – человеческого капитала.

Республиканский научно-практический центр медицинских технологий, информатизации, управления и экономики здравоохранения транслирует определение ВОЗ и определяет ЭЗ как использование электронных коммуникационных технологий для нужд здравоохранения: лечения пациентов, обучения медработников, выявления заболеваний и мониторинга тенденций общественного здравоохранения [8].

В Концепции развития электронного здравоохранения Республики Беларусь на период до 2022 года указывается, что ЭЗ синонимично единому информационному пространству здравоохранения, под которым следует понимать совокупность информационных систем и ресурсов, ИКТ, функционирующих в отрасли здравоохранения на основе единых принципов и по общим правилам, обеспечивающих информационное взаимодействие организаций и граждан, а также удовлетворение их информационных потребностей [1].

Электронное здравоохранение обеспечивает новый способ использования ресурсов здравоохранения (информацию, денег и лекарств), а также предоставляет новую среду для распространения информации, взаимодействия и сотрудничества между учреждениями, медицинскими работниками и общественностью [7].

В соответствии с подходом Всемирной организации по здравоохранению (WHO) электронное здравоохранение включает в себя три основных направления: доставка медицинской информации для медицинских работников и потребителей услуг здравоохранения через Интернет и системы телекоммуникаций; использование ИКТ и электронной коммерции для повышения качества услуг в области здравоохранения, например, через образование и профессиональную подготовку медицинских работников; использование электронной коммерции и технологий электронного бизнеса для управления системами здравоохранения.

Интеграция ИКТ, технологий электронного бизнеса и электронной коммерции с медициной и здравоохранением выражается в 4 основных инфо-коммуникационных моделях: информационная система клиник; неклинические системы вторичного пользования; телемедицина; интегрированная информационная сеть [9].

Таким образом, исходя из анализа дефиниций, электронное здравоохранение опреде-

ляется через технические средства, используемые для осуществления деятельности в области здравоохранения. ЭЗ может охватывать широкий спектр поддоменов цифрового здравоохранения, таких как: электронные медицинские записи (EHR); электронные медицинские карты (EMR); телемедицина; ИТ-системы здравоохранения; ИТ-данные о здоровье потребителей; виртуальное здравоохранение; Mobile Health (мобильное здравоохранение); большие системы данных, используемые в цифровом здравоохранении.

Вместе с тем ЭЗ следует рассматривать с учетом синергетических эффектов использования технических средств и возникающих на базе их использования новых отношений.

Концепция развития электронного здравоохранения Республики Беларусь на период до 2022 года приводит результаты компаративного анализа и опыта формирования электронного здравоохранения в странах ЕС и СНГ. Обобщение его результатов позволяет выявить следующие особенности для стран ЕС: развитая информационная инфраструктура и наличие высокоскоростных каналов связи; высокий уровень компьютерной грамотности как медицинского персонала, так и населения в целом; легкость доступа к сети Интернет; широкое вовлечение ключевых бенефициаров (медицинских работников, менеджеров здравоохранения всех уровней, пациентов, общественности) в процессы разработки, внедрения и развития информационных систем; длительный период разработки политики и нормативной правовой базы проектов; осторожное внедрение пилотных проектов, как правило, на базе одной или нескольких организаций здравоохранения.

Анализ состояния электронного здравоохранения стран СНГ выявил ряд общих проблем: информационные ресурсы и технологии обработки информации в здравоохранении разрабатывались без обеспечения требуемого уровня централизации и координации работ; не развиты системы отраслевых стандартов и регламентов, вследствие чего не решена задача оперативного защищенного обмена электронными данными; имеющиеся на рынке прикладные решения для медицинских организаций преимущественно были ориентированы на работу со слабо структурированными данными; хранимые электронные документы и записи, за редким исключением, являлись вторичными по отношению к документам на бумажном носителе и не имели юридической значимости; информационные системы проекти-

ровались и разрабатывались децентрализованно при отсутствии единой методологии, а потому не позволяли рассматривать и анализировать деятельность системы здравоохранения в целом.

Таким образом, наряду с декларацией высокого уровня грамотности населения ЕС и широкой вовлеченности пациентов и общественности в процессы разработки, внедрения и развития информационных систем в ЕС, отмечаем отсутствие исследований в данной области в странах СНГ. Актуальным является исследование данной проблемы в национальном масштабе.

Опираясь на теоретические и методологические положения, изложенные авторами в [10], в рамках научной деятельности кафедры менеджмента УО БГУИР разработано, организовано и проведено исследование электронных рынков Республики Беларусь. Предметом исследования выступил и рынок электронного здравоохранения Беларуси.

Как известно, успешное внедрение новых технологий во многом обусловлено готовностью субъектов экономических отношений использовать эти технологии в своей повседневной практике. В связи с этим цель исследования состояла в определении социальных условий формирования рынка электронного здравоохранения, в частности, уровня готовности населения к экономическому поведению в условиях электронной экономики. Под готовностью к экономическому поведению на электронных рынках нами понимается наличие у потребителей знаний, навыков, мотивации к пользованию услугами и совершению покупок на электронных рынках. То есть данная категория в значительной степени связана с категорией «спрос». Одним из факторов, формирующих высокую степень готовности, является опыт работы субъектов рынка с современными ИКТ.

В исследовании термин «электронное здравоохранение» уточнился до совокупности таких действий, как заказ талонов и запись на консультации онлайн, поиск лекарств в интернете, пользование электронными рецептами, получение онлайн-консультаций. Данный подход обусловлен уровнем развития ЭЗ в стране. В частности, результаты II съезда ученых Республики Беларусь позволяют сделать вывод о растущем числе предлагаемых электронных сервисов и услуг в здравоохранении [11]. Вместе с тем предложение товаров, услуг и сервисов электронного здравоохранения не означает активное предъявление спроса на данное предложение, что значительно тормозит темпы развития ЭЗ в целом.

Активный рост сектора мобильного здравоохранения является ведущим трендом мирового рынка электронного здравоохранения [12]. Этим обусловлен блок вопросов об использовании датчиков контроля состояния здоровья и приложений для здоровья и фитнеса для населения.

В рамках исследования в части электронного здравоохранения были выдвинуты следующие гипотезы: белорусские потребители ожидают бесплатное пользование сервисами ЭЗ; восприятие населением сервисов ЭЗ как недостаточно надежных, а также отсутствие или недостаточность опыта использования ИКТ выступают ограничивающими факторами развития ЭЗ.

Исследование проводилось методом анкетирования посредством электронной формы, построенной на базе платформы Google в мае-июне 2018 года. Генеральная совокупность в целях исследования определена как население Республики Беларусь в возрасте старше 15 лет, что обусловлено задачами развития ЭЗ в стране, а именно – покрытие всей территории и предоставление услуг всем категориям граждан.

Цели и гипотезы обусловили формирование выборки по следующим параметрам: «пол», «возраст», «географический регион». Выборка является районированной (использовано деление на семь экономико-географических зон Беларуси) и квотной (выделялись городское и сельское население). Для расчетов использованы данные Национального статистического комитета Республики Беларусь.

Выборка является детерминированной, что обусловлено поисковым характером данного научного исследования. Для определения величины выборки использовались как метод среднего значения. Выборка составила 1900 человек и является репрезентативной по полу, возрасту и географии. Уровень надежности полученных данных по указанным параметрам при установленном интервале 95 % составил от 0,1 до 0,12.

Для определения степени готовности населения к экономическому поведению необходимо определить опыт пользования предлагаемыми электронными товарами и услугами в целом.

Опрос строился от общего к частному. В начале респондентов просили указать, являются ли они пользователями и покупателями электронных товаров и услуг. Далее проводилось уточнение наличия опыта пользования непосредственно услугами электронного здравоохранения. Такой подход позволил определить степень вовлеченности в оборот на электронных

рынках вообще и в сфере услуг здравоохранения в частности. Содержание вопросов формулировалось с опорой на мировую практику исследования потребительских предпочтений, в частности на опыт [13].

Структура опроса, задаваемые вопросы, их цель и типы вопросов представлены в таблице 1.

Представим результаты исследования блока вопросов по экономическому поведению в целом на электронных рынках.

Таблица 1. Структура опроса: описание анкеты  
Table 1. Survey structure: questionnaire description

N	Вопрос	Цель вопроса	Тип вопроса
<i>Общий вводный блок для определения опыта покупок онлайн</i>			
1.	Используете ли Вы электронные устройства для поиска, покупки товаров или услуг? [В понятие электронных устройств включены: персональные компьютеры, портативные компьютеры, планшеты, другие портативные устройства такие как смартфоны]	Определить наличие опыта экономического поведения онлайн	Дихотомический
2.	Где, преимущественно, Вы совершаете покупки?	Определить наличие опыта именно покупок онлайн	Закрытый
3.	Когда Вы в последний раз покупали/заказывали товары или услуги для личного пользования через Интернет?	Определить период последней покупки онлайн	Полузакрытый
4.	Что из нижеперечисленного Вы покупали/заказывали из товаров или услуг для личного пользования через Интернет за последние 3-12 месяцев?	Уточнить частоты покупок различных категорий товаров/услуг за последние 3/12 и более месяцев (разбит на несколько вопросов в зависимости от периода)	Полузакрытый
5.	Почему Вы НЕ используете электронные устройства для поиска, покупки товаров и услуг?	Определить мотивацию отказа от пользования	Полузакрытый
6.	Почему Вы НЕ осуществляете покупки в Интернете?	Определить мотивацию отказа от покупок	Полузакрытый
7.	Совершаете ли Вы покупки в Интернете?	Уточняющий вопрос именно стадии покупки	Дихотомический
8.	Как часто Вы совершаете покупки в Интернете?	Уточняющий вопрос именно стадии покупки	Полузакрытый
9.	Оплачиваете ли Вы электронные товары (музыка, видео, ТВ, игры, мобильные приложения и т.п.)? В понятие электронные товары включены товары информационной природы	Определить наличие опыта оплаты товаров информационной природы	Дихотомический
10.	Почему Вы НЕ оплачиваете электронные товары (музыка, видео, ТВ, игры, мобильные приложения и т.п.)?	Определить мотивацию нежелания оплачивать товары информационной природы	Полузакрытый
11.	Что может побудить Вас оплачивать электронные товары/услуги?	Определить мотивацию к оплате	Полузакрытый

Продолжение таблицы 1  
Table 1 (continuation)

Блок вопросов по опыту пользования услугами электронного здравоохранения			
12.	Пользовались ли Вы услугами электронного здравоохранения? (под электронным здравоохранением подразумевается заказ талона онлайн, проведение консультации онлайн, поиск лекарств в интернете, электронные рецепты и пр.)	Уточнить наличия пользовательского опыта и распространенности услуг ЭЗ	Дихотомический
13.	Почему Вы НЕ пользовались услугами электронного здравоохранения?	Определить мотивацию непользования	Полузакрытый
14.	Что может побудить Вас в будущем использовать услуги электронного здравоохранения?	Определить латентные потребности	Полузакрытый
15.	Когда - если вообще - Вы начали собирать информацию для получения услуг электронного здравоохранения?	Определить период поиска	Полузакрытый
16.	Как Вы узнали об электронном здравоохранении?	Определить источники информации об ЭЗ	Полузакрытый
17.	Как именно Вы узнали об электронном здравоохранении от того, кто Вас знает?	Уточнить источники информации об ЭЗ	Полузакрытый
18.	Где Вы видели/слышали рекламу услуг электронного здравоохранения?	Уточнить каналы передачи информации об ЭЗ	Полузакрытый
19.	Какую из перечисленных услуг электронного здравоохранения Вы получали/пользовались?	Проверить наличие пользовательского опыта и степени популярности той или иной услуги	Полузакрытый
20.	Если Вы получали консультацию онлайн, укажите, как именно она выполнялась?	Уточняющий вопрос	Полузакрытый
21.	Пользуетесь ли Вы трекерами (датчиками) для контроля состояния своего здоровья? (умные браслеты, часы, пульсометры, шагомеры и пр.)	Оценить степень активности в области использования новейших технологий в сфере мониторинга состояния своего здоровья/самочувствия	Дихотомический
22.	Почему Вы не используете трекеры для контроля здоровья?	Определить мотивацию отказа от использования	Полузакрытый
23.	Используете ли Вы приложения для здоровья (шагомеры, пульсометры, контроль потребления воды и пр.)?	Оценить степень активности в области использования новейших технологий в сфере мониторинга состояния своего здоровья/самочувствия	Дихотомический
24.	Почему Вы НЕ используете приложения для здоровья?	Определить мотивацию отказа от использования	Полузакрытый
25.	Оплачиваете ли Вы приложения для здоровья?	Определить готовность к экономическому поведению в сфере ЭЗ	Дихотомический
26.	Почему Вы не оплачиваете приложения для здоровья?	Определить мотивацию отказа от оплаты	Полузакрытый



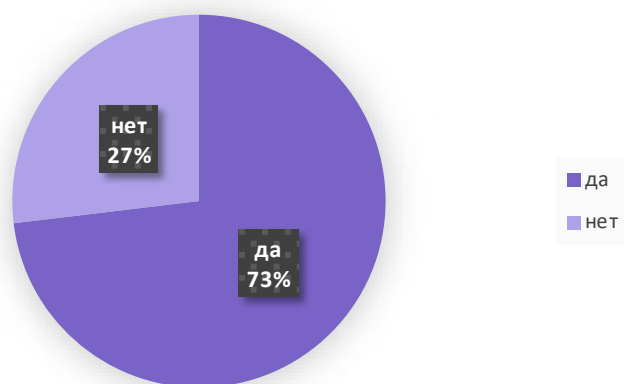


Рис. 1. Использование электронных устройства для поиска, покупки товаров или услуг  
Fig. 1. Using electronic devices to search, purchase goods or services

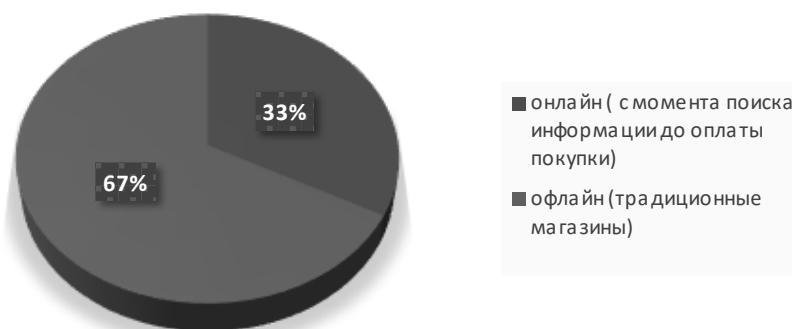


Рис. 2. Каналы совершения покупок  
Fig. 2. Shopping Channels

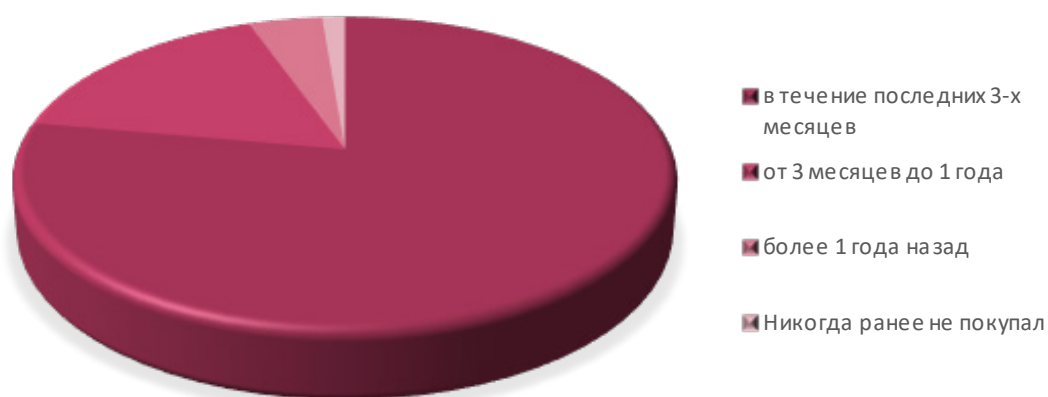


Рис. 3. Период последней покупки онлайн  
Fig. 3. Last purchase period online

Значительное большинство респондентов использует электронные устройства для поиска, покупки товаров или услуг, что демонстрируют ответы на соответствующий вопрос (рис.1):

Покупки, преимущественно, совершаются офлайн (рис. 2).

Период совершения покупок онлайн составляет преимущественно 3 месяца, что говорит

о достаточно высокой активности пользователей в сфере покупок онлайн (рис. 3, вопрос № 3 табл. 1).

Наиболее частыми причинами отказа от поиска информации о товарах/услугах онлайн выступают: предпочтение иных источников информации, отсутствие или редкий опыт совершения покупок онлайн и определенная сложность для

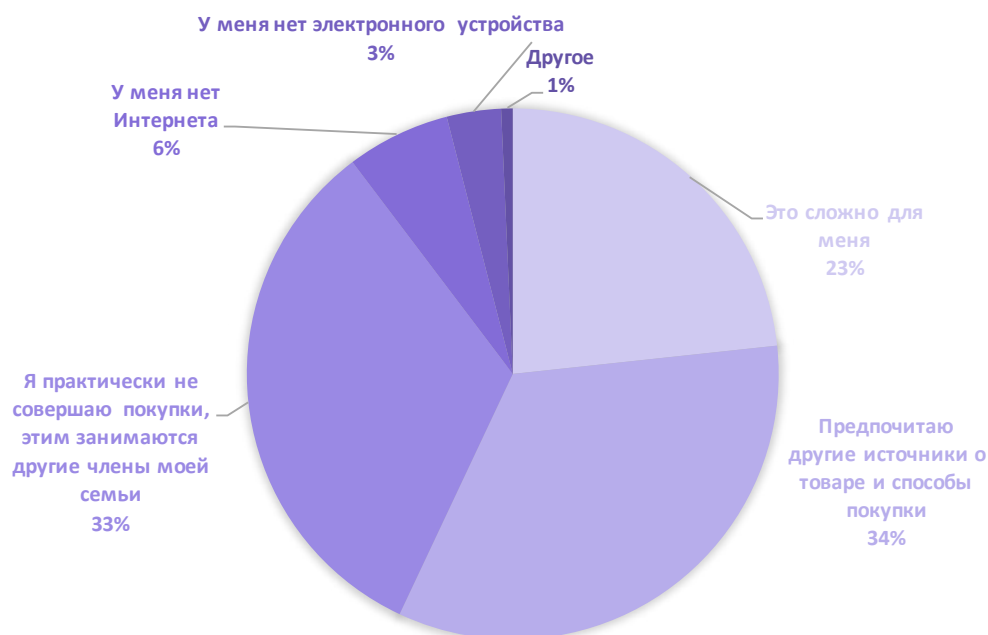


Рис. 4. Причины отказа от использования электронных устройств для поиска, покупки товаров и услуг  
 Fig. 4. Reasons for not using electronic devices for searching, purchasing goods and services

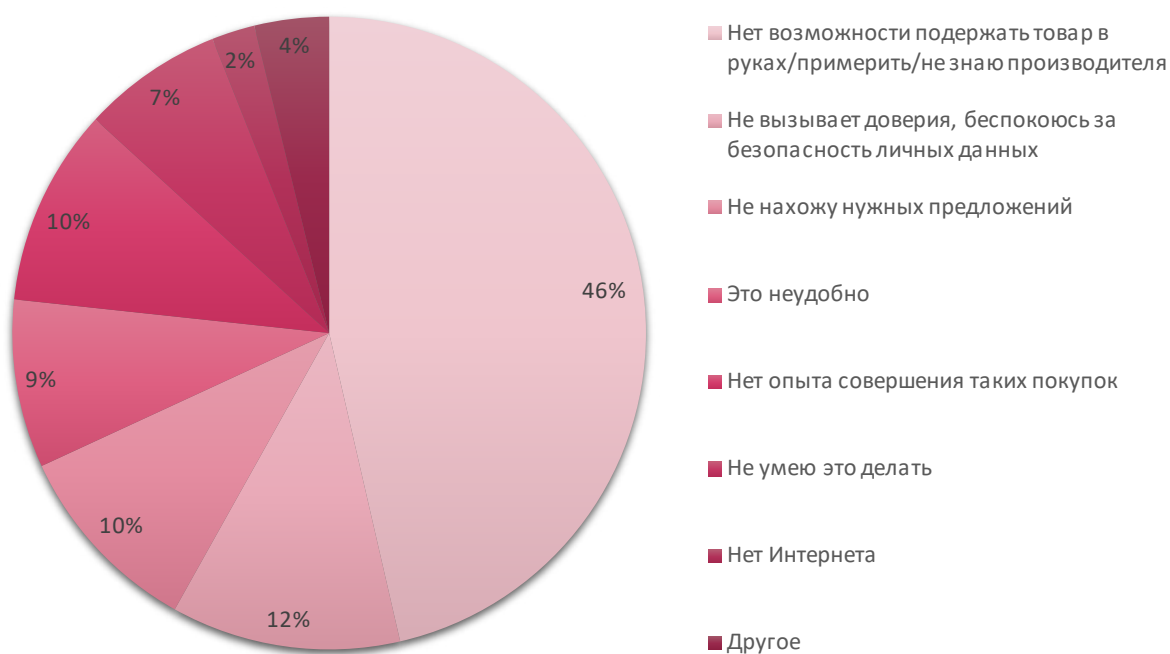


Рис. 5. Причины отказа от осуществления покупок в Интернете  
 Fig. 5. Reasons for not shopping online

пользователя в осуществлении соответствующих действий (рис. 4).

Основные причины отказа от завершающей стадии цепочки принятия решения о покупке – собственно покупки онлайн – представлены на рисунке 5.

46,4 % ответивших на данный вопрос в качестве ключевой причины указали «невозмож-

ность подержать товар в руках перед покупкой». Также весомыми причинами (в районе 8-11 %) являлись: отсутствие доверия к товару и продавцу; невозможность найти необходимые товары; отсутствие опыта покупок онлайн; неудобство онлайн-покупок.

Частота совершения покупок в Интернете представлена на рис. 6. Более половины ответив-

ших совершают покупки как минимум раз в квартал (62,7 %), из них ежемесячно – 26,7 %. Раз в полгода осуществляют покупки онлайн порядка 17 % ответивших на данный вопрос.

Так как услуги здравоохранения имеют невещественную природу, для понимания перспектив их продаж на рынке электронных товаров и услуг были заданы вопросы по готовности и наличию опыта приобретения именно электронных

товаров и услуг онлайн. Под электронными товарами и услугами понимаются товары и услуги, имеющие преимущественно информационную природу.

Опрос показывает, что белорусское население не оплачивает электронные товары и услуги: «нет» ответили 72,6 % респондентов (рис.7).

Причины предпочтения бесплатного пользования электронными товарами и услугами

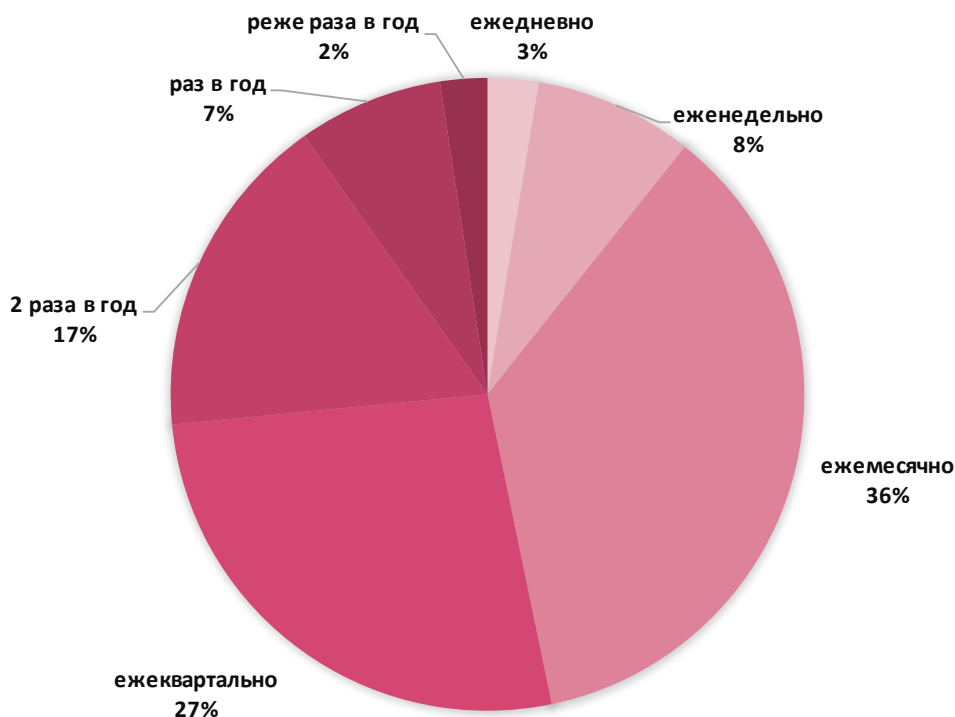


Рис. 6. Частота совершения покупок онлайн  
Fig. 6. Online shopping frequency

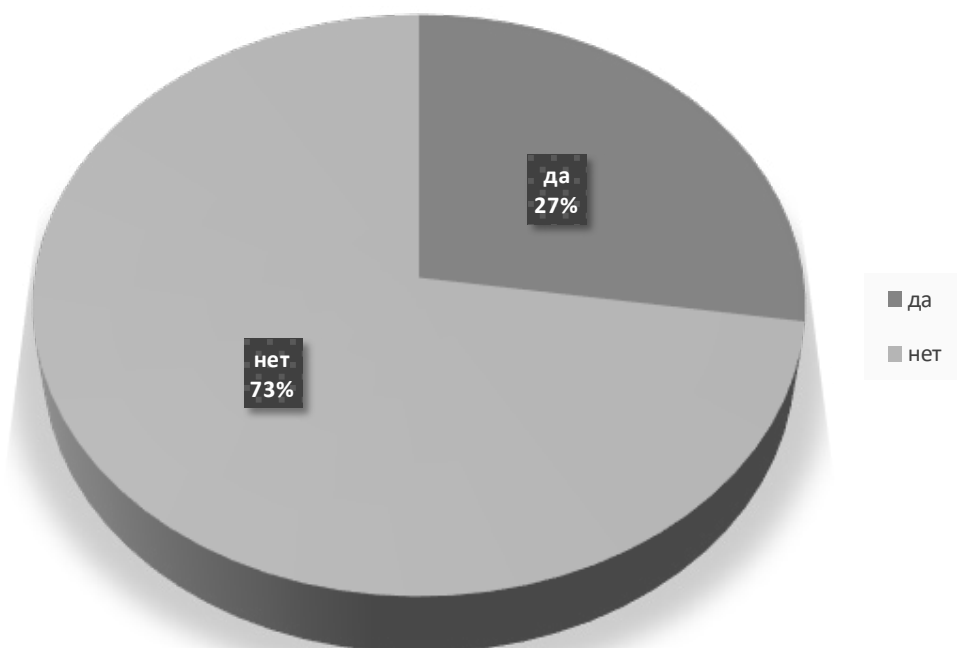


Рис. 7. Распределение ответов на вопрос «Оплачиваете ли вы электронные товары/услуги»  
Fig. 7. Distribution of answers to the question “Do you pay for electronic goods / services?”

можно условно разделить на две группы – ментальные и технические. В качестве ментальных указывается возможность найти бесплатные предложения – 66,7 %. К техническим относятся: отсутствие возможности оплаты в определенном регионе – 3,6 %; опасение доверять свои данные – 18,6 %; отсутствие навыка покупок онлайн – 12,2 % и «это сложно для меня» – 10,1 %.

На вопрос «Что может побудить Вас оплачивать электронные товары/услуги?» большинство респондентов (62 % в совокупности) ответили, что либо не знают, что может их побудить оплачивать электронные товары и услуги (35 %), либо «ничего вовсе не может побудить» (26,4 %). Ужесточение

законодательства в области защиты авторских прав с ответственностью пользователя за неправомерное распространение и пользование авторским контентом побудило бы 18,6 % респондентов оплачивать товары и услуги на электронных рынках. По 15 % респондентов ответили, что готовы платить при гарантированности оригинальности продукта и безопасности своих переданных данных. Упрощения процедуры оплаты ожидают 13 % ответивших (рис. 8).

Таким образом, отечественный потребитель демонстрирует низкую готовность к покупкам на электронных рынках. Основными причинами являются убежденность в справедливости

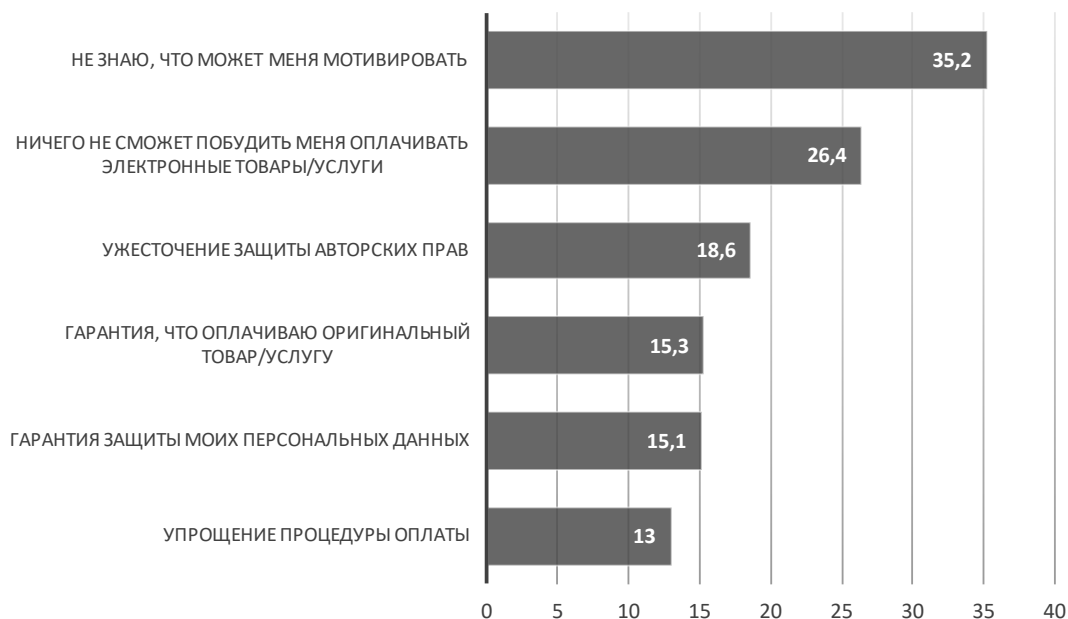


Рис. 8. Стимулы для осуществления покупок электронных товаров/услуг  
Fig. 8. Incentives for buying electronic goods / services

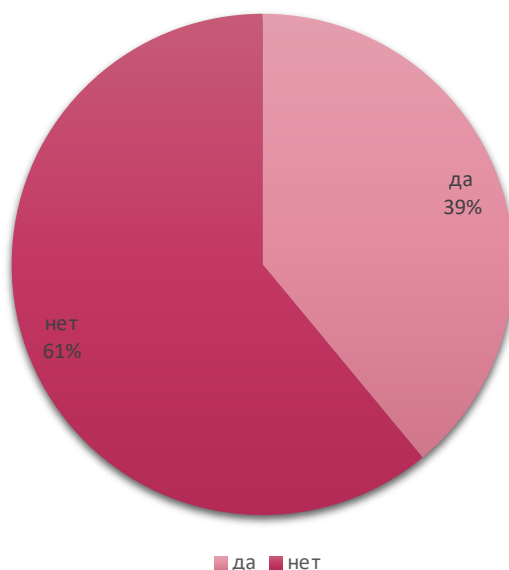


Рис. 9. Наличие опыта получения услуг электронного здравоохранения  
Fig. 9. Experience in e-health services

бесплатного распространения электронных товаров и услуг, а также беспокойство за безопасность передаваемых личных данных в процессе оплаты.

Результаты блока исследования готовности использовать именно услуги электронного здравоохранения повторяют общую картину стихийного и слабо мотивированного спроса на электронных рынках.

Из 1900 ответивших респондентов указали, что пользовались услугами электронного здравоохранения 39,1 %, не пользовались – 60,9 % (рис. 9).

742 респондента указали, что проводили какие-либо действия, относящиеся к действиям

в системе электронного здравоохранения. Для конкретизации их действия был задан вопрос: «Когда – если вообще – Вы начали собирать информацию для получения услуг электронного здравоохранения?». 31 % ответивших не собирали предварительную информацию вовсе, непосредственно перед получением искали информацию также 31 %. За несколько месяцев до получения услуги начинали совершать поиск 12,5 % респондентов, за несколько часов – 11 % и более чем за месяц тоже 11 % (рис. 10).

Источниками знаний для пользователей электронным здравоохранением являются советы



Рис. 10. Период, в течение которого респонденты собирали информацию для получения услуги электронного здравоохранения

Fig. 10. The period during which respondents collected information to receive e-health services

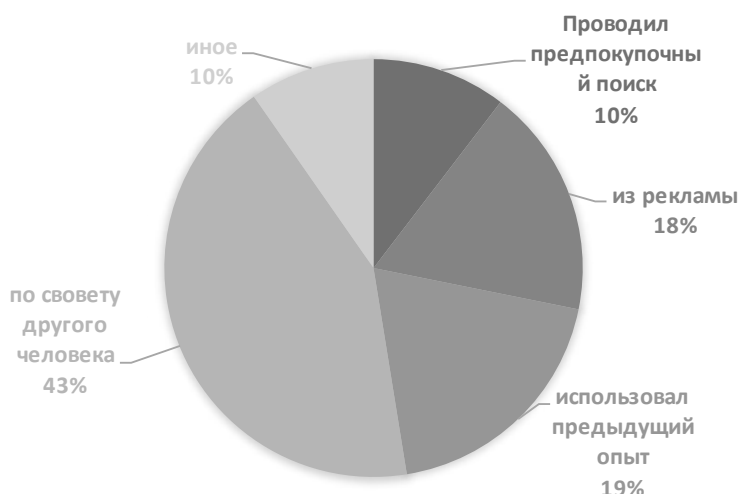


Рис. 11. Источники информации об услугах электронного здравоохранения

Fig. 11. Sources of e-health information



(42,9 %), личный предыдущий опыт (19,3 %), реклама (17,8 %), предпокупочный поиск (10,4 %) (рис. 11).

Уточнение вопроса как именно были получены советы от других людей демонстрирует, что 77 % респондентов предпочитают узнавать об этом из личных источников, 17,3 % – получают информацию в соцсетях.

Каналами распространения рекламы об электронном здравоохранении указывались: телевидение – 23,4 %; журналы, газеты – 15,6 %; онлайн сайты и приложения – 14,8 %; электронная почта – 14,1 %; почтовая рассылка офлайн – 8,6 %; листовки в магазинах – 7,8 %. Таким образом, через неэлектронные источники информацию получает 55,4 % респондентов (рис. 12).

Распределение услуг электронного здравоохранения, полученных респондентами, указавшими наличие подобного опыта (742 участника опроса), произошло следующим образом: заказ талонов на прием использовали 79,6 % респондентов; 59,6 % искали лекарства; дистанционную консультацию онлайн получили 11,1 % ответивших; отоваривали электронные рецепты 5,9 % респондентов (рис. 13).

Формы консультации онлайн выглядят следующим образом: 13,2 % респондентов воспользовались формой «вопрос-ответ» на сайте медучреждения; 8,1 % ответивших задавали вопросы на официальных страницах медицинских заведений в социальных сетях; 7,3 % использовали скайп или

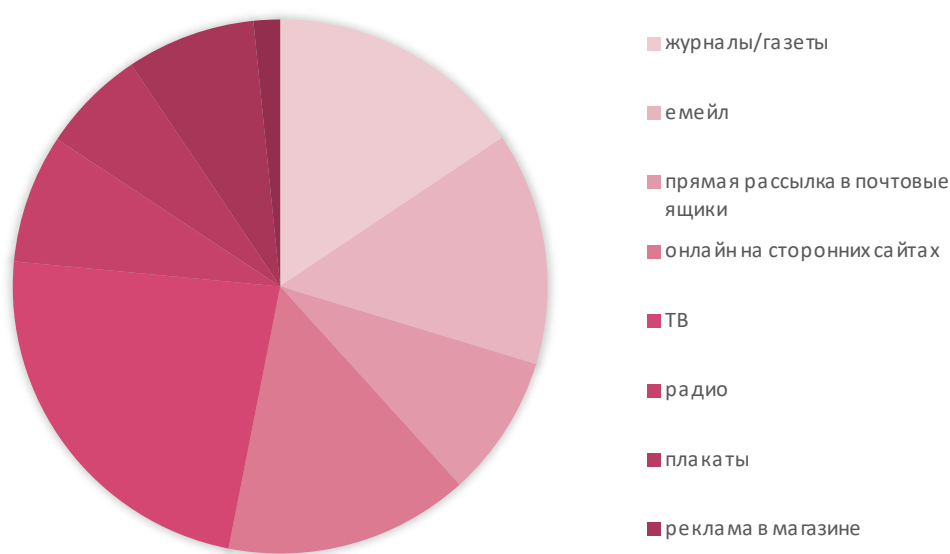


Рис. 12. Каналы рекламы об услугах электронного здравоохранения

Fig. 12. E-health advertising channels



Рис. 13. Структура услуг электронного здравоохранения, получаемых пользователями

Fig. 13. The structure of e-health services received by users

иной мессенджер; около 5 % воспользовались мобильным приложением (рис. 14).

Исследование мотивации респондентов, которые не проводили никаких действий, обозначенных в исследовании как электронное здравоохранение, позволило выявить следующие причины «не-пользования»: «впервые о нем слышу» – 32,7 %; «удобнее по старинке» – 26,5 %; «в целом редко обращаюсь за медпомощью, не

нуждаюсь» – 19,9 %; «не доверяю квалификации специалиста, ведущего консультации онлайн» – 9 %; «плохое качество сайта» – 6 % (рис. 15).

На вопрос «Что может побудить Вас в будущем использовать услуги электронного здравоохранения?» ответы распределились следующим образом: затруднились ответить 35 % респондентов; 23,7 % выразили определенный скепсис, потому что человеческий фактор является определяющим

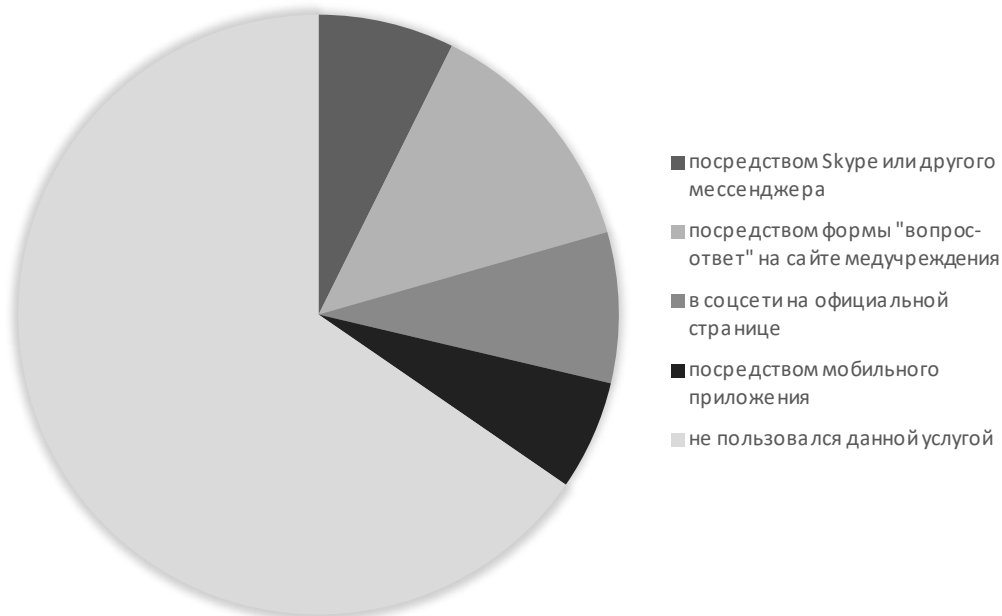


Рис. 14. Каналы получения консультаций онлайн  
Fig. 14. Online consultation channels

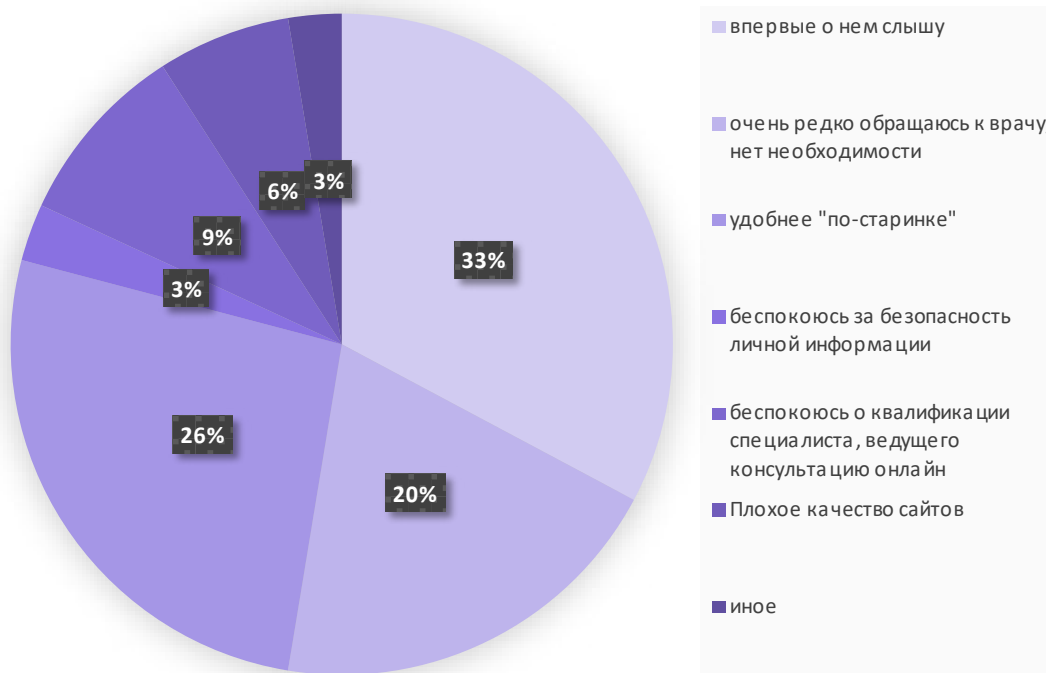


Рис. 15. Мотивация непользования услугами электронного здравоохранения  
Fig. 15. Motivation for not using eHealth services

в здравоохранении; отсутствие альтернативы в будущем побудит пользоваться 18 % респондентов. Также указывались такие мотивирующие факторы, как высокий уровень безопасности данных (13,9 % ответивших) и наличие обучения совершению необходимых действий и пользованию подобного рода услугами (9,6 % ответивших) (рис. 16).

Готовность к экономическому поведению в фитнес секторе электронного здравоохранения также невысока. Датчиками (так называемыми трекерами) пользуется лишь 23,1 % респондентов, принявших участие в опросе.

Причинами отсутствия опыта использования (1462 ответа) пульсометрами, умными браслетами, шагомерами были указаны: неосведомленность («впервые о таких слышу») – 29,1 % респондентов; слабая функциональность подобных приборов, их позиционирование как аксессуаров – 22,6 % респондентов; наличие заинтересованности в приобретении, но «пока не собрался» – 22,4 % респондентов; использование приложений на смартфоне – 20,2 % респондентов; использование профессиональных датчиков – 1,5 % респондентов (рис. 17).

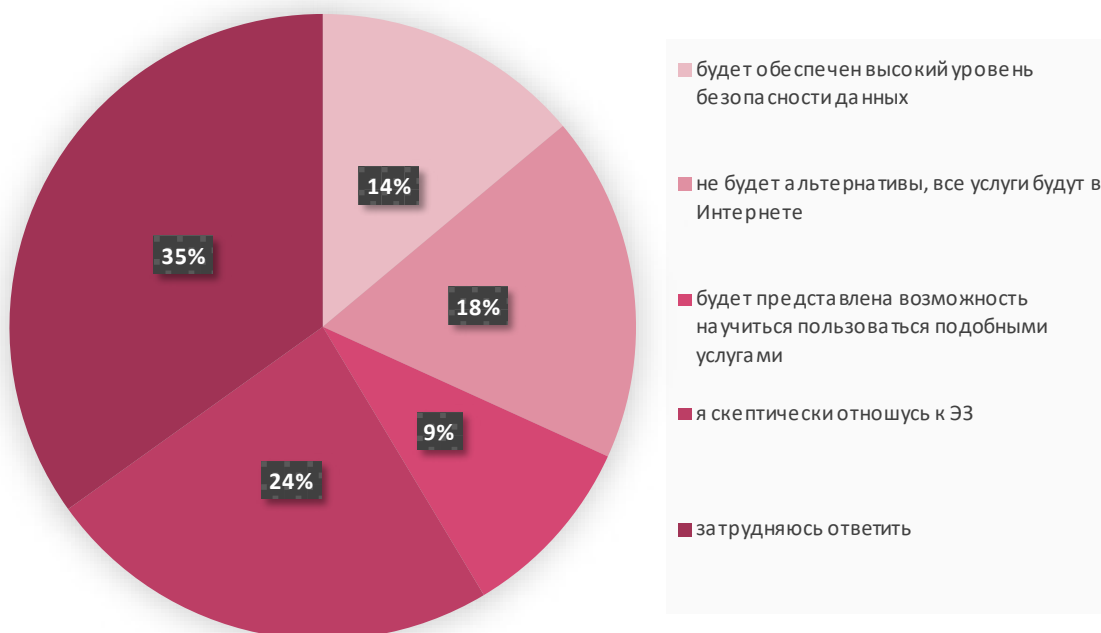


Рис. 16. Латентные потребности онлайн-пользователей  
Fig. 16. The latent needs of online users

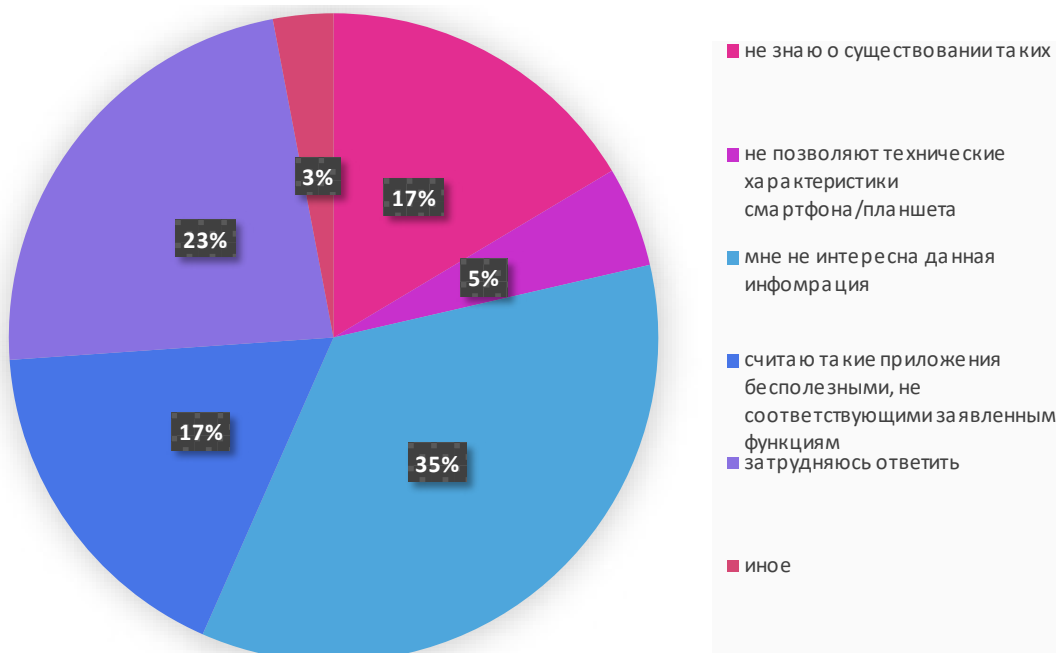


Рис. 17. Латентные потребности потенциальных пользователей приложений для здоровья и фитнеса  
Fig. 17. The latent needs of potential users of applications for health and fitness

Приложениями для здоровья и фитнеса для смартфонов пользуется несколько большее количество ответивших – 32,9 % респондентов.

Причинами отказа от использования приложений указаны: отсутствие интереса к подобной информации (пульс, количество шагов и пр.) – 35,2 %; бесполезность подобной информации – 17,3 %; слабые технические характеристики смартфона – 5 %; незнание о существовании таких приложений – 16,4 %; затруднились ответить 23,1 % респондентов (рис. 17).

**Заключение.** Таким образом, исследование демонстрирует слабую готовность белорусских потребителей к приобретению и использованию товарами и услугами на электронных рынках в целом и на рынке электронного здравоохранения в частности. Факторами, стимулирующими активность потребителей на электронных рынках, респондентами указываются такие внешние побудительные стимулы, как законодательное регулирование в области обеспечения

сохранности личных данных, обеспечение безопасности передачи данных, отсутствие альтернатив предоставления услуг. К группе внутренних сдерживающих факторов относятся: беспокойство о безопасности личных данных, отсутствие знаний по личной информационной безопасности и о диагностических телекоммуникационных возможностях систем ЭЗ, отсутствие опыта экономического поведения на электронных рынках, устоявшиеся пользовательские привычки в области здравоохранения.

Резюмируя изложенное выше, считаем возможным дать следующие практические рекомендации:

1. повышение ИКТ-грамотности населения;
2. внедрение институциональных норм, связанных с защитой личных данных, владением персональных тайн, закрытой информации, доступ к которым осуществляется через сеть Интернет;
3. внедрение институциональных норм, связанных с идентификацией в сети Интернет.

## Список литературы

1. Концепция развития электронного здравоохранения Республики Беларусь на период до 2022 года Утверждена Приказом Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 20.03.2018 г. № 244. / Министерство здравоохранения Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://belcmt.by/ru/sanitation>. – Дата доступа: 05.03.2019.
2. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2016-2020 годы, утвержденная Указом Президента Республики Беларусь от 15 декабря 2016 года № 466 / Министерство экономики Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <https://www.economy.gov.by/uploads/files/Programma-2020.pdf>. – Дата доступа: 05.03.2019.
3. Проект «Модернизация системы здравоохранения Республики Беларусь» РНПЦ МТ. [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: [http://www.belcmt.by/ru/WB\\_Project](http://www.belcmt.by/ru/WB_Project). – Дата доступа: 05.03.2019.
4. What is e-health? / The National Center for Biotechnology Information [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1761894/>. – Дата доступа: 05.03.2019.
5. Электронное здравоохранение / Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://www.who.int/topics/ehealth/ru/> – Дата доступа: 05.03.2019.
6. eHealth : Digital health and care / European Commission [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: [https://ec.europa.eu/health/ehealth/overview\\_en](https://ec.europa.eu/health/ehealth/overview_en). – Дата доступа: 05.03.2019.
7. Беляцкая, Т.Н. Диффузия цифровых технологий / Цифровая трансформация экономики и промышленности: проблемы и перспективы / Под редакцией А.В. Бабкина. Санкт-Петербург, 2017. С. 158-178. DOI: 10.18720/IEP/2017.4/8
8. Электронное здравоохранение / РНПЦ МТ [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <http://belcmt.by/ru/sanitation>. – Дата доступа: 05.03.2019.
9. Беляцкая, Т.Н. Экономика информационного общества : учеб.-метод. пособие / Т.Н. Беляцкая. – Минск : БГУИР, 2016. – 200 с. : ил.
10. Маклакова, О.М. Исследование электронных рынков Республики Беларусь // Гуманитарно-экономический вестник: 2018, №3/4, С. 177-182
11. Исследование электронных рынков Республики Беларусь / Кафедра менеджмента БГУИР [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <https://docs.google.com/forms/d/1DSRnQmFosd65cwPapNxwiRj20SkswcfnRTakFCxDAho/edit>. – Дата доступа: 02.02.2019
11. Лапицкий, В.А., Том И.Э. Электронное здравоохранение Беларуси: состояние и перспективы // Информатика: 2018. Т.15 Прикладные информационные технологии, № 4. С.7-15
12. The Growing Value of Digital Health / IQVIA [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: [https://www.iqvia.com/institute/reports/the-growing-value-of-digital-health?utm\\_source=twitter&utm\\_campaign=&utm\\_medium=social&utm\\_content=042820181001&sf87412648=1](https://www.iqvia.com/institute/reports/the-growing-value-of-digital-health?utm_source=twitter&utm_campaign=&utm_medium=social&utm_content=042820181001&sf87412648=1) – Дата доступа: 05.06.2019.
13. The Consumer Barometer / сGoogle [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <https://www.consumerbarometer.com/en/> – Дата доступа: 05.03.2018.

## References

1. Konceptsiya razvitiya elektronogo zdravoohraneniya Respubliki Belarus' na period do 2022 goda Utverzhdena Prikazom Ministerstva zdravoohraneniya Respubliki Belarus' ot 20.03.2018 g. № 244 [The concept of e-health development of the Republic of Belarus for the period up to 2022 Approved by the Order of the Ministry of Health of the Republic of Belarus of 20.03.2018 No. 244]. Available at: <http://belcmt.by/ru/sanitation> (accessed: 05.03.2019) (in Russian).
2. Programma social'no-ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Belarus' na 2016-2020 gody, utverzhennaya Ukazom Prezidenta Respubliki Belarus' ot 15 dekabrya 2016 goda № 466 [The program of socio-economic development of the Republic of Belarus for 2016-2020, approved by Decree of the President of the Republic of Belarus of December 15, 2016 No. 466]. Available at: <https://www.economy.gov.by/uploads/files/Programma-2020.pdf> (accessed: 05.03.2019) (in Russian).
3. Proekt «Modernizatsiya sistemy zdravoohraneniya Respubliki Belarus'» RNPC MT [Project "Modernization of the Health System of the Republic of Belarus" RSPC MT]. Available at: [http://www.belcmt.by/ru/WB\\_Project](http://www.belcmt.by/ru/WB_Project) (accessed: 05.03.2019) (in Russian).
4. What is e-health? / The National Center for Biotechnology Information. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1761894/> (accessed: 05.03.2019)
5. Elektronnoe zdravoohranenie [EHealth]. Available at: <https://www.who.int/topics/ehealth/ru/> (accessed: 05.03.2019) (in Russian).
6. eHealth: Digital health and care. Available at: [https://ec.europa.eu/health/ehealth/overview\\_en](https://ec.europa.eu/health/ehealth/overview_en) (accessed: 05.03.2019).
7. Belyackaya T.N. Diffusion of digital technology Cifrovaya transformatsiya ekonomiki i promyshlennosti: problemy i perspektivy [Digital transformation of the economy and industry: problems and prospects], 2017. С. 158-178. DOI: 10.18720/IEP/2017.4/8 (In Russian)
8. Elektronnoe zdravoohranenie [eHealth]. Available at: <http://belcmt.by/ru/sanitation> (accessed: 05.03.2019) (in Russian)
9. Belyackaya T.N. Ekonomika informatsionnogo obshchestva : ucheb.-metod. posobie [Economics of the Information Society: studies.-Method. Allowance]. Minsk : BSUIR, 2016. – 200 p. (In Russian)
10. Maklakova O.M. Research of electronic markets of the Republic of Belarus Gumanitarno-ekonomicheskij vestnik [Humanitarian Economic Bulletin], 2018, no. 3/4 pp 177-182. (In Russian)
11. Lapicky V.A., Tom, I.E. E-health of Belarus: current state and perspective Informatika [Computer science], 2018, T.15 Prikladnyye informatsionnyye tekhnologii [Applied Information Technologies], no 4 pp 7-15. (In Russian)
12. The Growing Value of Digital Health. Available at: [https://www.iqvia.com/institute/reports/the-growing-value-of-digital-health?utm\\_source=twitter&utm\\_campaign=&utm\\_medium=social&utm\\_content=042820181001&sf87412648=1](https://www.iqvia.com/institute/reports/the-growing-value-of-digital-health?utm_source=twitter&utm_campaign=&utm_medium=social&utm_content=042820181001&sf87412648=1) (accessed: 05.06.2019)
13. The Consumer Barometer. Available at: <https://www.consumerbarometer.com/en/> (accessed: 15.03.2018) digital economy]. Available at: <https://cloud.tencent.com/developer/news/338580> (accessed: 19.11.2018) (in Chinese).

*Received: 10.05.2019*

*Поступила: 10.05.2019*



## Научно-методологические аспекты управления формированием и развитием инновационной среды «Университета 3.0»

**Ю. Г. Алексеев**, к. т. н., генеральный директор, проректор по производственной деятельности

E-mail: [y.aliakseyeu@bntu.by](mailto:y.aliakseyeu@bntu.by).

Республиканское инновационное унитарное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», ул. Сурганова, д. 37/1, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

**Н. А. Дудко**, начальник Межвузовского центра маркетинга НИР

E-mail: [dudko@park.bntu.by](mailto:dudko@park.bntu.by)

Республиканское инновационное унитарное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», ул. Сурганова, д. 37/1, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

**В. Т. Минченя**, к. т. н., профессор кафедры «Конструирование и производство приборов»

E-mail: [vlad\\_minch@mail.ru](mailto:vlad_minch@mail.ru).

Белорусский национальный технический университет, ул. Якуба Коласа, д. 22, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

**С. В. Харитончик**, д. т. н., ректор

E-mail: [rector@bntu.by](mailto:rector@bntu.by).

Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, д. 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В статье проанализирован опыт Белорусского национального технического университета (БНТУ) по формированию и развитию инновационной среды на примере создания высокотехнологичного производства изделий медицинского назначения. Выделены системообразующие элементы, факторы и механизмы развития инновационной среды учреждения высшего образования, функционирующего на основе модели «Университет 3.0». Рассмотрены миссии, функции, перспективные технологии и форматы реализации образовательной, научно-исследовательской и предпринимательской деятельности как подсистем внутренней инновационной среды учреждения высшего образования, а также направления взаимодействия с подсистемами внешней инновационной среды – государственного регулирования, финансирования, рынка. На основе системного подхода показана специфика эффективной инновационной среды, которая проявляется в синергии от взаимодействия ее элементов. Предложен механизм, обеспечивающий функциональную скоординированность между всеми видами деятельности «Университета 3.0» и субъектами внешней среды для достижения единой миссии.

**Ключевые слова:** инновационное развитие, инновационная среда, образование, научные исследования, предпринимательство, рынок, университет 3.0

**Для цитирования:** Алексеев, Ю. Г. Научно-методологические аспекты управления формированием и развитием инновационной среды «Университета 3.0» / Ю. Г. Алексеев, Н. А. Дудко, В. Т. Минченя, С. В. Харитончик // Цифровая трансформация. – 2019. – № 2 (7). – С. 29–35. <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2019-2-29-35>



© Цифровая трансформация, 2019

## Scientific and Methodological Aspects to the Formation and Development Management of «University 3.0» Innovation Environment

**Y. G. Aliakseyeu**, Candidate of Science (Technology), General Director, Vice-Rector for Production Activity,

E-mail: [y.aliakseyeu@bntu.by](mailto:y.aliakseyeu@bntu.by).

Republican Innovative Unitary Enterprise «Science and Technology

Park of BNTU «Polytechnic», 37/1 Surganova Str., 220013 Minsk, Republic of Belarus

**N. A. Dudko**, Head of the Inter-University R&D Marketing Centre

E-mail: dudko@park.bntu.by

Republican Innovative Unitary Enterprise «Science and Technology Park of BNTU «Polytechnic», 37/1 Surganova Str., 220013 Minsk, Republic of Belarus

**V. T. Minchenya**, Candidate of Science (Technology), Professor of the Department «Design and Production of Devices»

E-mail: vlad\_minch@mail.ru

Belarusian National Technical University, 65 Independence Ave., 220013 Minsk, Republic of Belarus

**S. V. Kharytonchyk**, Dr. Sc. (Technology), Rector

E-mail: rector@bntu.by

Belarusian National Technical University, 65 Independence Ave., 220013 Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The article analyzes the best practices of the Belarusian National Technical University on the development of an innovation environment by the example of establishing high-tech medical production. The system-forming elements, factors and mechanism for the improvement of the innovation environment of a higher education institution operating on the «University 3.0» model base are highlighted. The missions, functions, promising technologies and formats for the implementation of educational, research and entrepreneurial activities as subsystems of the internal innovation environment of a higher education institution and directions of interaction with the external innovation environment subsystems (government regulation, financing facility and the market) are considered. The article based on a systematic approach shows the specificity of the effective innovation environment which is manifested in synergy of its elements interaction. The mechanism ensuring functional coordination between all the «University 3.0» activities and the external environment subjects in order to achieve a common mission have been proposed.

**Key words:** innovation development, innovation environment, education, scientific research, entrepreneurship, market, university 3.0

**For citation:** Aliakseyeu Y. G., Dudko N. A., Minchenya V. T., Kharytonchyk S. V. Scientific and Methodological Aspects to the Formation and Development Management of «University 3.0» Innovation Environment. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2019, 2 (7), pp. 29–35 (in Russian). <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2019-2-29-35>

© Digital Transformation, 2019

Сегодня сектор высшего образования в Беларуси находится в фазе интенсивной трансформации. С одной стороны, она характеризуется внедрением модели «Университет 3.0» и связанной с ней интеграцией трех миссий университета: образования, научных исследований и предпринимательства. С другой стороны, продолжается внутренний поиск решений, обеспечивающих оптимальное управление происходящими изменениями.

Здесь важно, прежде всего, отметить, что обеспечение единства трех указанных миссий означает, что трансформация не может быть достигнута изменением какого-то отдельного вида деятельности или локального аспекта. Предполагается преобразование университета как системы, т.е. изменения его миссии, функций, набора видов деятельности, применяемых технологий, организационных форм и т.д. [1].

Кроме того, происходящие масштабные социально-экономические и социокультурные изменения стимулируют университет обновлять свою миссию и функции по отношению к обществу. Эта миссия может заключаться в его развитии, создании новых видов деятельности, технологических решений и стратегий, формировании человеческого и интеллектуального капитала страны [1;2]. Согласно концептуальным подходам к развитию системы образования Республики Беларусь до 2020 года и на перспективу до 2030 года планируется преобразование ведущих университетов в научно-образовательно-производственные кластеры, направленные на системное решение вопросов инновационного развития отраслей и межотраслевых комплексов [3].

Более чем 26-летний опыт развития инновационной деятельности в Белорусском нацио-

нальном техническом университете (в 1992 году был создан Научно-технологический парк БНТУ «Политехник») свидетельствует о том, что деятельность инноваторов должна так или иначе протекать в инновационной среде, которая включает характеристики всех видов, объектов и субъектов деятельности, участвующих в процессе создания и внедрения инноваций [4]. Таким образом, создание инновационной среды имеет определяющее значение для инновационного развития всех видов деятельности.

Термин «инновационная среда» впервые в 1980-х годах использовала команда европейских ученых в составе М. Кастельса, П. Холла, Ф. Айдало. Изначально она рассматривалась в качестве средства анализа системных факторов организации инновационной деятельности субъектов экономики с целью развития новых рынков и формирования нового производства и определялась как «специфическая совокупность отношений между производством и менеджментом, направленных на генерирование нового знания, новых процессов и новых продуктов». По мнению авторов концепции, специфику инновационной среды определяет именно ее способность генерировать синергию, т. е. добавленная стоимость получается не из кумулятивного эффекта элементов, присутствующих в среде, но из их взаимодействия [5].

Анализ современной отечественной и зарубежной литературы позволяет сделать вывод о том, что ученые рассматривают инновационную среду чаще в контексте развития региональной инновационной системы, применяя социологический, системный или территориальный подходы. В то же время существует интерпретация инновационной среды как комплексного понятия, отражающего взаимосвязь изменяющихся ресурсов и факторов как гармонизированных элементов и динамизм системы, связанный с подвижностью внешних границ, оказывающих влияние на инновационную деятельность и участников инновационного процесса [6].

Исходя из этого, систематизация подходов к определению инновационной среды университета, ее элементов, факторов и механизмов развития является концептуально важным вопросом для реализации модели «Университет 3.0» и достижения им миссии проактивного генератора новых знаний, технологий, специалистов с инновационными компетенциями, новых рыночных сервисов.

Развитие с 2013 года в Белорусском национальном техническом университете высокотехно-

логичного производства изделий медицинского назначения является наглядным примером эффективно спроектированной системы управления, которая позволяет достичь функциональной согласованности и скоординированности между всеми видами деятельности и субъектами внешней среды. Создание отечественного производства медицинских изделий в области кардиохирургии, онкологии, стоматологии, травматологии и ортопедии способствует не только развитию отрасли медицинских изделий в Беларуси и снижению государственных издержек на импорт аналогичных товаров, но также позволяет гибко реагировать на заказы медицинских учреждений, изготавливать нестандартные имплантаты и сокращать сроки ожидания операций для пациентов [7]. Рассмотрим методологию формирования и механизм управления инновационной средой, когда совокупной (единой) миссией БНТУ как института развития общества становится инновационное развитие отрасли медицинской техники и оборудования Беларуси. На рисунке 1 представлена структура инновационной среды БНТУ, отражающая состав и функции элементов, а также систему их взаимоотношений.

Инновационная среда как система включает следующие подсистемы: образовательной деятельности, научно-исследовательской деятельности, предпринимательской деятельности, которые являются внутренним уровнем инновационной среды «Университета 3.0», а также государственное регулирование деятельности учреждений высшего образования, рынок, финансовый сектор, составляющие внешний уровень инновационной среды. Основным фактором эффективного функционирования каждой из составляющих внутренней инновационной среды является определение отдельной миссии в разрезе совокупной, а также соответствующих механизмов её достижения. Так, сегодня образовательная деятельность должна быть нацелена на подготовку практикоориентированных специалистов с высокими инновационными компетенциями, что может быть достигнуто обучением через исследования и кейс-проекты. В научно-исследовательской деятельности, задача которой состоит в создании новых технологий, необходимо применение обновленных подходов при инициации исследовательских проектов и формировании исследовательских команд. Подсистема предпринимательской деятельности становится материально-технической и сервисной базой для бизнес-инкубации

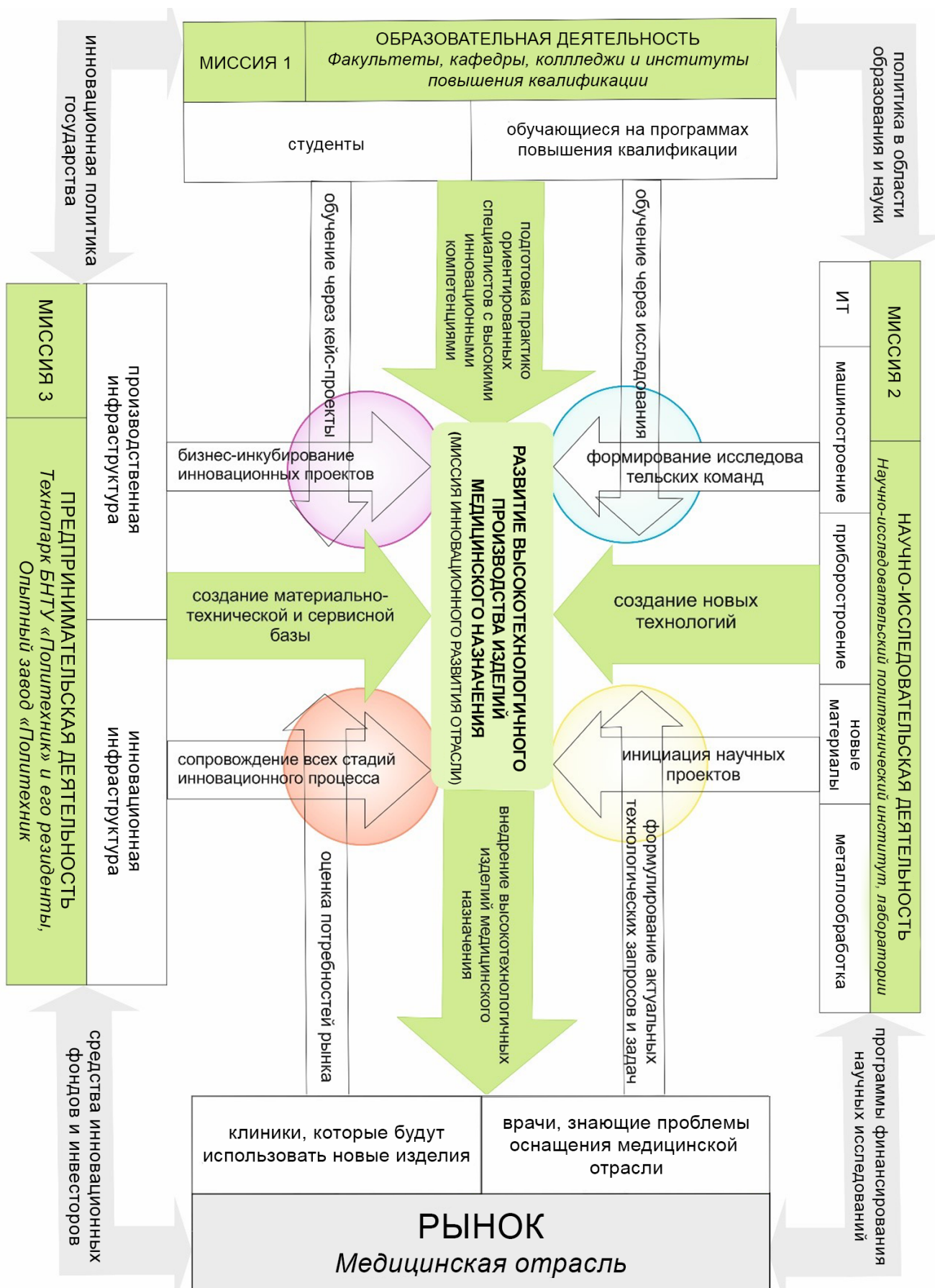


Рис. 1. Структура инновационной среды БНТУ (на примере развития высокотехнологичного производства изделий медицинского назначения)

Fig.1. Structure of the BNTU innovation environment (by the example of the development of high-tech medical production)



инновационных проектов и сопровождения инновационных процессов. Развитие внутренней инновационной среды и её результативность зависят от существующих связей с подсистемами внешней инновационной среды. Установление связей с субъектами рынка (в рассматриваемом случае – с медицинской отраслью) позволяет получать актуальные технологические запросы и задачи от практикующих врачей для дальнейших совместных исследований и разработок, а развитие кооперационных связей с клиниками дает возможность получать реальную оценку потребности в производимых изделиях и обратную связь об их применении.

При этом критически важной для университета остается возможность привлекать финансирование на всех стадиях инновационного процесса, особенно когда речь идет о развитии социально значимого импортозамещающего производства. Развитость финансовой подсистемы внешней инновационной среды, которая включает как государственные программы, финансирующие научные исследования, так и инновационные и инвестиционные фонды, выделяющие средства на реализацию инновационных проектов, также является одним из важнейших факторов реализации миссии по инновационному развитию отрасли. В рамках инновационных проектов Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2016–2020 годы в области медицины в БНТУ будет создана новая уникальная для стран ЕАЭС площадка по выпуску изделий медицинского назначения и медицинской техники, сертифицированная по международному стандарту ISO 13485 [8].

Поскольку реализация инновационных проектов затрагивает целый ряд работ, связанных с техническим перевооружением, модернизацией и увеличением производственных мощностей, приобретением оборудования, приборов и других товарно-материальных ценностей для этих работ, внешнюю инновационную среду имеет смысл рассматривать более глубоко с точки зрения необходимости развития связей с поставщиками и более широкого использования механизмов субконтрактации с другими участниками рынка, а также привлечения дополнительных финансовых ресурсов в развитие отрасли. Эта задача может быть решена созданием отраслевого инновационно-промышленного кластера по производству изделий медицинского назначения.

В рамках данной работы мы хотим акцентировать внимание на одном из ключевых факторов формирования и развития инновационной среды «Университета 3.0»: способности отдельных подсистем действовать согласованно и синхронизировать усилия на достижении единой миссии. Как видно на рисунке 1, существуют точки пересечения функций подсистем инновационной среды, которые при отсутствии взаимодействия образуют разрывы в инновационном процессе [9]. Решение этой проблемы – в использовании механизма, обеспечивающего скоординированность и неразрывность всех видов деятельности:

1) формировании пула актуальных научных проектов по запросу рынка под имеющуюся научно-производственную базу (ключевые участники: подсистемы рыночной и научно-исследовательской деятельности);

2) сопряжении образовательных программ и научных проектов, которые через совместные исследования обеспечивают развитие инновационных компетенций студентов (ключевые участники: подсистемы научно-исследовательской и образовательной деятельности);

3) подготовке специалистов под конкретные нужды инновационного производства через обучение в реальных проектах (ключевые участники: подсистемы научно-исследовательской и предпринимательской деятельности);

4) обеспечении коммерциализации созданных высокотехнологичных изделий за счет материально-технического, организационно-методического и маркетингового обеспечения всех стадий инновационного процесса (ключевые участники: подсистемы предпринимательской деятельности и рынка).

Применение вышеуказанного механизма позволило в нашем примере по созданию высокотехнологичного производства изделий медицинского назначения:

1. сформировать «задачник от медицинского производства» с технологическими запросами, требующими решения для кафедр и лабораторий;

2. сформировать кафедрами и лабораториями совместные проектные заявки на проведение научных исследований в соответствии с запросами из «задачника» и с участием Технопарка как предпринимательской организации;

3. апробировать результаты научных исследований, проводить эксперименты в рамках реализуемых инновационных проектов с участием обучающихся;

4. внедрять результаты в производство, совершенствовать и расширять имеющееся производство за счет новых собственных технологий.

Сегодня на базе Научно-технологического парка БНТУ «Политехник» над разработками медицинских изделий и оборудования для проведения сердечно-сосудистых операций, операций по остеосинтезу на коленном суставе, лечения кожных онкологических заболеваний и созданием высокопрочных пломбирочных соединений в стоматологии занимается инженеринговая группа технологов, конструкторов, программистов, врачей из РНПЦ «Кардиология», БелМАПО, РНЦП травматологии и ортопедии, в которую, в том числе, входят студенты, магистранты и аспиранты приборостроительного, машиностроительного, механико-технологического факультетов и факультета информационных технологий и робототехники БНТУ, учреждений здравоохранения. Разработки ведутся совместно с инновационным центром по разработке и производству медицинской техники Филиала БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт». За время его работы были защищены свыше 15 диссертаций на соискание степени кандидата в области медицинских и технических наук и одна на соискание доктора медицинских наук по технологиям лечения с использованием разработанных в БНТУ медицинских изделий и оборудования. Налажено ежегодное прохождение практики для более 200 студентов, а также реализованы програм-

мы стажировки для зарубежных докторантов из Германии, КНР, Литвы. Разработанные технологии и методики включены в учебные программы на приборостроительном и механико-технологическом факультетах. В рамках реализации проекта получено более 25 патентов на изобретения и полезную модель и 13 регистрационных удостоверений Министерства здравоохранения Республики Беларусь, разрешающих производство изделий медицинской техники. Ежегодно в учреждения здравоохранения поставляются медицинские изделия на сумму около 400 тыс. белорусских рублей. Для масштабирования производства и более широкого выхода в том числе на зарубежные рынки зарегистрировано ООО «Политехмед», учредителями которого стали БНТУ, Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», РНПЦ «Кардиология».

Таким образом, важным результирующим показателем инновационной среды, сформированной в Белорусском национальном техническом университете, является создание благоприятных условий для проведения междисциплинарных исследований по конкретным запросам рынка, сопряженных с процессами образования и бизнес-инкубирования инновационных проектов. Предложенная методология применима в условиях кластеризации экономики, в рамках которой концепция «Университет 3.0» в своем стремлении к созиданию и инновационности интегрирует функционал и ресурсы основополагающих компонентов: образования – науки – бизнеса.

## Список литературы

1. Ефимов, В. С.. Фазовые трансформации и будущее университетов / В. С. Ефимов, А. В. Лаптева // Университетское управление: практика и анализ. – 2016. - №106 (6). – С.146-158.
2. Касперович С. А. О совершенствовании деятельности учреждений высшего образования на основе модели «Университет 3.0» / С.А. Касперович // Вышэйшая школа. – 2018. – № 2. – С. 5–7.
3. Гайсенюк, В. А. Отраслевые кластеры как фактор развития системы высшего образования / В. А. Гайсенюк, И. В. Титович // Вышэйшая школа. – 2018. – № 3. – С. 8–10.
4. Харитончик, С.В. Развитие вузовской инфраструктуры коммерциализации знаний: следующие шаги / С. В. Харитончик, Ю. Г. Алексеев, Н. А. Дудко // Вышэйшая школа. – 2018 – №6 (128). – С.8-11.
5. Кастельс, М. Информационная эпоха: экономика, общество и культура / М. Кастельс; пер. с англ. под науч. ред. О. И. Шкаратана. — М. : ГУ ВШЭ, 2000. — 606 с.
6. Веснина, О.О. Инновационная среда: подходы к определению, сущность, структура / О. О. Веснина // Вестник Челябинского государственного университета. - 2017. № 2 (398). –Экономические науки. Вып. 56. – С. 19—24.
7. Минченя, В. Высокие технологии на службе отечественной медицины / В. Минченя, Ю. Алексеев, И. Ольгомец, А. Автушко // Наука и инновации. . – 2018. - № 5 (183). - С. 21-23.
8. Шумилин, А. Г. Инновационное предпринимательство — один из приоритетов государственной инновационной политики Республики Беларусь на 2016–2020 годы / А. Г. Шумилин // Проблемы управления. 2018. № 2. С. 4–8.
9. Алексеев, Ю. Г. Университет 3.0: методические подходы к управлению научно-инновационным развитием / Ю. Г. Алексеев, Н.А. Дудко // Цифровая трансформация. – 2018. – № 3 (4). – С. 14–19.



## References

1. Efimov V.S., Lapteva A.V. Fazovyye transformatsii i budushcheye universitetov [Phase Transformations and the Future of Universities] // University management: practice and analysis. - 2016 - №106 (6) 2016 - pp.146-158. (in Russian).
2. Kasperovich, S.A. O sovershenstvovanii deyatel'nosti uchrezhdeniy vysshego obrazovaniya na osnove modeli «Universitet 3.0» [About improving the activities of higher education institutions based on the «University 3.0» model] // Higher School. - 2018. - № 2. - pp. 5–7. (in Russian).
3. Gaisenok V.A, Titovich I.V. Otrasleyvyye klasteri kak faktor razvitiya sistemy vysshego obrazovaniya [Industry Clusters as a Factor in the Development of the Higher Education System] // Higher School. - 2018. - № 3. - pp. 8–10. (in Russian).
4. Kharytonchik S.V. Razvitiye vuzovskoy infrastruktury kommertsializatsii znaniy: sleduyushchiye shagi [Development of the University Infrastructure for the Knowledge Commercialization: the Next Steps] / Kharytonchik S.V., Alekseev Yu.G., Dudko N.A. // Higher School. - 2018 - №6 (128) '2018. - pp. 8-11. (in Russian).
5. Castells M. Iformatsionnaya epokha: ekonomika, obshchestvo i kul'tura [Information Age: Economy, Society and Culture] / M. Castells; translation from English under the scientific ed. O. I. Shkaratan. - M.: State University Higher School of Economics, 2000. - 606 p. (in Russian).
6. Vesnina O.O. Innovatsionnaya sreda: podkhody k opredeleniyu, sushchnost', struktura [Innovative Environment: Approaches to Definition, Essence, and Structure]. Bulletin of Chelyabinsk State University. 2017. No. 2 (398). Economics. Issue 56. pp. 19-24. (in Russian).
7. Minchenya V. Vysokiye tekhnologii na sluzhbe otechestvennoy meditsiny. [High Technologies in the Service of Domestic Medicine] / V. Minchenya, Y. Alekseev, I. Olgomets, A. Avtushko // Science and Innovation. - Minsk: Belarusian Science Publishing House. - 2018. - № 5 (183). - pp. 21-23. (in Russian).
8. Shumilin, A. G. Innovatsionnoye predprinimatel'stvo — odin iz prioritetrov gosudarstvennoy innovatsionnoy politiki Respubliki Belarus' na 2016–2020 gody [Innovation Entrepreneurship is One of the Priorities of Public Innovative Policy of the Republic of Belarus (2016–2020)]// Problems of Management. - 2018. - № 2.- pp. 4–8. (in Russian).
9. Alekseev Yu. G., Dudko N.A. Universitet 3.0: metodicheskiye podkhody k upravleniyu nauchno-innovatsionnym razvitiyem [University 3.0: Methodical Approaches to the Scientific and Innovative Development Management]// Digital Transformation. - 2018. - № 3 (4). - pp. 14-19. (in Russian).

*Received: 17.06.2019*

*Поступила: 17.06.2019*

## Безопасность информационно-коммуникационных технологий в контексте устойчивого развития социума

**В. А. Артамонов**, д. т. н., профессор, академик МАИТ,  
Республика Беларусь, рег. в ООН

E-mail: artamonov@itzashita.ru

МНОО «Международная Академия Информационных Технологий»,  
ул. Сурганова, д. 6, 220012, г. Минск, Республика Беларусь

**Е. В. Артамонова**, к. т. н., член МАИТ, Республика Беларусь,  
рег. в ООН

E-mail: admin@itzashita.ru

МНОО «Международная Академия Информационных Технологий»,  
ул. Сурганова, д. 6, 220012, г. Минск, Республика Беларусь

**Л. А. Кулак (псевдоним Антония Ильинская)**, д. ф. н., инженер,  
член МАИТ, США.

E-mail: anoniyau@yahoo.com

Авторская Лаборатория Образного Синтеза в составе МИГЭП при  
МНОО «Международная Академия Информационных Технологий»,  
ул. Сурганова, д. 6, 220012, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы развития социума в условиях смены финишного, перед 4-й промышленной революцией, технологического уклада, связанного с развитием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) как одного из катализаторов устойчивого прогресса в развитии социальных и производственных отношений современного общества. Констатируется, что прогресс в области производственных отношений и технологий развивается по экспоненциальному закону, согласно которому на временной шкале этого развития, наступает так называемая точка технологической сингулярности, когда становится непредсказуемым путь развития т.н. машинного интеллекта. Рассматриваются различные сценарии поведения и использования искусственного интеллекта (ИИ) и его средств машинного обучения (МО) в негативных целях порабощения социума. Вместе с тем, последние исследования математиков доказывают, что возможности ИИ оказываются небеспредельными. Подобно человеческому разуму, ИИ ограничен парадоксами теории множеств. В связи с этим в развитии и применении ИКТ необходимо осуществлять тот интегральный уровень слияния ИКТ с эволюционным развитием личности и социума, который бы не привёл к тому, что процесс мышления человека будет подавлен услугами технологических средств.

**Ключевые слова:** информационно-коммуникационные технологии (ИКТ), безопасность ИКТ, технологический уклад, промышленная революция, искусственный интеллект, машинное обучение, технологическая сингулярность, континуум-гипотеза, теория множеств, качество жизни, качество личности

**Для цитирования:** Артамонов, В. А. Безопасность информационно-коммуникационных технологий в контексте устойчивого развития социума/ В. А. Артамонов, Е. В. Артамонова, Л. А. Кулак// Цифровая трансформация. – 2019. – № 2 (7). – С. 36–45. <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2019-2-36-45>



© Цифровая трансформация, 2019

## Safety of Information and Communication Technologies in the Context of the Sustainable Development of Human Society.

**V. A. Artamonov**, Dr Sc. (Technology), Professor,  
the full member of IAIT, UN

E-mail: artamonov@itzashita.ru

International Scientific Public Union "International Academy  
of Information Technologies", 6 Surganova str., 220012, Minsk,  
Republic of Belarus

**E. V. Artamonova**, Candidate of Sciences (Technology),  
member of IAIT, Belarus, UN

E-mail: admin@itzashita.ru

International Scientific Public Union "International Academy  
of Information Technologies", 6 Surganova str., 220012, Minsk,  
Republic of Belarus

**L.A. Kulak (pen name Antoniya Ilyinskaya)**, Dr Sc. (Philosophy),  
MD in engineering, member of IAIT, USA

E-mail: anoniyau@yahoo.com

Author's Laboratory of Imaginary Synthesis as a part of MIHEP,  
International Scientific Public Union "International Academy  
of Information Technologies", 6 Surganova str., 220012, Minsk,  
Republic of Belarus

**Abstract.** The article deals with the development of human society under the conditions of change of the final technological pattern existing before the 4th industrial revolution. The change is associated with the development of information and communication technologies (ICT) as one of the catalysts of sustainable progress in the development of social and industrial relations in the modern society. It is stated that progress in the field of industrial relations and technologies developing conformity with the exponential law. At the same time, according to the law, the so-called point of technological singularity appears on the time scale of the development when the development path of what is referred to as machine intelligence becomes unpredictable. Various behavior scenarios and the use of artificial intelligence (AI), including its machine learning tools employed for the adverse purposes of enslaving human society, are considered. However, recent studies of mathematicians prove that the possibilities of AI are not unlimited. Like the human mind, AI is limited by the paradoxes of the theory of sets. In this regard, in the development and application of ICT, it is necessary to implement the integrated level of ICT fusion with the evolutionary development of personality and society that would not lead to the suppression of the human thought process by the services of technocratic means.

**Key words:** information and communication technologies (ICT), ICT safety, technological pattern, industrial revolution, artificial intelligence, machine learning, technological singularity, continuum hypothesis, theory of sets, quality of life, quality of personality

**For citation:** Artamonov V. A., Artamonova E. V., Kulak L. A. Safety of Information and Communication Technologies in the Context of the Sustainable Development of Human Society. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2019, 2 (7), pp. 36–45 (in Russian). <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2019-2-36-45>

© Digital Transformation, 2019

**Введение.** Понимая под социумом совокупность человеческих взаимоотношений, которые регулируются определенными нормами и правилами большой группы людей, имеющих общие взгляды, морально-нравственные ценности, традиции, историю и культуру, а также одни и те же политические и экономические устои, территорию проживания и общий менталитет, – можно констатировать, что определяющей доминантой такого социума является его устойчивое развитие. При этом под устойчивым развитием понимается процесс экономических и социальных изменений, при котором эксплуатация природных ресурсов, направление инвестиций, а также ориентация научно-технического развития общества и личности, институциональные изменения согласованы друг с другом и укрепляют нынешний и будущий потенциал для удовлетворения человеческих потребностей и устремлений. Во многом в этом понятии речь идёт о развитии научно-технического прогресса для обеспечения качества жизни людей.

Одна из характерных особенностей современного этапа мирового научно-технического прогресса связана с глобальной информационной революцией – стремительным развитием и повсеместным внедрением новейших ИКТ. Проникающая во все сферы жизнедеятельности государств, ИКТ расширяют возможности развития международного сотрудничества, формируют глобальное информационное и киберпространство, в котором информация приобретает свойства ценнейшего элемента национального достояния, его стратегического ресурса. Но вместе с этим прогресс в области ИКТ несёт потенциальные угрозы для устойчивого развития человечества. Рассмотрим подробнее данные угрозы и меры их противодействия.

**Основная часть.** Глобальным трендом развития современного социума являются такие инновации VI-го технологического уклада развития общественных отношений, как цифровая экономика, электронное правительство, крипто-

валюта, искусственный интеллект, беспилотный транспорт и др.

Вместе с тем становится очевидным, что наряду с положительными моментами такого процесса создается и реальная угроза использования достижений в информационной сфере (кибероружие) в целях, не совместимых с задачами поддержания мировой стабильности и безопасности, соблюдения принципов суверенного равенства государств, мирного урегулирования споров и конфликтов, неприменения силы, невмешательства во внутренние дела, уважения прав и свобод человека.

Таким образом, исходя из вышесказанного, безопасность общества в контексте устойчивого развития социума можно разделить на три большие группы: личную, общественную и государственную.

**Личная безопасность** – состояние защищённости человека от психологического, физического или иного насильственного посягательства.

**Общественная безопасность** – способность социальных институтов общества обеспечить его устойчивое, независимое, свободное и самостоятельное развитие и реализацию выбранного пути. Определяется уровнем и состоянием общественных отношений.

**Государственная безопасность** – система общественных и государственных гарантий, защищающих основные ценности, духовные и материальные источники жизнедеятельности, гражданских прав и свобод человека, защиту суверенитета, территориальной целостности и независимости от внешних и внутренних угроз.

Кратко рассмотрим, как соотносятся безопасность ИКТ и исходящие от них угрозы вышеупомянутым видам безопасности социума.

В основе безопасности ИКТ лежит деятельность по защите информации – обеспечению её конфиденциальности, доступности и целостности. В совокупности эти три ключевых принципа информационной безопасности (ИБ) именуется **триадой CIA**.

**Confidentiality** (с англ. – «конфиденциальность») – свойство информации быть недоступной или закрытой для неавторизованных лиц, сущностей или процессов;

**Integrity** (с англ. – «целостность») – свойство сохранения правильности и полноты активов;

**Availability** (с англ. – «доступность») – свойство быть доступным и готовым к использованию по запросу авторизованного субъекта.

Здесь и далее под информационной безопасностью мы будем понимать защищённость информации и поддерживающей инфраструктуры от случайных или преднамеренных воздействий естественного или искусственного характера, которые могут нанести неприемлемый ущерб субъектам информационных отношений будь то человек, общество или государство.

При этом важно помнить основополагающую парадигму ИБ: *безопасность — это не продукт, а процесс*, постоянный и непрерывный, состоящий в состоятельности потенциала нарушителя и системы защиты.

Кроме того, отдельной темой являются ситуации с нарушениями ИБ на объектах критической информационной инфраструктуры (КИИ), а также недопущение какой-либо компрометации в критической ситуации. К таким ситуациям относятся компьютерные атаки на критически важные объекты социальной и государственной инфраструктуры, природные, техногенные и социальные катастрофы, компьютерные сбои, физическое похищение и тому подобные угрозы.

**Трансформация промышленных революций.** Мир стоит на пороге четвёртой промышленной революции. И этот непреложный факт уже не вызывает практически никаких сомнений. Среди учёных теоретической экономики есть разные определения или признаки той или иной промышленной революции. Не вдаваясь в анализ строгости и достоверности классификации, остановимся на классической и в то же время рациональной – немецкой.

По немецкой классификации **Индустрия 1.0** сформировалась при широком распространении ткацкого станка и паровой машины в конце XVIII века.

**Индустрия 2.0** — в начале XX века при переходе к конвейеру.

**Индустрия 3.0** — в конце 70-х прошлого века вследствие компьютеризации и распространения станков с числовым программным управлением (ЧПУ).

**Индустрия 4.0**, или четвертая промышленная революция, сегодня пока только набирает обороты и заключается в развитии ИКТ, робототехники, ИИ, МО, дальнейшей цифровизации экономики, внедрении концепции «электронного правительства», электронных денег (криптовалюты), автоматизации производства и сферы услуг, расширении применения безлюдных технологий и транспорта, интернета вещей (IoT), развитию центров обработки данных (ЦОД) и «облачных вычислений».

Для каждого периода развития человечества характерна своя трансформация, которую можно описать как некую совокупность промышленных технологий, позволяющих создать определенный качественный скачок в росте производительности труда. Это определение вписывается в широко принятую концепцию смены технологических укладов, где трансформация на базе ИКТ является одним из этапов (рис.1). Кривая изменения экономического прогресса (роста производительности труда) отображается в виде S-образной кривой с периодами зарождения (медленного роста), активного роста и зрелости (замедления роста). Совокупность технологических инноваций приводит к смене одного уклада на другой. Каждый из этапов экономического прогресса на рисунке 1 (включая стадию ИКТ) можно разделить на более мелкие части, и в каждой выделить свои трансформирующие технологии. Разные специалисты предлагают свою периодизацию. В частности, по одной из них (рис.2) предлагается пять этапов, начиная от TCP/IP и заканчивая облачными технологиями. Выбирая более короткий период, например, эволюцию web-технологий, внутри него также можно выделить свои периоды (рис.3).

**Технологическая сингулярность.** При рассмотрении сути четвертой промышленной рево-

люции уместно рассмотреть концепцию технологической сингулярности.

*Технологическая сингулярность* – это гипотетический момент в будущем, когда технологическое развитие станет настолько стремительным, что экспоненциальный график (рис.4) технического прогресса станет практически вертикальным. Осмысление экспоненциальных технологий потребовало некоторого времени, прежде чем они получили полное признание всего за несколько лет. Этой тенденции следуют самые разные области, такие как, например, искусственный интеллект и машинное обучение в качестве одной из ветвей развития ИКТ, робототехника, здравоохранение, электро- и самоуправляемые автомобили, образование, трёхмерное печатание, промышленность и сельское хозяйство [1,2,3].

*Добро пожаловать в 4-ю промышленную революцию. Добро пожаловать в Экспоненциальный Век.* Эта концепция была предложена Вернором Винжем [1], который предположил, что если мы сумеем избежать гибели цивилизации до этого, то сингулярность произойдет из-за прогресса в области искусственного интеллекта, интеграции человека с ИКТ или других методов увеличения разума. Усиление разума, по мнению Винжа, в какой-то момент приведет к положительной обратной связи: более разумные системы могут со-

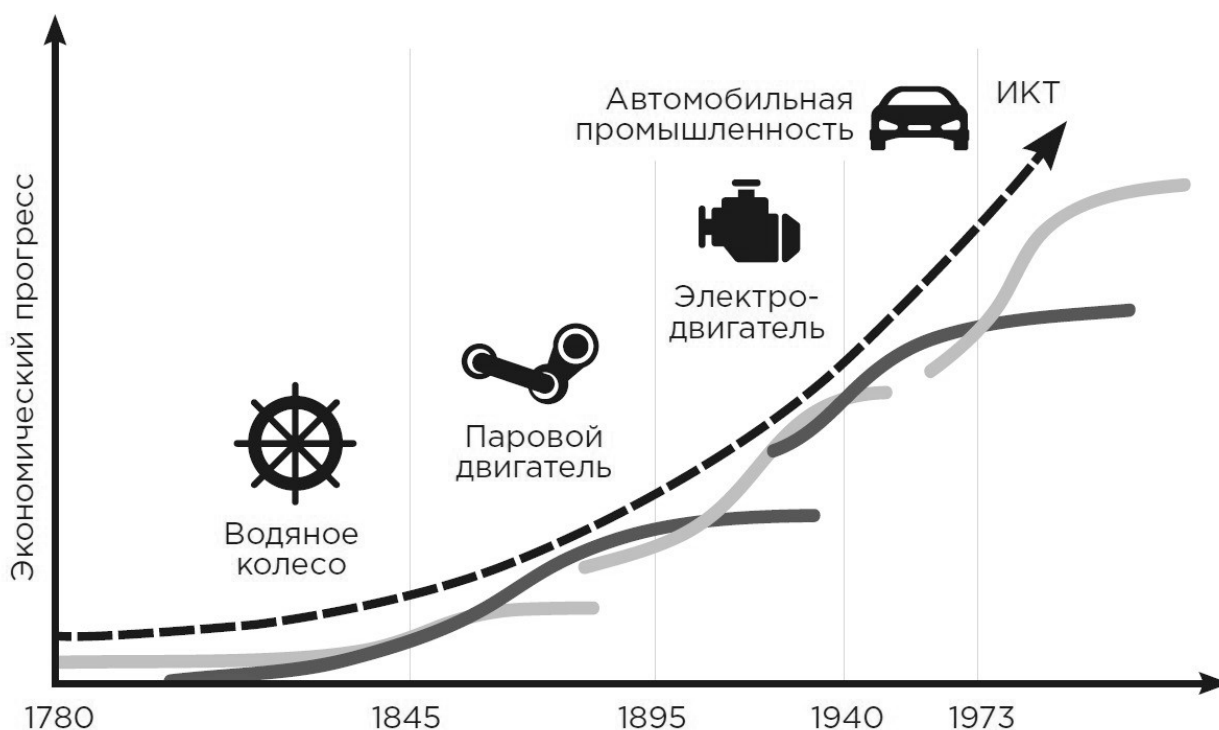


Рис. 1. Трансформирующие технологии и технологические уклады.

Источник: М. Hilbert, University of California.

Fig. 1. Transforming technologies and technological structures.

Source: M. Hilbert, University of California.



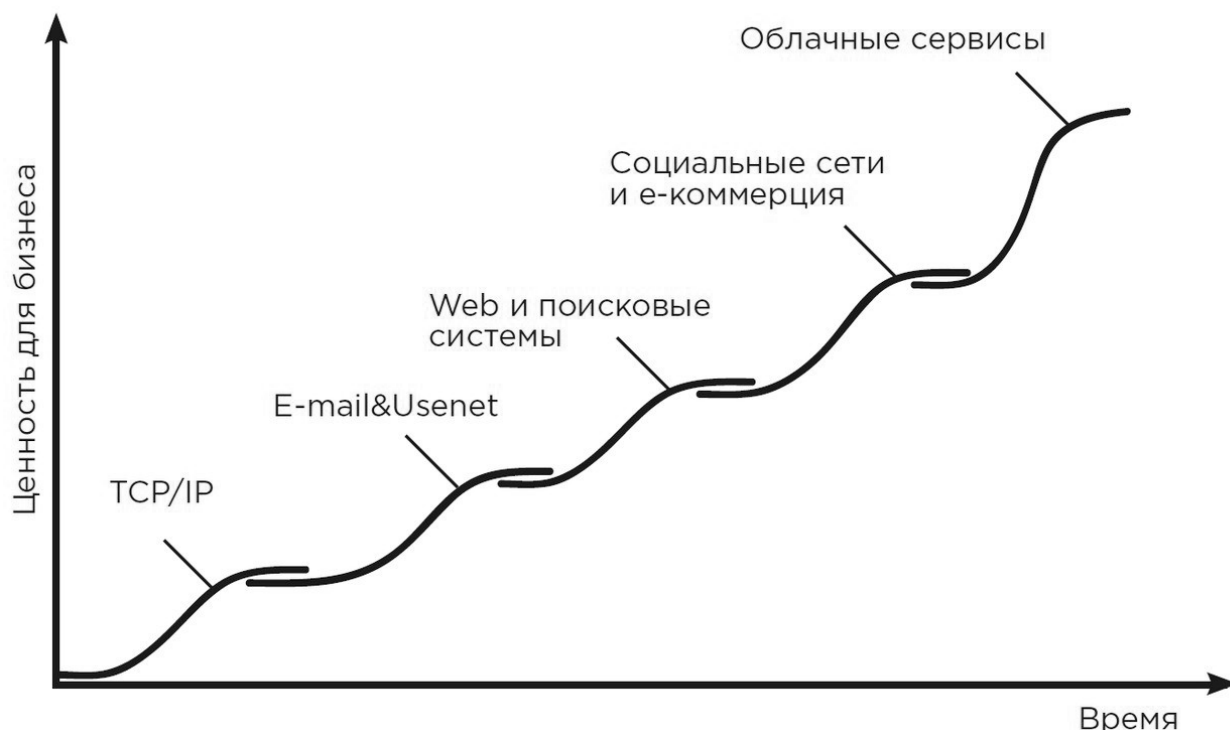


Рис. 2. Этапы в развитии ИКТ.  
 Источник: Сеиф Хардиди «История эволюции интернета» [4].  
 Fig. 2. Stages in ICT development.  
 Source: Seif Hardidi, "The history of the Internet evolution" [4].

здать еще более разумные и сделать это быстрее, чем первоначальные их конструкторы – люди. Эта положительная обратная связь скорее всего окажется столь сильной, что в течение очень короткого промежутка времени (месяцы, дни или даже всего лишь часы) мир преобразится больше, чем мы можем это представить, и внезапно окажется населен сверхразумными созданиями.

По мнениям некоторых учёных-футурологов [2;3] и того же Винжа, придерживающихся концепции сингулярности, она должна наступить около 2030 года и даже по самому пессимистическому сценарию не позднее середины этого века, т.е. в 2050 году.

Если проэкстраполировать закон Мура (наблюдение, сделанное в 1965 году Гордоном Муром, одним из основателей корпорации Intel, что количество транзисторов на квадратный дюйм в интегральных схемах увеличивается двукратно каждые два года, начиная с изобретения интегральных схем), окажется, что примерно в то же время вычислительная мощность компьютеров сравнится с головным мозгом человека. Сторонники теории технологической сингулярности считают, что, если возникнет принципиально отличный от человеческого разум (постчеловек), дальнейшую судьбу цивилизации невозможно

предсказать, опираясь на человеческую логику. С понятием сингулярности часто связывают идею о невозможности предсказать, что будет после нее. *Вопрос предсказуемости важен, поскольку, не имея возможности предсказать хотя бы некоторые последствия наших действий, нет никакого смысла в том, чтобы пытаться направить развитие в желательном направлении.*

*Постчеловеческий мир, который в результате появится, возможно, будет столь чуждым для нас, что сейчас мы не можем знать о нем абсолютно ничего. Единственным исключением могут быть фундаментальные законы природы, но даже тут иногда допускается существование еще не открытых законов (у нас пока нет теории квантовой гравитации) или не до конца понятых следствий из известных законов (путешествия через пространственные «дыры», рождение "вселенных-карликов", путешествия во времени и т.п.), с помощью которых постлюди смогут делать то, что мы привыкли считать физически невозможным.*

**Угрозы искусственного интеллекта.** Историк Юваль Харари, автор книги «Sapiens: Краткая история человечества» [4], полагает, что человечество стоит на пороге не только технологического, но и философского кризиса. Новые тех-





Рис. 3. Этапы в развитии web-технологий.  
 Источник: Сеиф Хардиди «История эволюции интернета» [4].  
 Stages in the web-technologies development.  
 Source: Seif Hardidi, "The history of the Internet evolution" [4].

нологии формируют новые формы антиутопии. И общество пока не понимает, как адаптироваться к меняющейся реальности.

Харари вывел формулу предстоящего глобального кризиса:

$$B * C * D = HH$$

В данном случае  $B$  – это познания в биологии,  $C$  – это вычислительная мощность, а  $D$  – это данные. Если помножить их друг на друга, появится возможность взламывать людей ( $HH$  – hack humans).

Под взломом исследователь подразумевает возможность управлять человеком на глубинном уровне, то есть контролировать его желания и стремления. Харари опасается, что правительства и корпорации скоро изучат людей настолько, что смогут с легкостью регулировать их мысли.

Технологии отдаленно будут напоминать таргетированную рекламу, только их действие будет более точным, а эффект – стопроцентным. Ранее исследователь отмечал, что в сложившихся обстоятельствах привычные философские концепции отмирают. Это касается свободы воли и свободы выбора. Люди ошибочно полагают, что контролируют ситуацию, но на самом деле это не так.

Главное следствие масштабного внедрения искусственного интеллекта – это утрата человеком автономии и авторитета. При этом ИИ не обязательно выходить на один интеллектуальный уровень с людьми и обладать сознанием. Алгоритмам МО достаточно будет изучить личность досконально, чтобы найти самую слабую точку и запустить процесс манипуляций.

$$F(x) = \exp(x) = e^x,$$

где  $e$  – число Эйлера ( $e = 2,718...$ ).

График экспоненты:  $y = e^x$  (синий).

Касательная (красным) в нуле  $y$  функции:  $y = e^x$  наклонена на  $45^\circ$ .

Рядом для примера показаны:  $y = 2^x$  (точками) и  $y = 4^x$  (пунктиром) (рис. 4).

Общество подвержено взлому на всех уровнях, но больше всего Харари пугает биологический: «Эксперты по ИИ могут общаться с философами. С историками – да, пожалуйста. С литературными критиками – замечательно. Но меня пугает их общение с биологами», – признал он в интервью изданию Wired. Тем не менее исследователь подчеркивает, что ИИ означает и массу преимуществ. Особенно это касается медицины. Харари подчеркивает, что никто не станет препятствовать внедрению технологии – ведь она способна принести столько пользы людям.

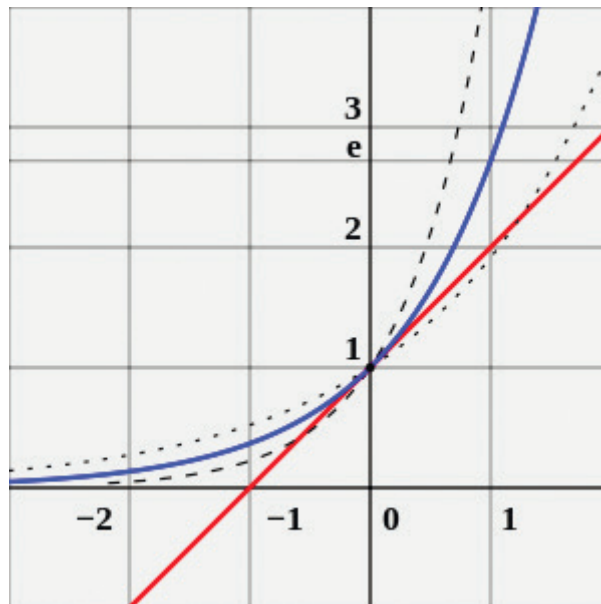


Рис. 4. Экспоненциальная функция развития прогресса человечества.

Примечание: Выполнено с помощью формул и функций Excel.

The exponential function of human progress development.

Note: Done using Excel formulas and functions.

Распространение ИИ в комплекте с биотехнологическими открытиями породит два возможных сценария антиутопии.

**Первый** – *надзор-капитализм* – даст алгоритмам полную власть над людьми. Машинный интеллект и МО решат за нас, где жить, работать, с кем встречаться и за кого голосовать.

**Второй** предполагает *укрепление тоталитаризма и диктатуры*, при котором каждый житель Земли – это объект непрерывной слежки. Особую роль в этом процессе сыграют биометрические и видеосистемы, которые не дадут гражданину скрыться от всевидящего ока государства.

Историк подчеркивает: люди могут даже не заметить, как оказались во власти ИИ и МО. Большинство не сможет понять, как работают механизмы алгоритмов и как именно нами манипулируют. Человечество привыкло к традиционным формам объяснения и повествования, но машинный интеллект работает со статистическими данными и оперирует другими понятиями.

Харари считает, что *чрезмерное усложнение систем* – одна из главных актуальных проблем. Из-за этого, например, ученым все сложнее объяснять свои теории и доносить до аудитории суть открытий.

Важный побочный эффект этого – расцвет теорий заговора. По этой причине сейчас возникает все больше антиглобалистов и тех, кто не верит в глобальное потепление. То же касается и сферы финансов – с каждым годом она усложняется, и некоторые концепции можно объяснить, толь-

ко если потратить 10 лет на изучение экономики и математики. «В этом тоже выражается философский кризис», – отмечает Харари.

Он также считает, что сегодня человек борется не с отдельными людьми, а с государствами и корпорациями. Перед лицом таких мощных соперников шансов на успех мало. Более того, влияние некоторых стран выходит за географические рамки. Историк обвиняет развитые государства и крупные корпорации в *цифровом колониализме*. Раньше империи выращивали хлопок в Индии или Египте, потом отправляли сырье в Британию, производили одежду и вновь пересылали ее в Индию или Египет, вытесняя местных производителей.

Сейчас то же самое происходит с данными, продуктами и системами ИКТ. Компании «выкачивают» данные и программы из Бразилии, Индонезии и со всего мира, обрабатывают их в США, Британии, Индии или Китае, а затем создают на их основе продвинутые продукты, которые в итоге распространяют в «колониях».

**Математики об искусственном интеллекте.** Нарисованная выше учёными-футурологами довольно пессимистическая картина мира после достижения человеческой цивилизацией временной точки технологической сингулярности, скрашивается последними исследованиями учёных-математиков: *возможности ИИ оказались небеспредельными* [6]. Подобно человеческому разуму, ИИ ограничен парадоксами теории множеств.

До сих пор считалось, что самой фундаментальной проблемой в развитии технологий ИИ является *необъяснимость* принимаемых им решений. В январе 2019 к этой проблеме добавилась еще одна, не менее фундаментальная проблема – принципиальная *непредсказуемость*, какие задачи ИИ может решить, а какие нет.

На пути триумфального развития технологий машинного обучения, как казалось, способных при наличии большого объема данных превзойти людей в чем угодно – в играх, распознавании, предсказаниях и т.д. – встала первая из 23 проблем, поставленных в докладе Давида Гильберта на международном математическом конгрессе в Париже еще в 1900-м году [7].

Первой в списке этих 23 проблем, решение которых до сих пор считается высшим достижением для математика, была так называемая *гипотеза континуума* (*континуум-гипотеза* или *1-я проблема Гильберта*), которую выдвинул и пытался решить (но потерпел неудачу) еще сам создатель теории множеств Георг Кантор.

И вот сейчас, на исходе второго десятилетия XXI века гипотеза континуума, будучи примененная к задачам машинного обучения, стала холодным отрезвляющим душем для всех технооптимистов ИИ.

Машинное обучение оказалось не всесильно. И, что еще хуже, в широком спектре сценариев обучаемость ИИ не может быть ни доказана, ни опровергнута.

Первая же научная сенсация 2019 года оказалась совершенно неожиданной. Опубликованная 7-го января в *Nature Machine Intelligence* статья «Обучаемость может быть неразрешимой» (англ. *Learnability can be undecidable*) [8] устанавливает предел возможностей машинного обучения – ключевого метода вычислений, на коем стоит весь современный ИИ.

Этот научный вывод столь важен, что журнал *Nature* сопроводил статью еще двумя популярно её разъясняющими статьями «Недоказуемость приходит в машинное обучение» (англ. *Unprovability comes to machine learning*) и «Машинное обучение приводит математиков к неразрешимой задаче» (англ. *Machine learning leads mathematicians to unsolvable problem*).

Суть всех этих статей в следующем. Обнаружены сценарии, в которых невозможно доказать, может ли алгоритм машинного обучения решить конкретную проблему. Этот вывод может иметь огромное значение как для существующих, так и для будущих алгоритмов обучения. Обучаемость

ИИ не может быть ни доказана, ни опровергнута с использованием стандартных аксиом математики, поскольку это связано с парадоксами, открытыми австрийским математиком Гёделем в 1930-х годах [7].

Теория множеств, так или иначе, является основой большинства разделов математики.

*Парадоксы* – это формально-логические противоречия, которые возникают в теории множеств и формальной логике при сохранении логической правильности рассуждения. Парадоксы возникают тогда, когда два взаимоисключающих (противоречащих) суждения оказываются в равной мере доказуемыми.

С точки зрения математики, вопрос «обучаемости» сводится к тому, сможет ли алгоритм извлечь шаблон из ограниченных данных. Ответ на этот вопрос связан с парадоксом, известным как вышеупомянутая континуум-гипотеза (проблема континуума или 1-я проблема Гильберта) и разрешенным в 1963 г. американским математиком Полом Коэном [7].

Решение оказалось весьма неожиданным: то, что утверждается в гипотезе континуума, нельзя ни доказать, ни опровергнуть, исходя из аксиом теории множеств. Гипотеза континуума логически независима от этих аксиом. Неспециалисту довольно трудно понять, почему утверждения такого рода играют для математики столь большую роль и ставятся на первое место в списке важнейших проблем. Отметим лишь, что на самом деле речь идет о вещах принципиальных и фундаментальных, так как континуум – это, по сути, базовая математическая модель окружающей нас физической, пространственно-временной реальности (частью которой являемся и мы сами), а в математике континуум – еще и синоним совокупности всех действительных чисел, также центрального понятия математики и ее рабочего инструмента.

По сути Гёдель и Коэн подтвердили, что континуум-гипотеза не может быть доказана ни как истинная, ни как ложная, начиная со стандартных аксиом – утверждений, принятых как истинные для теории множеств, которые обычно принимаются за основу всей математики.

*Иными словами, утверждение не может быть ни истинным ни ложным в рамках стандартного математического языка.*

**Заключение.** Проблемам безопасности ИКТ и защищенности социума от негативного воздействия ИИ и МО уделено достаточно много внимания в ряде исследований. Выделяются основные проблемы: нарушение работоспособно-

сти технического и программного обеспечения, распространение информационного оружия, непрерывное усложнение информационных и коммуникационных систем, возможность концентрации информационных средств в руках небольшой группы собственников, использование во вред информационных данных, манипулирование сознанием, использование технологического воздействия на психическую деятельность.

В списке перечисленных проблем чётко просматривается группа тех, которые бытуют в истории человечества от формации к формации. Это нападение, захват, нанесение вреда, манипулирование, использование достижений для истребления друг друга. Историю наполняют захватнические войны, колонизации, порабощения, истребления. Из формации в формацию человечество переносит груз тех же проблем, и вместе с техническими достижениями для улучшения качества жизни эти проблемы остаются и только переходят на новый уровень развития.

Переходя от одного этапа развития к другому, меняя формации и способы государственного управления, человечество независимо от строя, нации и религии стремится к улучшению качества жизни. Качество жизни проявляется в субъективной удовлетворённости людей самими собой и своей жизнью, а также в объективных характеристиках, свойственных человеческой жизни как биологическому, психическому (духовному) и социальному явлению. Эта тенденция является общей, и качество жизни населения определяется следующими направленностями: жизненными потенциалами – общества в целом, социальных групп и отдельных граждан; соответствием характеристик условий и результатов их жизнедеятельности социально-позитивным потребностям, ценностям и целям; внешними возможностями, т.е. свойствами окружающей среды, её объектов и субъектов. Функции всех направленностей должны иметь значимую вероятность достижения целей улучшения качества жизни общества в целом и в частности отдельных людей, которые хотят это сделать и готовы приложить для этого необходимые усилия.

В связи с этим в развитии и применении ИКТ необходимо осуществлять тот интегральный уровень слияния ИКТ с эволюционным развитием личности и социума, который бы не привёл к тому, что процесс мышления человека будет подавлен услугами технократических средств, которые в прямом смысле могут посадить личность на ментальную «иглу» ИИ и МО, подавляя процесс

мышления и интуицию. Вопрос защиты личности от технократической интеллектуализации является одним из важнейших социальных аспектов при внедрении ИКТ. *Это и важный аспект образовательной системы.*

Следующим важным аспектом в развитии применения ИКТ является тенденция внедрения вычислительной техники следующего поколения, основанной на квантовых принципах.

Серьёзное внимание к данному аспекту может быть обусловлено тем, что биогенетика, лингвогенетика и техногенетика уходят корнями в универсальную инфогенетику и структурированы на её основе, но в разных плоскостях бытия. На квантовом уровне их программная компиляция едина. Трансляция универсальной инфогенетики в различные функциональные уровни с последующим формообразованием биомассивов, языков, технического оборудования и прочего является не более, чем формой субстанционного их представления.

Степени сравнения мощностей мозга, принадлежащего человеческому интеллекту как живому организму с мощностью самой интеллектуальной машины не правомочны. Решение компьютером сложных задач, которые подчинены математическому алгоритмизированию, не является показателем превосходства ИИ. Превосходство заключается в интуитивном реагировании при решении жизненных задач, включающее факторы, которые невозможно компьютеризировать, а также в нахождении той образной сочетаемости при движении мышления с уровня на уровень, которую невозможно алгоритмизировать и отдать в руки машине, какой бы виртуозностью ни обладал математический аппарат. Если вкратце, то ИИ – *это попытка воспроизвести процесс возникновения и дальнейшего развития человеческого мозга.* Несмотря на все наши усилия, мы до сих пор почти ничего не знаем о том, каким именно образом наш мозг выполняет все те задания, которые отличают нас от остальных видов и делают нас людьми.

Разумность определяется внутренним взвешиванием при установлении взаимосвязей, которое осуществляется через интуитивную и логическую соразмерность, которая происходит в триадном континууме вещественности, квантового процесса и того, что пока наука именует трансцендентным, но что является неотъемлемым включением в моделирующий аспект пространственно-временного континуума бытийности. Подтверждением этому служит явление поэтичности и литературно-художественного

творчества. На этом же основан и человеческий фактор, который подчинён интуитивно-чувственной логике и с точки зрения математики необъясним и не может быть алгоритмизирован.

Отдавая дань уважения великим математикам, открывшим законы, делающим заключения,

предлагающим гипотезы и строящим прогнозы, и принимая их к сведению, необходимо интуитивно чувствовать меру и грань развития ИКТ, которые бы помогли человечеству совершенствоваться в своём устойчивом развитии. Все средства лишь этому в помощь, но не во вред.

## Список литературы

1. Vinge, V. The Coming Technological Singularity [Electronic resource]. – 1993. – Mode of access: <http://www-rohan.sdsu.edu/faculty/vinge/misc/singularity.html>. – Date of access: 11.06.2019.
2. Новоселов, А. Технологическая сингулярность как ближайшее будущее человечества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://andrzej.virtualave.net/Articles/singularity.html>. Дата доступа: 01.05.2019.
3. Hanson, R. (ed.) A Critical Discussion of Vinge's Singularity Concept. Extropy Online. [Electronic resource]. – 1998. – Mode of access: <http://www.extropy.com/eo/articles/vi.html>. – Date of access: 01.05.2019.
4. Харари Ю. Sapiens: Краткая история человечества [Electronic resource]. – Mode of access: [www.labirint.ru/books/498309](http://www.labirint.ru/books/498309) – Date of access: 11.06.2019.
5. Хардиди, С. Internet Definition History [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.hpsociety.info/news/internet-definition-history.html>. – Date of access: 01.05.2019.
6. Colors collective , Mode of access: <https://www.quantamagazine.org/mathematicians-measure-infinities-find-theyre-equal-20170912/> – Date of access: 01.05.2019.
7. Демидов, С. С. «Математические проблемы» Гильберта и математика XX века // Историко-математические исследования. – М. : Янус-К, 2001. – № 41 (6). – С. 84–99.
8. Ben-David, S. Learnability can be undecidable / S. Ben-David, P. Hruby, S. Moran, A. Shpilka, A. Yehudayoff // Nature Machine Intelligence. – 2019. – № 1. – PP. 44–48. – <https://doi.org/10.1038/s42256-018-0002-3>.

## References

1. Vinge V. The Coming Technological Singularity. 1993. Available at: <http://www-rohan.sdsu.edu/faculty/vinge/misc/singularity.html>. (accessed: 11.06.2019.)
2. Novoselov A. Tehnologicheskaia singuljarnost' kak blizhajshee budushhee chelovechestva [Technological Singularity as a near future of the humanity]. Available at: <http://www.topos.ru/veer/41/singular.htm>. (accessed: 01.05.2019) (in Russian).
3. Hanson R. A Critical Discussion of Vinge's Singularity Concept. Extropy Online. 1998. Available at: <http://www.extropy.com/eo/articles/vi.html>. (accessed: 01.05.2019.)
4. Harari Ju. Sapiens: Kratkaja istorija chelovechestva [Sapiens: The brief history of the humanity]. Sindbad, 2016. 520 p. (in Russian).
5. Internet Definition History. Available at: <http://www.hpsociety.info/news/internet-definition-history>. (accessed: 01.05.2019).
6. Hartnett K. Mathematicians Measure Infinities and Find They're Equal [Electronic resource]. Available at: <https://www.quantamagazine.org/mathematicians-measure-infinities-find-theyre-equal-20170912>. Accessed: 01.05.2019.
7. Demidov, S. S. «Matematicheskie problemy» Gil'berta i matematika XX veka. Istoriko-matematicheskie issledovanija [“The mathematical problems” of Hilbert and mathematicians of the XX century. Historical and mathematical research]. Moscow, Janus-K, 2001, № 41 (6), pp. 84–99.(in Russian).
8. Ben-David S., Hruby P., Moran S., Shpilka A., Yehudayoff A. Learnability can be undecidable. Nature Machine Intelligence, 2019, 1, pp. 44–48.

*Received: 11.06.2019*

*Поступила: 11.06.2019*



## Интеллектуальный анализ текстовой информации в специализированных областях в системе электронного правительства

**Т. И. Макаревич**, м. ф. н., старший преподаватель кафедры английского языка гуманитарных специальностей факультета международных отношений<sup>1</sup>, магистрант 1 курса специальности «Электронное правительство» факультета инновационной подготовки<sup>2</sup>

E-mail: [t\\_makarevich@mail.ru](mailto:t_makarevich@mail.ru)

ORCID ID: 0000-0002-3720-2373

<sup>1</sup> Белорусский государственный университет, ул. Ленинградская, д. 20, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> Академия управления при Президенте Республики Беларусь, ул. Московская, д. 17, 220007, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Настоящая статья посвящена изучению применения технологии text mining в научных исследованиях как одного из методов интеллектуального анализа текстовой информации в специализированных областях системы электронного правительства. Значимость работы объясняется тем, что в настоящее время в Республике Беларусь не существует исследований, аналогичных проведенному. Продемонстрировано применение программного пакета Rapid Miner и языка R как сред для глубинного анализа текста. Оптимальной формой изучения предметных онтологий признано так называемое концептуальное индексирование. Обозначены оптимальные подходы к его рассмотрению: формальный и лингвистический. Выявлены проблемы избыточности и многозначности слов. Разработка данной проблематики нацелена на согласование разрозненности русскоязычных и иноязычных терминологических систем специализированных онтологий на основе технологий искусственного интеллекта.

**Ключевые слова:** терминологическая система, специализированные терминологические словари, информационно-поисковый тезаурус, онтология, предметная область, обработка текстовой информации, частотный анализ, глубинный анализ текста, язык R, Rapid Miner, электронное правительство

**Для цитирования:** Макаревич, Т. И. Интеллектуальный анализ текстовой информации в специализированных областях в системе электронного правительства / Т. И. Макаревич // Цифровая трансформация. – 2019. – № 2 (7). – С. 46–52. <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2019-2-46-52>



© Цифровая трансформация, 2019

## Intellectual Analysis of Textual Information in Domain Fields in the System of e-Government

**T. I. Makarevich**, Master of Philological sciences, Senior Lecturer of the Department of English for Humanities, Faculty of International Relations<sup>1</sup>, 1st year postgraduate student, specialty “e-Government”<sup>2</sup>

E-mail: [t\\_makarevich@mail.ru](mailto:t_makarevich@mail.ru)

ORCID ID: 0000-0002-3720-2373

<sup>1</sup>Belarusian State University, 20 Leningradskaya Str., 220030 Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Academy of Public Administration under the aegis of the President of the Republic of Belarus, 17 Moskovskaya Str., 220007 Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The given paper considers application of data mining technology in scientific research as one of intellectual analysis methods in the domain field of e-Government. The topicality of the issue is stipulated by the current absence of the researches of the kind in the Republic of Belarus. The paper illustrates how the programme package Rapid Miner and the language R have been applied in text mining. Concept indexing has been admitted as the most resultative



form of analyzing domain field ontologies. Formal and linguistic approaches are found most effective in analyzing domain field ontologies. The paper identifies the problems of word redundancy and word polysemy. The prognosis for the further research investigation is in interconnectivity of specialized ontologies studying heterogeneous terms on the basis of artificial intelligence (AI).

**Key words:** terminological system, specialized dictionaries, information retrieval thesaurus, ontology, domain area, text information processing, analysis in the frequency domain, text mining, the computer language R, Rapid Miner, e-Government

**For citation:** Makarevich T. I. Intellectual Analysis of Textual Information in Domain Fields in the System of e-Government. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2019, 2 (7), pp. 46–52 (in Russian). <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2019-2-46-52>

© Digital Transformation, 2019

**Введение.** Одна из основных проблем в интеллектуальном анализе текста заключается в необходимости постоянного обновления терминологических словарей естественных языков в сфере информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), а также в широте предметных областей их применения, которая обусловлена высокой интенсивностью развития систем искусственного интеллекта (AI systems), и, в частности, машинного обучения.

Актуальность темы обусловлена высокой динамичностью развития систем искусственного интеллекта и процессов в сфере представления знаний в области ИКТ; проблемой взаимосвязи терминов при создании тезаурусных отношений; разработкой терминологических систем, основанных на онтологиях и тезаурусах; удовлетворительным решением задач с их помощью с последующим представлением решений в системе электронного правительства (ЭП).

Объектом исследования является лингвистическое обеспечение информационных систем, предметом – методика проведения частотного анализа специализированных терминов.

Цель работы заключается в проведении интеллектуального анализа текстовой информации в специализированных областях с созданием рабочего макета лингвистического обеспечения информационных систем для согласования данных русскоязычной и иноязычных терминологических систем предметных областей в системе ЭП.

В задачи работы входит: изучение методики актуальной обработки текстовой информации; исследование возможности формирования и корректировки онтологических моделей на основе интеллектуальной обработки текстовой информации (text mining); проведение анализа использования программного обеспечения языка R и программного пакета Rapid Miner как оптимальных программных средств для создания информационной системы интеллектуальной обработки текстовой информации. Для решения поставленных

задач мы используем метод глубинного анализа текстовой информации.

В работе рассматриваются теоретические и прикладные вопросы лингвистического обеспечения информационных систем, раскрывается сущность терминологического моделирования специализированных областей для формирования лингвистического обеспечения информационных систем. Аналитически рассматриваются онтологические модели как способ описания предметных областей.

Проводилось проектное исследование технологии text mining для анализа текстов на предмет поиска в них заданной терминологии определенных предметных областей. В работе рассматривается технология data mining как процесс выделения и сортировки неструктурированных данных с последующим представлением для дальнейшего прикладного использования, описывается практическое применение технологии Rapid Miner для глубинного анализа текста.

Практическая значимость результатов работы заключается в возможности их применения при обработке естественного языка в режиме online, в процессах информационного поиска, категоризации текстов, автоматической обработке больших текстовых коллекций (например, в корпусной лингвистике), появлении возможности формирования и корректировки онтологических моделей с применением text mining.

**Основная часть.** Наблюдаемая сегодня необходимость обработки неструктурированной текстовой информации, широкая предметная область её применения [1], повышение эффективности и качества уже существующих методов обработки текстов – всё это продиктовано современными потребностями работы с большими объемами электронных документов в системе ЭП. На смену понятию big data (неопределённо структурированные данные большого объёма) [2] приходит новый концепт – smart data («умные данные», результаты, извлеченные за счет обра-

ботки «больших данных»; данные, полученные в результате интеллектуального анализа данных) [2]. Сегодня его рассматривают как целое направление, поскольку важным становится не столько сам объем данных, как то, каким образом и в какой области они могут быть использованы.

В зависимости от поставленных целей перед процессом обработки неструктурированной текстовой информации исследователи занимаются такими задачами, как автоматическое аннотирование документов, поиск ответов на вопросы, непосредственный поиск информации, фильтрация, рубрикация, кластеризация документов и групп документов, поиск схожих документов, их сегментирование и смежные вопросы.

Наше исследование нацелено на создание механизма отслеживания способности предоставления системой электронного правительства возможности взаимодействия специализированных онтологий различных предметных областей, а также на сопоставление русскоязычных и англоязычных специализированных онтологий, выявление в них проблемных зон, лингвистических лакун, нестыковок терминологии с целью последующего решения данных вопросов. Поскольку ЭП призвано осуществлять взаимодействие организаций всех типов и уровней, то в систему ЭП, наряду с государственными, включены и научные организации. Вход в систему специализированных онтологий широких предметных областей должен контролироваться системой ЭП, которая должна также быть способна обеспечить организациям и специалистам различных предметных областей непрерывный доступ к специализированным онтологиям, иметь способность к согласованию терминосистем данных онтологий.

Для эффективности работы ЭП в современных информационно-поисковых и информационно-аналитических системах ведется работа с текстовой информацией в неограниченных специализированных областях, включающих в себя различные классы сущностей и предполагающих возможность вхождения в неограниченное многообразие отношений между собой [1]. При этом существуют такие нерешенные вопросы, как, например, нехватка лингвистических и онтологических знаний (знаний о мире), используемых в приложениях информационного поиска и автоматической обработке текстов, что может привести к нерелевантному поиску в случае если формулировка запроса отличается от способа описания релевантной ситуации в текстовом документе. В системе ЭП эта проблема может

усугубиться при обработке так называемых длинных запросов, в поиске ответа на вопрос в вопросно-ответных системах.

На данном этапе развития системы ЭП внедрение дополнительных объемов знаний о языке и мире в современные методы автоматической обработки текстов представляет собой сложную задачу. Это обусловлено тем, что, во-первых, подобным знаниям следует давать описание в специально создаваемых ресурсах, таких как тезаурусы или онтологии, содержащие описания десятков тысяч слов и словосочетаний с возможностью иметь операции по логическому выводу. Во-вторых, возникает необходимость автоматизации решения проблемы многозначности слов через выбор наиболее подходящего значения. Также стоит учитывать, что развитие актуальных комбинированных методов (знания плюс последние разработки в обработке цифровой информации) происходит в условиях, когда ведение любых ресурсов отстает от развития предметной области.

Применение технологии data mining, которая активно используется для обнаружения необходимых знаний в базах данных (так называемом KDD – Knowledge Discovery in Databases [3]), нужно для эффективного функционирования системы ЭП с целью научного поиска. Задача text mining заключена в процессе построения модели, хорошо описывающей закономерности, которые порождают данные. При анализе текстовой информации применяются различные методы исследования data mining: «деревья решений», построение нейронных сетей, применение методов ограниченного перебора, кластерные модели, генетические алгоритмы, комбинированные методы, эволюционное программирование. Процесс data mining является итеративным. Это значит, что при решении какой-то конкретной задачи провоцируются новые, которые нужно решать, пока не будет достигнут удовлетворительный результат.

В настоящее время технология data mining используется в тех сферах деятельности человека, где есть накопление ретроспективных данных: наука, индивидуальное предпринимательство, а также веб-направление [3, с. 74]. Так, в нашей работе мы не будем перечислять все сферы применения интеллектуального анализа данных, нас интересует вопрос использования систем интеллектуального анализа данных как инструмента в проведении уникальных исследований.

С целью точности формулировки понятий приведем определение технологии data mining

одного из основателей этого направления Г. Питецкого-Шапира [3], который обозначает ее как «процесс обнаружения в сырых данных ранее неизвестных, нетривиальных, практически полезных и доступных интерпретации знаний, необходимых для принятия решений в различных сферах человеческой деятельности» [4].

Для проведения интеллектуального анализа текстовой информации при помощи компьютера мы применили программный пакет Rapid Miner как среду для глубинного анализа текста. Следует отметить, что на русском языке о text mining мало информации и на данный момент существует ограниченное количество пошаговых руководств в работе с той или иной программой, видеотренингов, чтобы можно было проанализировать специализированные тексты.

Text mining призван решить ряд определенных задач, первой из которых является классификация текста, основная идея которой заключается в том, что документы, принадлежащие к одной категории, содержат одинаковые слова и словосочетания [5]. Мы заранее создаем и разделяем текст на категории, к которым он относится, далее идет машинное обучение, чтобы мы могли понять, относятся ли эти тексты к той или иной группе.

Следующая по важности задача – классифицирование текстов с помощью машинного обучения, т. е. с обучающей выборкой, где можно использовать экспертный метод выделения признаков и составления правил. Если с машинным обучением процедура понятна, то при экспертном методе формируется словарь на основе набора терминов в предметной области и соотнесения между ними. Документ классифицируется к своей рубрике на базе частоты, с которой появляются выделенные в тексте термины.

Третья задача – кластеризация сложного текста. Типичный кластерный анализ состоит в объединении имеющих схожесть текстов в группы. Эти данные должны быть представлены в модели векторного пространства. Кластеризация может быть иерархической (похожа на метод интеллектуального анализа текста «дерево решений») и бинарной (характеризуется группировкой документальных кластеров по ссылкам подобия).

Четвёртая – это аннотирование текстов, который необходим для быстрого ознакомления с интересующей публикацией. Однако, благодаря возможностям text mining, анализ текста не ограничивается только этой функцией.

При помощи text mining в анализе текста мы также рассматриваем кластеризацию текста

в программе Rapid Miner [5] и правило ассоциаций в этой среде. Для этого нужны исходные данные – тексты. Для репрезентативности выборки мы кластеризовали 185 английских текстов ИКТ-дискурса, дипломатического дискурса и дискурса международного права на примере валидного массива.

Основы обработки текста вытекают из объективности того факта, что именно в этом формате чаще всего предоставляется информация в Интернете. В отличие от технологии data mining, где осуществляется извлечение неочевидных данных, задачей обработки текста – text mining – является извлечение очевидных данных. Например, при помощи данной технологии можно создать некоторый алгоритм [5], позволяющий извлечь большое количество информации с новостных сайтов, в нашем случае ИКТ-дискурса, дипломатического дискурса и дискурса международного права.

Первым этапом при обработке текстов в text mining является работа с коллекцией документов – это либо набор файлов в определенном формате, либо поток, который поступает на вход из вне. Следующий этап – декодирование (Def.) – перевод последовательности байт в последовательность символов. Затем нужно провести их распаковку (plain, .zip, .gz), и форматирование (csv, xml, json, doc). При прохождении этих трех этапов преобразования байтов в слова мы получаем текст в необходимом виде.

Этап токенизации заключается в разделении текста на токены, (последовательность символов/слов в памяти, понятную для машины, полученную не через наивный подход, используя n-граммы). Следующий шаг – это удаление стоп-слов, не несущих существенной информации для текста.

Нормализация как ещё один этап text mining является одним из самых сложных и состоит в приведении токенов к единому виду. Это необходимо для того, чтобы избавиться от поверхностной разницы в написании. На этом этапе важно сформулировать правила, по которым идет разбиение на токены.

Стемминг и лемматизация используются на предпоследнем этапе процесса text mining. Стемминг – это первый подход, который заключается в приведении грамматических форм слова, а также однокоренных слов к единой основе. Лемматизация – более сложный подход, в котором используется морфологический анализ с применением словарей и профессиональный подход к лингвистике. Она направлена на выделение лемм и оставление только тех слов, которые нужны [5, с. 24].

В программный пакет Rapid Miner включены подготовленные готовые процессы для работы с текстом. В начале работы в программном продукте Rapid Miner необходимо создать новый процесс, в данном случае процессы для анализа текста уже созданы в самой программе. Их необходимо импортировать через file-import. Также нужны папка локального репозитория и файл process01.rmp, в которой находятся операторы для первого процесса, посвященного установлению ассоциативных связей. При этом каждый оператор имеет свои параметры.

Для первого процесса параметр директории текста указывает, откуда читать текстовые данные. Очень важным является вектор создания. Для него был выбран метод TF-IDF (term frequency-inverse document frequency, частота термина). Это метод взвешивания термина, обратная частота документа, инверсия той частоты, с которой конкретное слово встречается в коллекции документов [6]. Он дает наибольший вес тем терминам, которые встречаются наиболее часто в одном документе, но не много раз в других. Применение данного метода может дать слишком много слов, вплоть до 10 тысяч. Его недостатком является длительное время выполнения алгоритмов в случае слишком большого числа слов, что препятствует его использованию для последовательных этапов интеллектуального анализа.

Анализ текстов ИКТ-дискурса показал, что слова, которые появляются в менее чем 70% документов, сокращены. В поиске ассоциаций нас интересуют термины в контексте анализа текста, появляющиеся в 100% операций, т.е. документов в контексте проводимого интеллектуального анализа текстовой информации. Данные термины могут образовывать интересные часто встречающиеся наборы (т.е. список слов) и правила ассоциации для обеспечения действительного понимания. Поэтому целесообразно устанавливать параметр сокращения выше 100% включая слова, которые появляются в каждом документе.

Прежде всего, мы указали набор текстовых данных, который обрабатывался в process01 [5]. Process01 содержит 5 операторов. Первый процесс «documents from file» [5, с. 12] из оператора файлов выполняет обработку текста, которая включает подготовку текстовых данных для применения традиционных техник data mining. Процесс «documents» считывает данные с коллекции текстов и манипулирует этими данными с использованием алгоритмов обработки. Это встроенный оператор и он может содержать subprocess, состо-

ящий из множества операторов. В process01 этот вложенный оператор содержит другие операторы внутри. При двойном клике по нему видны subprocessы, которые состоят из 6 операторов и связаны серийно. Их задача – преобразовать данные так, чтобы их было легко обрабатывать такими техниками data mining, как ассоциации и кластеризация. В программе справа указаны параметры этих subprocessов [5]: 1) разбивка на лексемы (под лексемой здесь понимается ассоциативная группа, состоящая из нескольких слов); 2) языковая разбивка; 3) фильтр стоп-слов; 4) фильтр знаков по длине; 5) стемминг; 6) преобразование случаев.

Оператор для process01 *text nominal* преобразует текстовые данные в номинальные или категориальные. Затем оператор *numerical to binomical* преобразовывает их в биномиальную форму. Следующий этап – сама кластеризация массива текстовых документов. Сначала нужно импортировать файл process02, в котором операторы похожи на process01. Все начинается с процесса обработки документов, только метод создания вектора другой. Этот метод приводит к вычислению относительных частот для каждого из терминов в каждом из документов в наборе данных. В process02 метод сокращения такой же, как в файле process01, однако значение наименьшего процента параметра отличается – здесь он 20%.

Первый метод является вычислительно более затратным, чем второй, а это значит, что выявление ассоциаций занимает куда больше времени работы, чем кластеризация. Кластерный анализ текста идет в следующем порядке: оператор берет весь набор данных и преобразует его в новый, выбрав столбцы только с числовыми значениями. Это преобразование нужно, чтобы кластеризация шла численным методом. Первый результат – это список слов, возникающий во время обработки документа, второй – пример набора, который возникает от оператора «fp growth», конечный результат – работа оператора установления ассоциаций.

В следующем этапе text mining мы проанализировали, какие слова во скольких документах обнаруживаются. Затем мы работали со вкладкой «список слов», столбец «входящие документы», где могли менять порядок убывания [8]. Прежде всего, мы указали набор текстовых данных, который обрабатывался в process01. Мы нажали на process documents, указали путь к нашим текстам и получили результаты: заголовки 5235 записей. Второй результат – набор примеров, который содержит данные состава термина каждого доку-



мента в базе данных. Третий результат – это центроиды кластерной модели.

В нашем исследовании мы также использовали язык программирования R для обработки текстовой информации. Одним из преимуществ языка R является наличие для него многочисленных расширений или пакетов (полтора тысяч доступных на CRAN пакетов) [8], которые скачиваются бесплатно напрямую из R командой `install.packages()`. При установке языка R на компьютер несколько базовых пакетов уже имеются в наличии: необходимый пакет `base`, пакет `grDevices`, который управляет выводом графиков, пакет `cluster` для специального кластерного анализа.

Анализируемый нами язык программирования R представлен как статистическая система анализа, которую создали Росс Ихак и Роберт Гентлеман [9]. Наш выбор обусловлен тем, что язык программирования R – это одновременно и язык программирования, и программное обеспечение [10]. Его привлекательные свойства заключаются в эффективной обработке данных и в простых средствах для сохранения полученных результатов исследования. Одновременно он выступает набором операторов для обработки текстовых массивов, матриц, а также иных сложных конструкций. Так, язык программирования R [10] дает возможность пользователю применять операторы циклов для последовательного анализа нескольких наборов данных, где главная особенность R – это его гибкость.

Для проведения текстового анализа данных необходимо было собрать и упаковать нужную информацию и произвести её предварительную подготовку к работе. Важно было добиться возможности прочитать при помощи языка R подготовленные в другой программе данные. В нашей работе мы определяем текстовые данные как данные, которые можно прочитать и изменить с помощью текстового редактора (`Emacs/Vi` и т.д.). Мы использовали пробельные символы (пробел, табуляция и т. п.), запятые или точки с запятой в качестве разделителей текстовых данных.

Данный прием был применен к интеллектуальному анализу данных для вычисления общих характеристик выборки (центр и разброс), под которой понимается набор значений, полученных в результате ряда произошедших измерений. Как центр чаще выступают среднее и медиана, а как разброс, – стандартное отклонение и квартили. Отличие среднего от медианы изначально заключается в том, что среднее хорошо функционирует в случае, когда распределение данных близко

к нормальному. Тем самым медиана не так сильно зависит от характеристики распределения. В этом отношении она более устойчива (робастна).

**Заключение.** Основным результатом исследования является применение технологии `text mining` для анализа текстов на предмет поиска в них заданной терминологии определенных предметных областей. Проведен анализ функциональных возможностей библиотек языка R, отработаны методики применения программного пакета `Rapid Miner` для глубинного анализа текста. Оптимальной формой анализа предметных онтологий можно признать так называемое концептуальное индексирование, имеющее место, когда идет индексация текста по понятиям, а не по словам, обсуждаемых в конкретном тексте. Также были обозначены оптимальные подходы к анализу предметных онтологий: формальный и лингвистический. Первый основан на логике предикатов первого порядка, второй базируется на усвоении естественного языка, положениях семантики, правилах построения онтологий на больших текстовых массивах (корпусах текстов).

Среди выявленных проблем можно указать избыточность использования синонимов, выражающих одни и те же понятия, многозначность слов, которая вызывает двусмысленность понимания, и омонимичность терминов.

В прикладном плане применение интеллектуального анализа текстовой информации в специализированных областях в системе ЭП заключается в том, что органы власти должны позаботиться, чтобы были сформированы терминологические онтологии по всем отраслям и, соответственно, была возможность сопоставления специализированных онтологий. ЭП должно быть централизованным, так как активными пользователями данных онтологий выступают экспертные системы разных сфер ИКТ, профессиональные переводчики, сопровождающие международные конференц-переводы, государственные служащие всех ветвей власти, в связи с чем вопрос стыковки терминов и сопоставления терминосистем является чрезвычайно актуальным.

Результаты проведенной работы носят теоретический и прикладной характер и изложены в публикациях автора. Прогнозные предположения о развитии объекта исследования – это стыковка различных онтологий на основе технологий искусственного интеллекта для изучения разрозненности русскоязычных и англоязычных терминов, которые, в итоге, при сравнении с такими же построениями должны быть идентичны.

## Список литературы

1. Добров, Б. В. Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения / Б. В. Добров, В. В. Иванов, Н. В. Лукашевич, В. Д. Соловьев. – М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2009. – 173 с.
2. Макаревич, Т. И. English for ICT Students = Английский язык для изучающих информационно-коммуникационные технологии: пособие: в 2-х ч. / Т. И. Макаревич, И. И. Макаревич. – Минск: Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь, 2012. – 382 с.
3. Piatetsky-Shapiro, G. Knowledge Discovery in Databases / G. Piatetsky-Shapiro, W. Frawley. – New York: AAAI/MIT Press, 1991. – 168 p.
4. Ландэ, Д. В. Подход к созданию терминологических онтологий / Д. В. Ландэ, А. А. Снарский // Онтология проектирования. – 2014. – № 2(12). – С. 83–91.
5. Hofmann, M. RapidMiner: Data Mining Use Cases and Business Analytics Applications / M. Hofmann, R. Klinkenberg. – New York: Chapman & Hall/CRC Data Mining and Knowledge Discovery Series, 2013. – 525 p.
6. Тезаурус информационно-поисковый одноязычный: Правила разработки: структура, состав и форма представления // ГОСТ 7.25.-2001. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001.
7. Guarino, N. Ontologies and Knowledge Bases: Towards a Terminological Clarification / N. Guarino, P. Giaretta // Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing. – Amsterdam: IOS Press, 1995. – P. 25–32.
8. Sowa, J. Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations / J. Sowa // Brooks Cole Publishing Co., Pacific Grove, CA. 2000. – V. 45(2). – P. 61–65.
9. Ihaka, R. R: A Language for Data Analysis and Graphics / R. Ihaka, R. Gentleman // Journal of Computational and Graphical Statistics. – 1996. – Vol. 5. – № 3. – P. 299–314.
10. Matloff, N. The Art of R Programming. A Tour of Statistical Software Design / N. Matloff. – San Francisco: No Starch Press. – 2011. – 316 p.

## References

1. Dobrov B. V. Ontologii i tezaury: modeli, instrumenty, prilozheniya [Ontologies and Thesauruses: Models, Instruments, Applications]. Moscow, Binom. Laboratoriya znanij, 2009. 173 p. (in Russian).
2. Makarevich T. I., Makarevich I. I. English for ICT Students: textbook: in 2 parts. Minsk: Academy of Public Administration under the aegis of the President of the Republic of Belarus, 2012. 382 p.
3. Piatetsky-Shapiro G., Frawley W. Knowledge Discovery in Databases. NY: AAAI/MIT Press, 1991. 168 p.
4. Lande D. V. An Approach to Creating Terminological Ontologies. Ontologiya proektirovaniya [Ontology Project Development], 2014, № 2(12), pp. 83–91 (in Russian).
5. Hofmann M., Klinkenberg R. RapidMiner: Data Mining Use Cases and Business Analytics Applications. Chapman & Hall/CRC Data Mining and Knowledge Discovery Series. 1st ed, 2013. 525 p.
6. Tezaurus informatsionno-poiskovyi odnoyazychnyi: Pravila razrabotki: sruktura, sostav i forma predstavleniya // GOST 7.25.-2001. Sistema standartov po informatsii, bibliotechomu i izdatelskomu delu [Thesaurus Information-Retrieval Monolingual: Rules for Development: Structure, Content and Display Format // GOST 7.25.-2001. System of Standards in Information, Bibliography and Publishing]. Minsk, CIS Council for Standardization, Metrology and Certification Intergovernmental, 2001 (in Russian).
7. Guarino N., Giaretta P. Ontologies and Knowledge Bases: Towards a Terminological Clarification. Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing. Amsterdam, IOS Press, 1995, pp. 57–70.
8. Sowa J. Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations. Brooks Cole Publishing Co., Pacific Grove, CA, 2000, V. 45(2), pp. 61 – 65.
9. Ihaka R., Gentleman R. A Language for Data Analysis and Graphics. Journal of Computational and Graphical Statistics, 1996, Vol. 5, No 3, pp. 299–314.
10. Matloff N. The Art of R Programming. A Tour of Statistical Software Design. San Francisco, No Starch Press, 2011. 316 p.

*Received: 23.04.2019*

*Поступила: 23.04.2019*



## Искусственная нейронная сеть в обучающей системе CATS

**Ю. Б. Попова**, к. т. н., доцент

E-mail: [julia\\_popova@mail.ru](mailto:julia_popova@mail.ru)

Белорусский национальный технический университет,  
пр. Независимости, д. 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В данной работе представлен вариант применения искусственной нейронной сети (ИНС) для адаптивного обучения. Основная идея использования ИНС заключается в применении ее под конкретный учебный материал, чтобы по окончании изучения курса или его отдельной темы обучающийся мог без участия преподавателя определить не только свой уровень знаний, но и получить рекомендации, какой материал необходимо изучить дополнительно вследствие пробелов в изучаемых вопросах. Такой подход позволяет построить индивидуальную обучающую траекторию, значительно сократить время для изучения учебных дисциплин и повысить качество образовательного процесса. Обучение искусственной нейронной сети происходит по методу обратного распространения ошибки. Разработанная ИНС может быть применена для изучения любой учебной дисциплины с различным количеством тем и контрольных вопросов. Результаты исследований внедрены и апробированы в авторской разработке – адаптивной обучающей системе CATS.

**Ключевые слова:** обучающая система, адаптивная обучающая система, CATS, искусственная нейронная сеть, ИНС, обучающая выборка, электронный учебно-методический комплекс, тесты, тестирование знаний

**Для цитирования:** Попова, Ю. Б. Искусственная нейронная сеть в обучающей системе CATS /Ю. Б. Попова// Цифровая трансформация. – 2019. – № 2 (7). – С. 53–59. <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2019-2-53-59>



© Цифровая трансформация, 2019

## Artificial Neural Network in the CATS Training System

**Yu. B. Popova**, Candidate of Science (Technology), Associate Professor

E-mail: [julia\\_popova@mail.ru](mailto:julia_popova@mail.ru)

Belarusian National Technical University, 65 Independence Ave.,  
220013 Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** This paper presents a variant of using an artificial neural network (ANN) for adaptive learning. The main idea of using ANN is to apply it for a specific educational material, so that after completing the course or its separate topic, the student can determine, not only his level of knowledge, without the teacher's participation, but also get some recommendations on what material needs to be studied further due to gaps in the studied issues. This approach allows you to build an individual learning trajectory, significantly reduce the time to study academic disciplines and improve the quality of the educational process. The training of an artificial neural network takes place according to the method of back propagation of an error. The developed ANN can be applied to study any academic discipline with a different number of topics and control questions. The research results are implemented and tested in the CATS adaptive training system. This system is the author's development.

**Key words:** training system, adaptive training system, CATS, artificial neural network, ANN, training sample, electronic teaching and methodical complex, tests, knowledge testing

**For citation:** Popova Yu. B. Artificial Neural Network in the CATS Training System. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2019, 2 (7), pp. 53–59 (in Russian). <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2019-2-53-59>

© Digital Transformation, 2019

**Введение.** В настоящее время все большее развитие получают автоматизированные системы управления учебным процессом (англ. Learning Management System (LMS)), направленные на повышение качества подготовки специалистов в учреждениях высшего образования и на специ-

ализированных курсах. Достаточно полная классификация таких систем приведена в [1]. Однако простого предоставления учебного контента и тестов для проверки знаний иногда становится недостаточно. Например, в ситуации, когда обучающемуся нужно за ограниченный период времени

изучить большой объем информации по дисциплине. В условиях LMS учебный материал не будет усвоен, а результаты тестов останутся далеки от положительных. Тогда ей на смену приходят адаптивные обучающие системы (АОС), применяющие возможности искусственного интеллекта к образовательному процессу. Теоретические основы интеллектуализации LMS рассмотрены многими отечественными и зарубежными авторами [2–7], однако их практическая реализация находится на начальном этапе своего развития. Как правило, интеллектуальные обучающие системы основаны на тестировании знаний студентов и подборе вопросов для них [5, 7–11]. Это свидетельствует о недостаточной проработке вопроса адаптивности, ведь полнофункциональные адаптивные обучающие системы должны контролировать процесс изучения учебного материала, собирая статистику о затраченном времени и сравнивая его с нормативным, постоянно проверять уровень знаний обучающегося, предлагая тесты после прочитанной части, рекомендовать для изучения только ту часть учебного курса, знаний по которой недостаточно. Изложенные факты доказывают актуальность темы исследования и позволяют сформулировать его цель как реализацию адаптивной обучающей системы для повышения эффективности учебного процесса.

**Основная часть. Адаптивность процесса обучения.** К адаптивным системам относят системы с обратной связью, при реализации которых происходит анализ знаний обучающегося на каждом этапе изучения материала и построение индивидуальной траектории обучения. Также в данном процессе могут учитываться психофизи-

ческие особенности индивидуумов. Данные системы характеризуются сложностью разработки и не всегда высокой точностью работы. В первую очередь это связано с трудностями формализации знаний. Некоторые модели представления знаний в обучающих системах были описаны в [12], а процесс обучения сформулирован в [13] как задача управления (рис. 1). Обучающийся при этом выступает в качестве объекта управления (ОУ), а АОС выполняет функции устройства управления (УУ).

На рис. 1 приняты следующие обозначения:  $\Psi$  – состояние внешней среды;  $Y$  – состояние обучающегося;  $I_\Psi, I_Y$  – соответствующие измерители;  $\Psi', Y'$  – результаты измерения величин  $\Psi, Y$ ;  $X$  – управляющие (обучающие и контролируемые) воздействия;  $D_X$  – ресурсы (ограничения на управление);  $Z^*$  – цель управления, состоящая в переводе обучающегося в требуемое состояние  $Y^*$ . Общее правило функционирования АОС в [13] представлено в следующем виде: получая на входе информацию о состоянии среды  $\Psi'$  и состоянии обучающегося  $Y'$ , а также информацию о цели  $Z^*$  и ресурсах  $D_X$ , АОС выдает на выходе допустимое управление

$$X = A(\Psi', Y', Z^*) \in D_X,$$

переводящее обучающегося из текущего состояния в состояние, близкое к  $Y^*$ . Здесь  $A$  – алгоритм управления процессом обучения. Предполагая, что модель ученика, связывающая его наблюдаемые входы и выходы, имеет вид  $Y' = M_L(\Psi', X)$ , в [13] задача синтеза оптимального управления  $X^*$  с учетом  $\mu^*$ , как символа некоторой меры близости, записывается в виде:

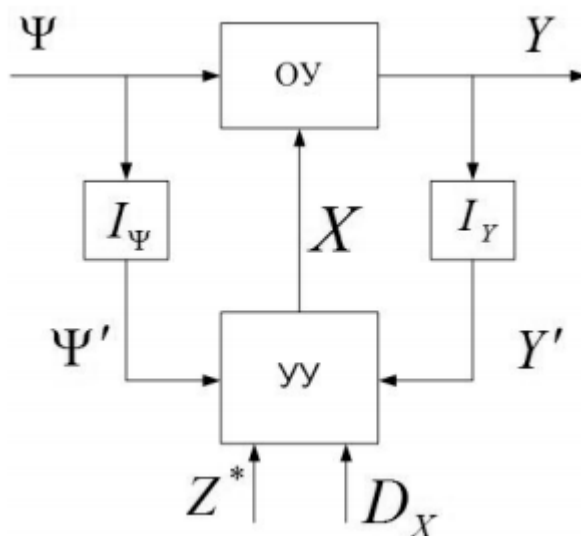


Рис. 1. Общая структура адаптивной обучающей системы [13]  
 Fig. 1. The overall structure of the adaptive training system [13]

$$\text{Min}_X \mu(Y - M_L(\Psi', X)) = \mu(Y - M_L(\Psi', X^*)), X \in D_X.$$

Для решения поставленной задачи была применена искусственная нейронная сеть (ИНС). Реализация ИНС проведена в собственной программной разработке – адаптивной обучающей системе CATS (англ. Care About The Students). Такое название было предложено студентами факультета информационных технологий и робототехники Белорусского национального технического университета и в результате голосования получило наибольшее количество баллов. Полный перечень функциональных возможностей системы CATS приведен в [14]. В данной работе остановимся на новой функциональности, интегрированной в систему в 2018 году, которая позволяет определять степень усвоения знаний обучающимися, а также указывает перечень тем, которые необходимо изучить повторно.

**Программные модули обучающей системы CATS, работающие с искусственной нейронной сетью.** Адаптивное обучение в АОС CATS взаимодей-

ствует с двумя программными модулями системы: электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) и модуль для тестирования знаний. В ЭУМК можно создавать электронный учебник, добавив файлы PDF-формата, видео- и аудиозаписи и затем объединив их в отдельные темы для изучения. В модуле тестирования знаний создаются тесты, вопросы которых связаны с темами из ЭУМК. Для демонстрации принципов работы ИНС создадим три темы для изучения: «Сложение», «Вычитание» и «Сложные арифметические операции» (рис. 2).

В каждой из изучаемых тем разрабатываем тест из 10 вопросов с заданной сложностью от 1 до 10 (рис. 3). Первые три вопроса, приведенные на рис. 3, связаны с темой «Сложение» и имеют следующие уровни сложности – 2, 2, 3. Четвертый, пятый и восьмой вопросы посвящены теме «Вычитание» и так же имеют сложности 2, 2, 3. Шестой, седьмой и последние два вопроса рассматривают тему «Сложные арифметические операции» и по уровню сложности оцениваются на 2, 5, 3, 2, соответственно.

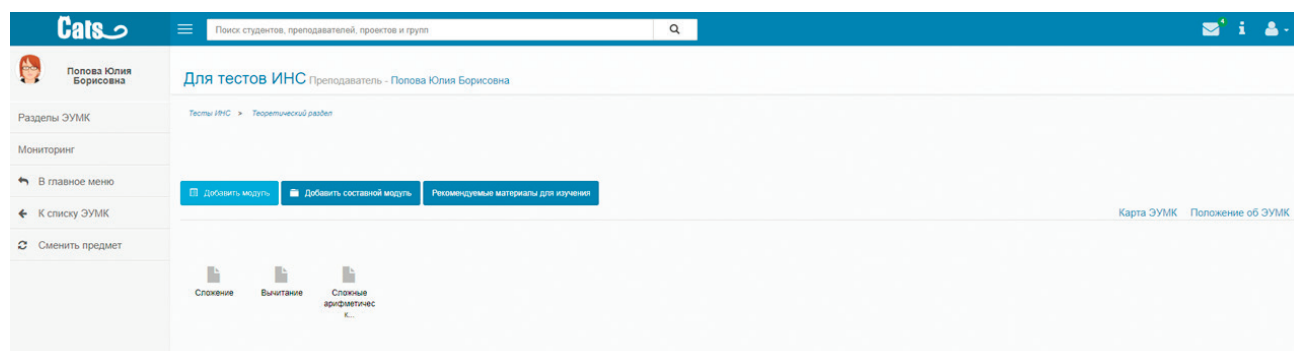


Рис. 2. Копия экрана при создании тем для изучения в электронном учебно-методическом комплексе обучающей системы CATS  
Fig. 2. The screen copy of topics creating for study in the electronic educational-methodical complex in the CATS training system

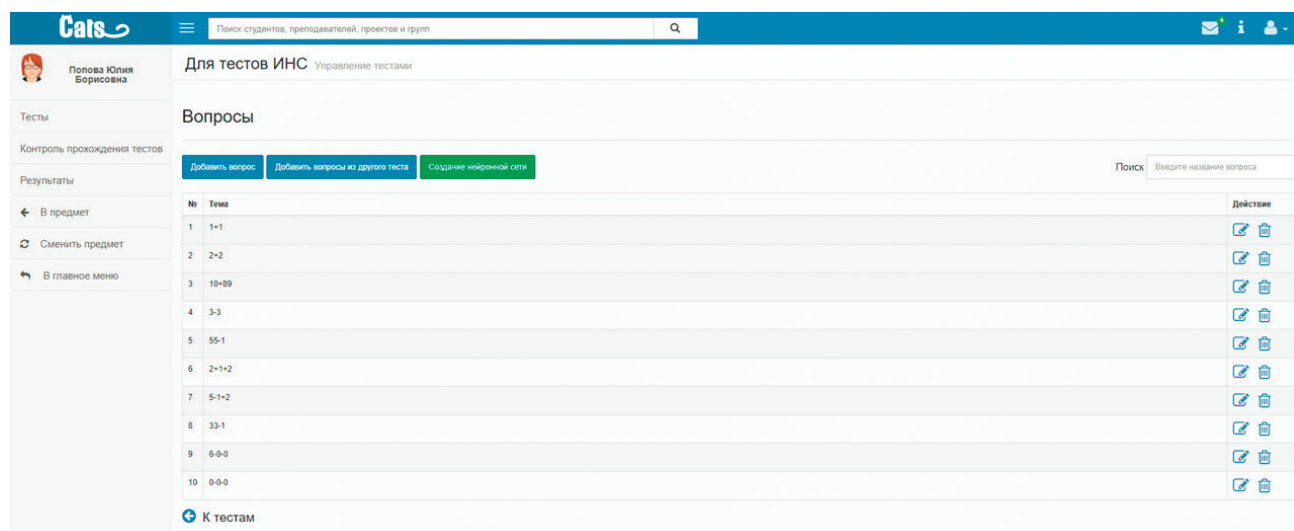


Рис. 3. Копия экрана для создания тестов в обучающей системе CATS  
Fig. 3. Screenshot for creating tests in the CATS training system

Таким образом, все вопросы теста могут сформировать обучающую выборку, представляя собой входы в искусственную нейронную сеть, а количество выходов будет определяться числом тем, которые необходимо изучить.

Обучающая выборка – это нормализованные данные в диапазоне от 0 до 1, что определяет степень усвоения материала. В свою очередь в качестве предела достаточной обученности принят коэффициент 0,7. Соответственно, при получении результата, близкого к нулю, курс будет считаться успешно освоенным, к единице – тема не засчитывается, а учащемуся будут предложены дополнительные материалы для изучения. В пограничной ситуации принимается во внимание уровень сложности вопросов, на которые был дан правильный ответ. Если на вопросы с уровнем сложности 3 и 5 тестируемый ответил верно, а на остальные нет, то тест считается пройденным, а тема не требующей повторения.

#### Описание искусственной нейронной сети.

На рис. 4 представлена графическая модель, демонстрирующая построенную ИНС с 10 вопросами по 3 темам изучаемого курса. Внутренний (скрытый) слой искусственной нейронной сети определяется количеством входных нейронов, разделенным на 2. Количество скрытых слоев зависит от количества входов. Чем больше скрытых слоев в ИНС, тем лучше может быть обучена искусственная нейронная сеть, а распределение данных будет более равномерным. Для рассматриваемого примера достаточно двух скрытых слоев.

Для реализации описанной выше функциональности была выбрана автоматически генерируемая искусственная нейронная сеть, где количество входов зависит от количества вопросов, на которые должен ответить обучающийся, а количество выходов зависит от количества тем, к которым относятся вопросы выбранного для прохождения теста.

Наиболее распространенным и удобным способом обучения искусственной нейронной сети для решения такого типа задач является метод обратного распространения ошибки [15]. Перед началом обучения веса у сети проставляются случайным образом. На вход функция принимает определенные наборы данных (входы-выходы), которые являются обучающей выборкой. На первоначальном этапе идет настройка системы, определение количества итераций обучения и значений ошибки. Если установить слишком высокий или слишком низкий уровень для данных показателей, то в результате можно либо недоучить, либо переучить систему. Поэтому обучение, как правило, проводится несколько раз с корректировкой этих параметров. На следующем этапе выполняется проход сети с использованием входных данных для обучения. Результатом являются выходные данные, на основе которых будет происходить дальнейшая корректировка весов. Затем начинается проход ИНС в обратном направлении и расчет ошибки, на основе которой также происходит корректировка весов. Алгоритм работает до тех пор, пока не будет достигнут прием-

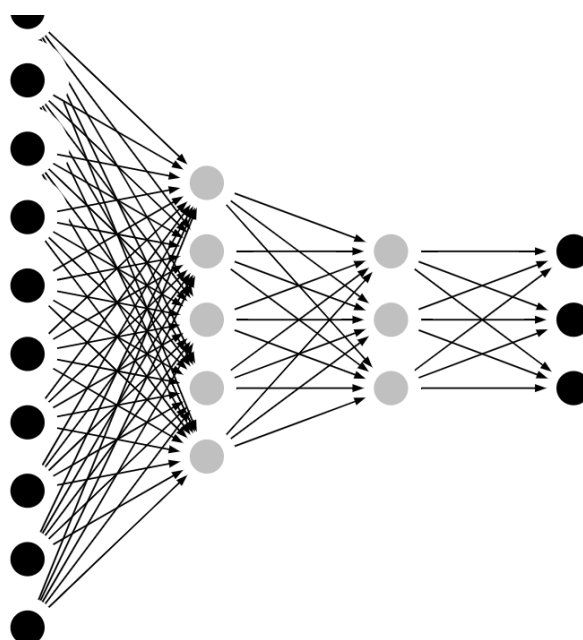


Рис. 4. Графическое отображение искусственной нейронной сети для 10 вопросов по 3 темам изучаемого курса  
Fig. 4. Graphic display of an artificial neural network for 10 questions on 3 topics of the course under study

лемый уровень ошибки, либо не закончены все итерации [16–17].

**Анализ полученных результатов.** Были имитированы следующие ситуации для анализа результатов работы искусственной нейронной сети на вопросах теста, представленного на рис. 3:

- на все вопросы теста даны правильные ответы – система выдавала результат, что все темы изучены, ничего повторять не надо;

- на все вопросы теста даны неверные ответы – AOC CATS предлагала заново изучить все темы;

- только на часть вопросов получены верные ответы – обучающая система выдавала результат в зависимости от правил обучающей выборки и сложности вопросов (рис. 5).

На рис. 5 приведен фрагмент теста, на котором пользователь отвечает на вопрос №8. Зелено-красная полоса внизу рисунка показывает, на какие вопросы были получены верные и неверные ответы до текущего момента. Вопросы в тесте появляются в произвольном порядке, несовпадающем с приведенным на рис. 3. Результаты работы искусственной нейронной сети для описываемого примера приведены на рис. 6, где показано, что темы «Сложение» и «Вычитание» подлежат повторному изучению, а тема «Сложные арифметические операции» достаточно изучена.

Таким образом, разработанная ИНС позволила автоматически определить степень усвоения обучающимся той или иной темы учебного материала и разработать рекомендации по повторному обучению, не прибегая к полному анализу результатов тестирования преподавателем вручную.

Таким образом, разработанная ИНС позволила автоматически определить степень усвоения обучающимся той или иной темы учебного материала и разработать рекомендации по повторному обучению, не прибегая к полному анализу результатов тестирования преподавателем вручную.

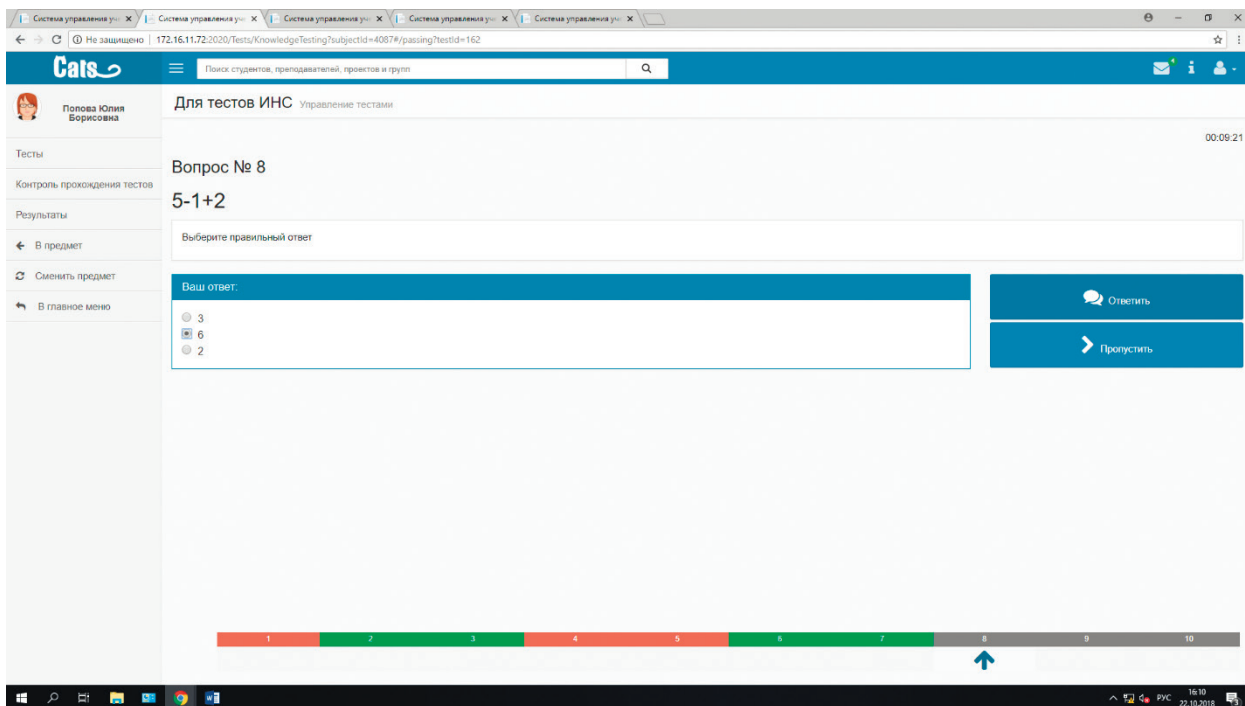


Рис. 5. Копия экрана вопросов и ответов теста в обучающей системе CATS  
Fig. 5. A copy of the screen for test questions and answers in the CATS training system

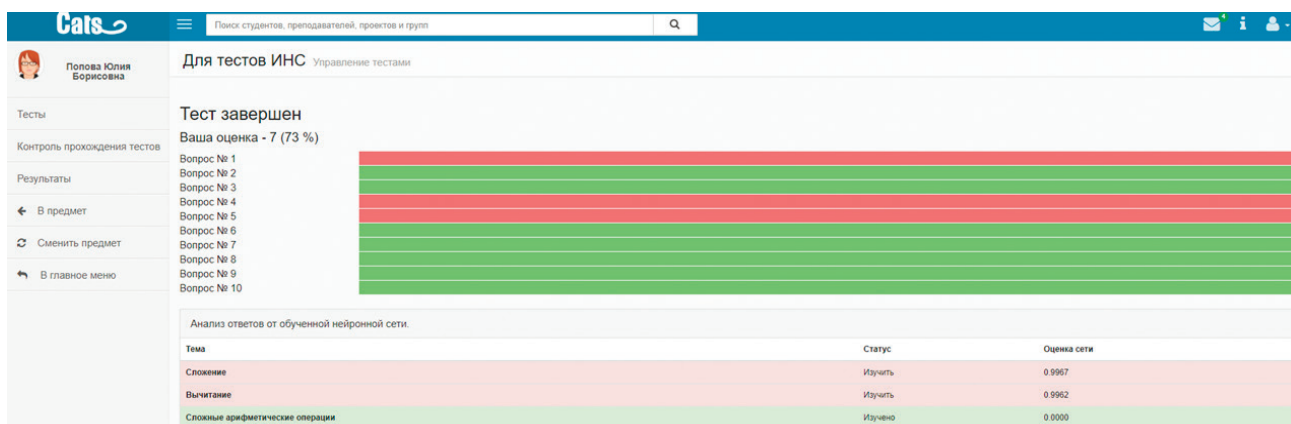


Рис. 6. Результаты тестирования и работы искусственной нейронной сети в обучающей системе CATS  
Fig. 6. Test results and operation of an artificial neural network in the CATS training system



**Заключение.** Основная идея использования искусственной нейронной сети в АОС CATS заключается в применении ее под конкретный учебный материал, чтобы по окончании изучения курса или его отдельной темы обучающийся мог без участия преподавателя определить не только свой уровень знаний, проходя тесты, но и получить рекомендации, какой материал необходимо изучить дополнительно вследствие пробелов в изучаемых вопросах. Такой подход также позволяет провести первоначальный анализ знаний до начала прохождения темы и предоставить уникальный для каждого отдельного обучающегося набор учебных материалов.

Разработанная ИНС может быть применена для изучения любой дисциплины с различным количеством тем и вопросов по ней.

В настоящее время для подготовки инженеров-программистов на факультете информационных технологий и робототехники Белорусского национального технического университета осуществляется разработка наборов тестов по следующим дисциплинам: «Тестирование и отладка программного обеспечения», «Надежность программного обеспечения», «Модульное тестирование». Применение описанного в данной работе подхода позволит значительно сократить время их изучения, повысить качество обучения и увеличить его эффективность.

### Список литературы

1. Попова, Ю.Б. Классификация автоматизированных систем управления обучением / Ю.Б. Попова // Системный анализ и прикладная информатика. – 2016. – №2. – С. 51–58.
2. Brusilovsky, P. Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems / P. Brusilovsky // International Journal of Artificial Intelligence in Education – 2003. – №13 (2–4). – P. 159–172.
3. Брусиловский, П.Л. Адаптивные и интеллектуальные технологии в сетевом обучении / П.Л. Брусиловский // Новости искусственного интеллекта. – 2002. – № 5. – С. 25–31.
4. Брусиловский, П.Л. Интеллектуальные обучающие системы / П.Л. Брусиловский // Информатика. Информационные технологии. Средства и системы. – 1990. – № 2. – С. 3–22.
5. Семенова, Н.Г. База знаний интеллектуальной обучающей системы технической дисциплины / Н.Г. Семенова, А.М. Семенов, И.Б. Крылов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 9. – С. 44–54.
6. Пелюшенко, А.В. Обучающие среды и интеллектуальные обучающие системы: возможности использования в образовательном процессе / А. В. Пелюшенко // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2006. – №3. – С. 48–50.
7. Barla, M. On the impact of adaptive test question selection for learning efficiency / M. Barla, M. Bieliková, A. V. Ezzeddinne, T. Kramár, M. Šimko, O Vozár // Computers & Education. – 2010. – №55 (2). – P. 846–857.
8. Григорьев, А.П. О применении нейронных сетей в тестировании знаний / А.П. Григорьев, В.Я. Мамаев // Научное приборостроение. – 2016. – №4. – С. 77–84.
9. Дуплик, С.В. Модель адаптивного тестирования на нечеткой математике / С.В. Дуплик // Информатика и образование. – 2004. – №11. – С. 57–65.
10. Кольцов, Ю. В. Нейросетевые модели в адаптивном компьютерном обучении / Ю. В. Кольцов, Н. Ю. Добровольская // Educational Technology & Society. – 2002. – №5(2). – С. 213–216.
11. Степаненко, Т.А. Об адаптивном обучении в LMS Moodle / Т.А. Степаненко // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах: междунар. сб. науч. тр. Магнитогорск: изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – №2. – С. 371–372.
12. Попова, Ю.Б. Представление знаний в обучающих системах на основе теории нечетких множеств / Ю.Б. Попова, А.И. Бураковский // Системный анализ и прикладная информатика. – 2016. – №2. – С. 58–65.
13. Карпенко, А. П. Модельное обеспечение автоматизированных обучающих систем. Обзор / А. П. Карпенко // Наука и образование [Электронный ресурс]. – МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/193116.html> – Дата доступа: 09.11.2014.
14. Попова, Ю.Б. Функциональные возможности автоматизированной системы управления обучением CATS (Care About The Students) / Ю.Б. Попова // Информатизация образования и методика электронного обучения: материалы II Междунар. науч. конф. Красноярск, 25-28 сентября 2018г.: в 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. М.В. Носкова. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2018. – С. 232–236.
15. David Kriesel. A Brief Introduction to Neural Networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.dkriesel.com/en/science/neural\\_networks](http://www.dkriesel.com/en/science/neural_networks) – Дата доступа: 17.09.2018.
16. Попова, Ю.Б. Обучение искусственных нейронных сетей методом обратного распространения ошибки / Ю.Б. Попова, С.В. Яцынович [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bntu.by/news/67-conferencemido/4860-2016-11-18-15-47-40.html> – Дата доступа: 17.09.2018.
17. Попова, Ю.Б. Реализация искусственной нейронной сети для управления виртуальными объектами / Ю.Б. Попова, С.В. Яцынович // Системный анализ и прикладная информатика. – 2017. – №4. – С. 72–78

## References

1. Popova Ju.B. Classification of automated learning management systems // Sistemnyj analiz i prikladnaja informatika [System Analysis and Applied Informatics], 2008, 2, pp. 51–58 (in Russian).
2. Brusilovsky P. Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems // International Journal of Artificial Intelligence in Education, 2003, (2–4), pp. 159–172.
3. Brusilovskij P.L. Adaptive and intelligent technologies in network education // Novosti iskusstvennogo intellekta [Artificial Intelligence News], 2002, 5, pp. 25–31 (in Russian).
4. Brusilovskij P.L. Intelligent Tutoring Systems // Informatika. Informacionnye tehnologii. Sredstva i sistemy [Computer Science. Information Technology. Tools and Systems], 1990, 2, pp. 3–22 (in Russian).
5. Semenova N.G., Semenov A.M., Krylov I.B. Knowledge base of the intellectual training system of technical discipline // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State University], 2013, 9, pp. 44–54 (in Russian).
6. Peljushenko A.V. Learning environments and intelligent tutoring systems: opportunities for use in the educational process // Izvestija Volgogradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta [News of Volgograd State Technical University], 2006, 3, pp. 48–50 (in Russian).
7. Barla M., Bieliková M., Ezzeddinne A. B., Kramár T., Šimko M., Vozár O. On the impact of adaptive test question selection for learning efficiency // Computers & Education, 2010, 55 (2), pp. 846–857.
8. Grigor'ev A.P., Mamaev V.Ja. On the use of neural networks in knowledge testing // Nauchnoe priborostroenie [Scientific Instrument Engineering], 2016, 4, pp. 77–84 (in Russian).
9. Duplik S.V. Model of adaptive testing in fuzzy math // Informatika i obrazovanie [Computer science and Education], 2004, 11, pp. 57–65 (in Russian).
10. Kol'cov Ju. V., Dobrovol'skaja N. Ju. Neural network models in adaptive computer training // Educational Technology & Society, 2002, 5(2), pp. 213–216 (in Russian).
11. Stepanenko T.A. About adaptive learning in LMS Moodle // Matematicheskoe i programmnoe obespechenie sistem v promyshlennoj i social'noj sferah [Mathematical and Software Systems in the Industrial and Social Fields], Magnitogorsk, 2012, 2, pp. 371–372 (in Russian).
12. Popova Ju.B., Burakovskij A.I. Representation of knowledge in training systems based on the theory of fuzzy sets // Sistemnyj analiz i prikladnaja informatika [System Analysis and Applied Informatics], 2016, 2, pp. 58–65 (in Russian).
13. Karpenko A. P. Model provision of automated training systems. Overview // Nauka i obrazovanie [Science and Education], 2011. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/193116.html> (accessed: 09.11.2014) (in Russian).
14. Popova Ju.B. The functionality of CATS (Care About The Students) automated learning management system // Informatizacija obrazovanija i metodika jelektronnoho obuchenija [Informatization of Education and e-Learning Methods], Krasnojarsk, 2018, ch. 1, pp. 232–236 (in Russian).
15. David Kriesel. A Brief Introduction to Neural Networks. Available at: [http://www.dkriesel.com/en/science/neural\\_networks](http://www.dkriesel.com/en/science/neural_networks) (accessed: 17.09.2018).
16. Popova Ju.B., Jacynovich S.V. Training of artificial neural networks by the method of back propagation of error. Available at: <http://www.bntu.by/news/67-conference-mido/4860-2016-11-18-15-47-40.html> (accessed: 17.09.2018) (in Russian).
17. Popova Ju.B., Jacynovich S.V. Implementation of an artificial neural network for managing virtual objects // Sistemnyj analiz i prikladnaja informatika [System Analysis and Applied Informatics], 2017, 4, pp. 72–78 (in Russian).

*Received: 21.03.2019*

*Поступила: 21.03.2019*

## Сравнительный анализ нейросетевой и регрессионных моделей прогнозирования временных рядов

**С. В. Шолтанюк**, ассистент кафедры компьютерных технологий и систем ФПМИ

E-mail: SSholtanyuk@bsu.by

ORCID ID: 0000-0003-0266-7135

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, д. 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Рассмотрена и исследована возможность применения нейронных сетей при решении задачи прогнозирования временных рядов. Для этого было осуществлено обучение нейронной сети для различных рядов с предварительным подбором оптимального набора гиперпараметров. Проведён сравнительный анализ полученной нейросетевой прогностической модели с линейной регрессией и авторегрессией, построенными методом наименьших квадратов. Выявлены условия, влияющие на точность и устойчивость результатов нейронной сети.

**Ключевые слова:** нейронная сеть, обучение нейронной сети, гиперпараметры, точность и устойчивость прогнозирования, MAE, линейная регрессия, авторегрессия, метод наименьших квадратов

**Для цитирования:** Шолтанюк, С. В. Сравнительный анализ нейросетевой и регрессионных моделей прогнозирования временных рядов / С. В. Шолтанюк // Цифровая трансформация. – 2019. – № 2 (7). – С. 60–68. <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2019-2-60-68>



© Цифровая трансформация, 2019

## Comparative Analysis of Neural Networking and Regression Models for Time Series Forecasting

**S. V. Sholtanyuk**, assistant of the Department of Computer Applications and Systems, FAMCS

E-mail: SSholtanyuk@bsu.by

ORCID ID: 0000-0003-0266-7135

Belarusian State University, 4 Independence Ave., 220030 Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Applicability of neural nets in time series forecasting has been considered and researched. For this, training of neural network on various time series with preliminary selection of optimal hyperparameters has been performed. Comparative analysis of received neural networking forecasting model with linear regression has been performed. Conditions, affecting on accuracy and stability of results of the neural network, have been revealed.

**Key words:** neural network, training of neural network, hyperparameters, forecasting accuracy and stability, MAE, linear regression, autoregression, ordinary least squares

**For citation:** Sholtanyuk S. V. Comparative Analysis of Neural Networking and Regression Models for Time Series Forecasting. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2019, 2 (7), pp. 60–68 (in Russian). <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2019-2-60-68>

© Digital Transformation, 2019

**Введение.** В настоящее время разработаны и исследованы различные классы моделей и методов прогнозирования временных рядов. Прогностические модели можно разделить на две категории. В статистических моделях зависимость значения временного ряда в тот или иной момент времени от его же значений в предыдущие моменты выражается формулой. В структурных мо-

делях зависимость значения временного ряда от предыдущих задаётся в виде некоторой структуры [1]. Такие модели используются, как правило, в тех случаях, когда вывести эту зависимость в аналитическом виде представляется затруднительным.

К структурным прогностическим моделям относятся, в частности, нейросетевые модели про-

гнозирования. В таких моделях, в отличие от статистических, на точность и устойчивость результатов прогнозирования влияют не только исходные данные, являющиеся объектом прогнозирования, но и некоторые структурные характеристики нейронных сетей (количество нейронов и связи между ними, функции активации, длительность обучения и др.). Это усложняет использование нейронных сетей и является их недостатком. Поэтому интерес представляет сравнение статистического и структурного подходов к прогнозированию различных временных рядов.

**Особенности нейросетевой модели анализа и прогнозирования временных рядов.** Цель данной работы заключается в сравнении структурного (прогностическая нейронная сеть) и статистического (регрессионные модели) подходов к прогнозированию временных рядов, а также в последующем выборе оптимальной модели прогнозирования для того или иного временного ряда. В связи с этой целью были поставлены следующие задачи:

- подбор оптимальных значений гиперпараметров нейросети;
- сравнение результатов по точности нейронной сети и регрессионных моделей для временных рядов с линейными и нелинейными трендами.

Объектом исследования является нейронная сеть, состоящая из трёх последовательных слоёв. Выбор такой архитектуры связан, с одной стороны, с тем, что нейронные сети с одним скрытым слоем являются универсальными аппроксиматорами функций [2], а с другой – использование глубоких нейронных сетей не приводит к улучшению результатов по сравнению с нейросетями с 1-2 скрытыми слоями [3]. Входной слой содержит  $p$  нейронов, на которые подаются  $p$  последовательно идущих элементов рассматриваемого ряда. После входного следует скрытый слой, который может содержать произвольное количество нейронов. На этом слое действует функция активации ReLU, которая задаётся формулой

$$f(x) = \max(0, x).$$

Выходной слой содержит только один нейрон, на котором вычисляется результат предсказания значения временного ряда по  $p$  предыдущим значениям (лагам). Эта нейронная сеть является полностью связанной, то есть все нейроны каждого слоя (кроме выходного) соединены со всеми нейронами следующего слоя направленными связями

(синапсами), каждая из которых обладает своим весом. Кроме того, входные данные предварительно нормируются по формуле

$$x' = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, \quad (1)$$

где  $x$  – значение до нормировки,  $x' \in [0, 1]$  – после нормировки,  $x_{min}$  и  $x_{max}$  – соответственно минимальное и максимальное значения временного ряда. К значению, полученному на выходе нейронной сети, применяется преобразование, обратное преобразованию (1), в результате чего получается прогнозное значение временного ряда.

**Схема оценивания гиперпараметров и анализ работы нейронной сети.** Алгоритм, реализующий нейронную сеть, описанную в предыдущем пункте, реализован на языке R с использованием библиотеки Keras [4; 5]. Построение нейросетевой модели для каждого ряда осуществляется путём обучения нейронной сети.

Обучение нейронной сети происходит следующим образом. Вначале формируется  $n - p$  обучающих примеров, где  $n$  – это длина рассматриваемого временного ряда, каждый из которых представляет собой вектор из  $p$  последовательных элементов временного ряда, которому поставлен в соответствие следующий,  $p + 1$ -ый элемент этого же ряда. После чего нейронная сеть обучается на этих примерах определённое количество эпох. Таким образом, нейронная сеть обладает следующими гиперпараметрами, которые следует оценить:

- количество нейронов на входном слое  $p$  (которое также указывает максимальный порядок лага, по которому будет осуществляться прогнозирование ряда);
- количество нейронов на скрытом слое;
- количество эпох обучения.

Осуществляется подбор алгоритма оптимизации нейросети, т. е. алгоритм перерасчёта весов синапсов на каждой эпохе, на примере смоделированного ряда с детерминированным квадратичным трендом:

$$y_t = a + bt + ct^2 + \xi_t, \quad t = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где  $y_t$  – значение временного ряда в момент времени  $t$ ,  $a$ ,  $b$  и  $c$  – параметры, задающие тренд,  $\xi_t$ ,  $t = \overline{1, n}$  – случайные величины с нормальным распределением с нулевым математическим ожиданием и заданной дисперсией  $\sigma^2$ .

После выбора алгоритма оптимизации производилось оценивание гиперпараметров

Таблица 1. Сравнение результатов работы нейронной сети на примере ряда  $y_t = a + bt + ct^2 + \xi_t$ ,  $t = \overline{1, n}$ ,  $\xi_t \in N(0, \sigma^2)$ . Приведены результаты при  $a = 21,4$ ,  $b = 3,2$ ,  $c = 0,07$ ,  $n = 1109$ ,  $\sigma = 15$ ,  $Q = 25$   
 Table 1. Comparison of the neural network performance on an example of series  $y_t = a + bt + ct^2 + \xi_t$ ,  $t = \overline{1, n}$ ,  $\xi_t \in N(0, \sigma^2)$ . Results for  $a = 21,4$ ,  $b = 3,2$ ,  $c = 0,07$ ,  $n = 1109$ ,  $\sigma = 15$ ,  $Q = 25$  are given

Название функции-оптимизатора	Среднее значение MAE	Среднее квадратическое отклонение MAE
adadelta	191,79	265,55
adagrad	19,98	5,63
adam	107,89	154,34
adamax	184,50	349,35
nadam	83,21	85,46
rmsprop	462,29	498,85
sgd	26,20	9,97

на примере ряда (2). Для этого осуществлялось обучение нейронной сети на этом ряде с различными наборами значений гиперпараметров. Для каждого из этих наборов обучение повторялось  $Q$  раз. После каждого обучения вычислялось среднее абсолютное отклонение, или MAE (mean absolute error), по следующей формуле:

$$e_q = \frac{1}{n - p + 1} \sum_{t=p+1}^n |y_t - \hat{y}_{q,t}|, \quad q = \overline{1, Q}, \quad (3)$$

где  $\hat{y}_{q,t}$ ,  $t = \overline{p+1, n}$ ,  $q = \overline{1, Q}$ , – прогнозные значения временного ряда  $y_t$ . Для полученных значений  $e_q$ ,  $q = \overline{1, Q}$ , вычислялось затем их среднее значение и среднее квадратическое отклонение. После сравнения этих характеристик происходил выбор оптимальных значений гиперпараметров.

В таблице 1 представлены результаты работы нейронной сети на примере ряда (2) при использовании различных функций-оптимизаторов (эксперимент для каждого оптимизатора повторялся  $Q$  раз).

Как видно из таблицы 1, для большинства алгоритмов оптимизации, реализованных в библиотеке Keras, среднее квадратическое отклонение MAE превышает их среднее значение, что свидетельствует о неустойчивости нейронной сети в этих случаях. Поэтому в качестве функции-оптимизатора во время обучения использовался метод адаптивного градиента, или AdaGrad, который показал лучшую устойчивость нейронной сети по сравнению с другими оптимизаторами.

Данный метод является модификацией метода стохастического градиентного спуска (SGD), широко применяющегося при обучении нейронных сетей. В отличие от SGD, где длина вектора-градиента, вдоль которого изменяются веса

синапсов нейросети, не зависит от входных данных, в AdaGrad учитывается повторяемость входных данных для того, чтобы принять во внимание редко встречающиеся значения временного ряда, которые могут повлиять на искомую модель [6]. Так, если при стохастическом градиентном спуске параметры  $\theta_i$ ,  $i = \overline{1, \nu}$ , функции оптимизации  $J(\theta)$  пересчитываются по формуле

$$\theta_{\tau+1, i} = \theta_{\tau, i} - \eta \cdot \nabla_{\theta} J(\theta_{\tau, i}),$$

где  $\theta_{\tau+1}$  – значение параметра  $\theta_i$  в начале  $\tau$ -ой эпохи,  $\eta$  – гиперпараметр, называемый скоростью обучения, то при использовании адаптивного градиента имеет место преобразование вида

$$\theta_{\tau+1, i} = \theta_{\tau, i} - \frac{\eta}{\sqrt{G_{\tau, ii} + \varepsilon}} \cdot \nabla_{\theta} J(\theta_{\tau, i}),$$

где  $G_{\tau}$  – диагональная матрица порядка  $\nu$ , в которой  $i$ -ый диагональный элемент  $G_{\tau, ii}$  равен сумме квадратов частных производных функции  $J$  по параметру  $\theta_i$ , полученных на первых  $\tau$  эпохах,  $\varepsilon$  – сглаживающая переменная, предотвращающая деление на ноль (обычно используются значения порядка  $10^{-8}$ ) [7].

После оценивания гиперпараметров нейронная сеть применялась для построения прогнозов рядов с детерминированными трендами следующего вида:

$$\begin{aligned} y_t &= a + bt + \xi_t, \\ y_t &= a + bt + csint + \xi_t, \\ y_t &= a + bt + ct^2 + \xi_t, \\ y_t &= asint + bt^2 + \xi_t, \\ y_t &= a + bsint + \xi_t, \end{aligned}$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , – параметры тренда,  $\xi_t \in N(0, \sigma^2)$ . При этом инициализация весов синапсов для данных



рядов проводилась случайным образом. После обучения нейронной сети определялось MAE по формуле (3). Эта процедура повторялась  $Q$  раз для каждого временного ряда.

Для каждого рассматриваемого ряда также строилась линейная регрессионная модель вида

$$y_t = \alpha + \beta t + \xi_t, t = \overline{1, n}, \quad (4)$$

а также авторегрессионная модель по формуле

$$y_t = \beta_1 y_{t-1} + \beta_2 y_{t-2} + \dots + \beta_p y_{t-p} + \xi_t, t = \overline{p+1, n}, \quad (5)$$

методом наименьших квадратов. Для обеих моделей затем вычислялись средние абсолютные отклонения прогнозных значений от заданных по формуле (3) (для модели (4) полагалось  $p = 0$ ). Эти

средние абсолютные отклонения сравнивались со статистическими характеристиками MAE, полученными для нейронной сети.

**Результаты исследования.** Примеры результатов работы нейронной сети при различных значениях гиперпараметров приведены в таблице 2.

При десяти нейронах на скрытом слое нейронная сеть является менее точной и устойчивой, о чем свидетельствуют показатели среднего значения и среднего квадратического отклонения MAE, которые превышают аналогичные результаты при других количествах нейронов на скрытом слое. В остальных случаях связь между количеством нейронов на входном и скрытом слоях явно не прослеживается. Из всех рассмотренных результатов наилучшие получены при

Таблица 2. Точность работы нейронной сети на примере ряда  $y_t = a + bt + ct^2 + \xi_t, t = \overline{1, n}$   
Table 2. Accuracy of the neural network performance on an example of the series  $y_t = a + bt + ct^2 + \xi_t, t = \overline{1, n}$

Количество нейронов на входном слое $p$	Количество нейронов на скрытом слое	Среднее значение MAE	Среднее квадратическое отклонение MAE
5	10	70,33	90,39
5	50	26,79	17,75
5	100	19,26	4,51
5	250	22,32	17,37
5	500	19,11	8,24
5	1000	21,71	6,91
10	10	155,01	493,26
10	50	30,98	23,24
10	100	25,18	13,10
10	250	22,94	11,12
10	500	21,92	10,56
10	1000	23,07	14,31

Таблица 3. Точность работы нейронной сети на примере рядов  $y_t = a + bt + ct^2 + \xi_t, t = \overline{1, n}$   
Table 3. Accuracy of the neural network performance on an example of the series  $y_t = a + bt + ct^2 + \xi_t, t = \overline{1, n}$

Длина ряда	Количество нейронов на скрытом слое	Среднее значение MAE	Среднее квадратическое отклонение MAE
1000	100	21,72	6,95
1000	1000	24,37	16,29
1000	5000	19,82	9,00
1000	20000	24,70	15,14
1000	40000	23,25	15,69
5000	100	92,73	40,47
5000	1000	36,11	12,79
5000	5000	30,26	15,85
5000	20000	47,51	48,85
5000	40000	50,73	39,68

количестве нейронов на скрытом слое, равном 100, и  $p \in \{3,5,7\}$  (были рассмотрены значения  $p \in \{3,5,7,10,15\}$ , количество нейронов на скрытом слое из множества  $\{10,50,100,250,500,1000\}$ ).

Была также рассмотрена зависимость точности работы нейронной сети от количества нейронов скрытого слоя на примере рядов различной длины. Примеры результатов приведены в таблице 3.

Наилучшие результаты по точности и устойчивости были получены при следующих парах значений  $n$  и количества нейронов: (1000, 5000), (1000, 10000), (2500, 5000), (2500, 10000), (5000, 5000), (5000, 10000), (10000, 2500), (10000, 5000) (рассматривались ряды длиной  $n \in \{1000,2500,5000,10000\}$  и количество нейронов из множества  $\{100, 500, 1000, 5000, 10000, 20000, 25000, 40000\}$ ). При  $n = 1000$  получились примерно равные результаты для различного количества нейронов на скрытом слое, для других показателей  $n$  лучшую точность и устойчивость нейронная сеть продемонстрировала при 2500–10000 нейронах.

На компьютере с процессором Intel® Core™ i5-3230M CPU 2.60 GHz среднее время обучения нейронной сети для ряда длиной  $n = 1000$  – 9 секунд за одну эпоху, при  $n = 1000$  – 82 секунды и не зависит от количества нейронов. Обучение проводилось в течение 5-10 эпох, так как при дальнейшем обучении точность результатов нейронной сети изменяется незначительно (рис. 1–2).

На рисунках 1 и 2 видно, что значительное улучшение результатов для различных временных рядов достигается после второй эпохи, например, для ряда с квадратичным трендом (рис. 1) MAE нормированных данных уменьшилось в 10 раз по сравнению с первой эпохой. При дальнейшем обучении среднее абсолютное отклонение либо остаётся практически неизменным (рис. 1), либо медленно уменьшается (например, для ряда  $y_t = a + bt + csint + \xi_t$  (рисунок 2) MAE после 12-ой эпохи составило  $2,3 \cdot 10^{-3}$ , а после 24-ой –  $2,2 \cdot 10^{-3}$ , т. е. при увеличении количества эпох в 2 раза результаты улучшились в  $23/22 \approx 1,045$  раза).

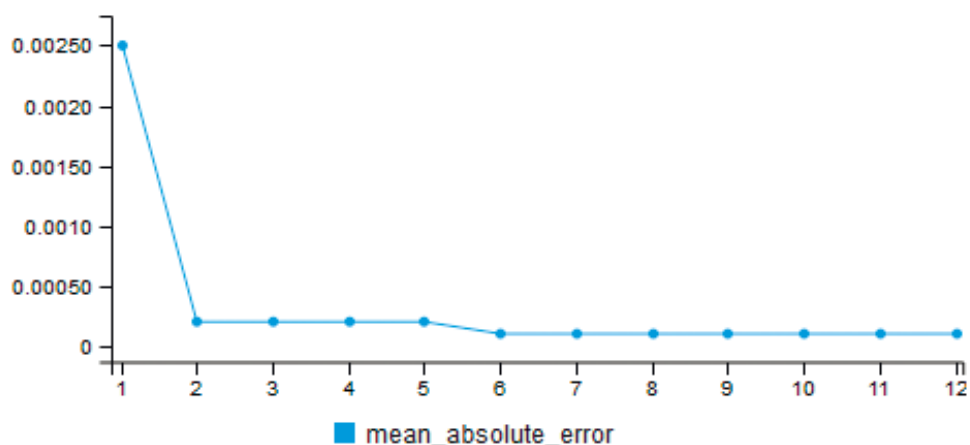


Рис. 1. Динамика значений MAE для нормированных данных после каждой эпохи в процессе обучения нейронной сети при прогнозировании ряда  $y_t = a + bt + ct^2 + \xi_t$

Fig. 1. Dynamics of mean absolute errors for normalized data after each epoch during the neural network training for forecasting of series  $y_t = a + bt + ct^2 + \xi_t$

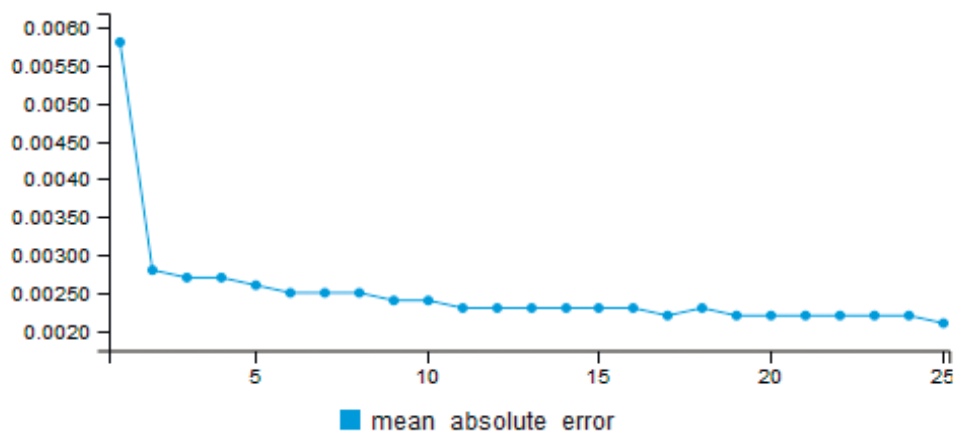


Рис. 2. Динамика значений MAE для нормированных данных при прогнозировании ряда  $y_t = a + bt + csint + \xi_t$

Fig. 2. Dynamics of mean absolute errors for normalized data, when forecasting series  $y_t = a + bt + csint + \xi_t$

Таблица 4. Сравнение точности нейросетевой модели с регрессионными моделями для рядов вида  $y_t = a + bt + \xi_t$ ,  $t = \overline{1, n}$ ,  $\xi_t \in N(0, \sigma^2)$

Table 4. Comparison of accuracy of neural networking model with regression models for series  $y_t = a + bt + \xi_t$ ,  $t = \overline{1, n}$ ,  $\xi_t \in N(0, \sigma^2)$

a	b	σ	Нейронная сеть		Значение MAE (линейная регрессия)	Значение MAE (авторегрессия)
			Среднее значение MAE	Среднее квадратическое отклонение MAE		
5	1	10	10,06	6,00	8,07	10,59
5	5	10	10,84	11,32	8,13	12,41
5	10	10	10,93	13,64	7,94	15,78
5	50	10	13,42	19,43	8,01	55,51
5	100	10	16,39	35,33	7,56	108,95
10	1	10	9,51	5,03	7,89	10,68
10	5	10	11,09	12,38	8,26	12,26
10	10	10	12,31	20,22	8,38	15,98
10	50	10	16,05	31,38	8,16	55,41
10	100	10	19,35	61,89	7,84	109,02
1	10	1	1,88	2,09	0,76	10,90
1	10	5	6,25	1,78	3,98	12,19
1	10	10	12,59	5,60	8,12	15,87
1	10	50	53,59	9,64	42,12	61,86
1	10	100	101,13	12,89	82,10	101,14

В дальнейшем анализировалась зависимость точности работы нейросети от параметров  $a, b, c, \sigma$  при  $p = 7$  и 100 нейронах на скрытом слое. Полученные характеристики средних абсолютных отклонений и их сравнение с MAE у регрессионных моделей для рядов с линейным трендом представлены в таблице 4.

Для всех рядов с линейным трендом нейросетевая модель оказалась более точной, чем авторегрессионная модель (5), но менее точной по сравнению с линейной регрессией (4). Кроме того, среднее абсолютное отклонение при использовании модели (4) не зависит от свободного члена и коэффициента, которыми задаётся линейный тренд рядов, в то время как в нейросетевой модели при увеличении коэффициента  $b$  точность и устойчивость результатов ухудшаются. Дисперсия  $\sigma^2$  также влияет на точность и устойчивость результатов.

В таблицах 5–8 представлены результаты по точности и сравнение моделей для рядов с нелинейным трендом.

При прогнозировании рядов с линейным трендом и синусоидальными колебаниями важную роль играет дисперсия  $\sigma^2$  случайных величин  $\xi_t$ , увеличение которой влечёт рост значений MAE при использовании рассмотренных моделей.

При прогнозировании рядов с квадратичным трендом влияние на работу моделей оказывает также трендовый параметр  $c$ , при увеличении которого наблюдается ухудшение точности и устойчивости нейросетевой модели, а также ухудшение точности регрессионных моделей.

Для рядов вида  $y_t = asint + bt^2 + \xi_t$  при увеличении коэффициента  $b$  увеличиваются MAE у нейронной сети и у авторегрессии, причём при использовании авторегрессии изменение результатов более существенно. Влияние параметров  $a$  и  $\sigma$  менее значительно.

Для рядов с синусоидальными колебаниями, не имеющих тренда, точность прогнозирования зависит исключительно от дисперсии  $\sigma^2$ .

В целом из таблиц 5–8 можно сделать вывод, что для рядов с нелинейным трендом лучше подходит нейросетевая модель. Исключение составили ряды вида  $y_t = 1 + t + csint + \xi_t$  при  $c = 1$  и  $c = 10$  (таблица 5). В этом случае нелинейный компонент  $csint$ , значение которого варьируется от  $-c$  до  $c$ , оказывает меньшее влияние на поведение ряда, нежели случайные величины  $\xi_t$ , значения которых варьируются в пределах  $(-3\sigma, 3\sigma)$ , т. е. от  $-3$  до  $3$ , от  $-30$  до  $30$  и от  $-150$  до  $150$  для рассмотренных примеров. Поэтому здесь результаты нейрон-

Таблица 5. Сравнение точности нейросетевой модели с регрессионными моделями для рядов вида  $y_t = 1 + t + csint + \xi_t$ ,  $t = \overline{1, n}$ ,  $\xi_t \in N(0, \sigma^2)$

Table 5. Comparison of neural networking model with regression models for series  $y_t = 1 + t + csint + \xi_t$ ,  $t = \overline{1, n}$ ,  $\xi_t \in N(0, \sigma^2)$

с	$\sigma$	Нейронная сеть		Значение MAE (линейная регрессия)	Значение MAE (авторегрессия)
		Среднее значение MAE	Среднее квадратическое отклонение MAE		
1	1	1,35	2,26	0,97	1,65
1	10	9,46	4,63	7,94	10,48
1	50	42,48	2,92	38,68	43,28
10	1	3,84	5,38	6,41	5,11
10	10	10,88	7,27	9,74	11,75
10	50	42,23	7,95	38,59	43,21
50	1	1,32	1,19	31,81	4,64
50	10	11,47	8,37	32,99	12,96
50	50	47,17	8,28	50,72	48,03

Таблица 6. Сравнение точности нейросетевой модели с регрессионными моделями для рядов вида  $y_t = 1 + t + ct^2 + \xi_t$ ,  $t = \overline{1, n}$ ,  $\xi_t \in N(0, \sigma^2)$

Table 6. Comparison of neural networking model with regression models for series  $y_t = 1 + t + ct^2 + \xi_t$ ,  $t = \overline{1, n}$ ,  $\xi_t \in N(0, \sigma^2)$

с	$\sigma$	Нейронная сеть		Значение MAE (линейная регрессия)	Значение MAE (авторегрессия)
		Среднее значение MAE	Среднее квадратическое отклонение MAE		
0,01	1	1,80	4,43	641,55	14,98
0,01	10	12,31	14,69	641,38	18,89
0,01	50	47,86	26,46	643,20	57,56
0,1	1	13,00	46,00	6415,04	140,45
0,1	10	16,08	30,37	6414,37	140,97
0,1	50	59,73	76,45	6416,26	152,50
1	1	135,08	490,01	64149,95	1395,65
1	10	127,08	495,31	64150,18	1395,72
1	50	109,20	154,98	64150,21	1396,38

ной сети схожи с результатами по рядам с линейным трендом, и она работает хуже, чем линейная регрессионная модель (4).

Кроме того, результаты работы нейронной сети оказались несколько хуже, чем у авторегрессионной модели (5), для рядов  $y_t = asint + bt^2 + \xi_t$  при  $a = 50$ ,  $b = 0,02$  и  $y_t = asint + bsint + \xi_t$  (таблицы 7 и 8). Связано это с тем, что данным рядам присуща ярко выраженная периодичность, в силу которой имеет место явная зависимость значения временного ряда в тот или иной момент времени от его же значений в прошлом, которую можно оценить авторегрессионной моделью.

При увеличении дисперсии случайных величин  $\xi_t$  точность нейронной сети уменьшается,

а на устойчивость влияние дисперсии не прослеживается. Параметры, задающие тренд временного ряда, оказывают влияние преимущественно на точность модели, а её устойчивость не всегда зависит от них. Например, в рядах  $y_t = 1 + t + ct^2 + \xi_t$  при увеличении параметра с среднее квадратическое отклонение MAE тоже значительно увеличивается (таблица 6), в остальных случаях такой явной зависимости не наблюдается.

**Заключение.** Из результатов исследования можно сделать вывод, что последовательные трёхслойные полносвязные нейронные сети можно использовать в задачах прогнозирования временных рядов. При этом важную роль играет выбор значений гиперпараметров, который влияет на точность

Таблица 7. Сравнение точности нейросетевой модели с регрессионными моделями для рядов вида  $y_t = asint + bt^2 + \xi_t$ ,  $t = 1, n$ ,  $\xi_t \in N(0, \sigma^2)$

Table 7. Comparison of neural networking model with regression models for series  $y_t = asint + bt^2 + \xi_t$ ,  $t = 1, n$ ,  $\xi_t \in N(0, \sigma^2)$

a	b	σ	Нейронная сеть		Значение MAE (линейная регрессия)	Значение MAE (авторегрессия)
			Среднее значение MAE	Среднее квадратическое отклонение MAE		
10	0,02	1	27,18	16,07	14229,98	28,52
10	0,02	5	24,73	13,86	14229,93	29,13
10	0,02	20	35,21	10,54	14229,50	36,79
10	0,1	1	31,44	20,96	14229,96	139,59
10	0,1	5	28,25	16,36	14229,90	139,71
10	0,1	20	35,24	8,68	14230,65	141,59
50	0,02	1	44,54	11,53	14230,10	40,37
50	0,02	5	49,78	12,01	14229,98	40,57
50	0,02	20	51,37	17,44	14229,41	45,16
50	0,1	1	55,62	51,46	14230,07	142,36
50	0,1	5	49,84	22,22	14230,00	142,49
50	0,1	20	54,02	14,69	14230,02	144,33

Таблица 8. Сравнение точности нейросетевой модели с регрессионными моделями для рядов вида  $y_t = a + bsint + \xi_t$ ,  $t = 1, n$ ,  $\xi_t \in N(0, \sigma^2)$

Table 8. Comparison of neural networking model with regression models for series  $y_t = a + bsint + \xi_t$ ,  $t = 1, n$ ,  $\xi_t \in N(0, \sigma^2)$

a	b	σ	Нейронная сеть		Значение MAE (линейная регрессия)	Значение MAE (авторегрессия)
			Среднее значение MAE	Среднее квадратическое отклонение MAE		
-100	10	1	1,14	0,068	19,16	0,92
-100	10	5	5,18	0,097	19,65	4,40
-100	10	20	18,72	0,274	25,86	16,90
-100	50	1	1,11	0,109	19,16	1,04
-100	50	5	5,26	0,117	19,60	4,48
-100	50	20	20,13	0,166	26,19	17,25
100	10	1	1,06	0,046	19,08	0,90
100	10	5	4,90	0,083	19,59	4,45
100	10	20	19,08	0,194	25,54	16,33
100	50	1	1,07	0,076	19,16	1,10
100	50	5	5,17	0,085	19,77	4,79
100	50	20	19,19	0,310	26,13	17,90

и устойчивость нейронной сети. Было также показано влияние выбора метода оптимизации при обучении нейронной сети на её устойчивость.

Был проведён сравнительный анализ нейросетевой модели с линейной регрессией и авторегрессией, в результате которого выяснилось, что линейная регрессия лучше аппроксимирует ряды с линейным трендом, авторегрессия – ряды с выраженной пери-

одичностью, а нейронная сеть – непериодические ряды с трендом, отличным от линейного. Время прогнозирования нейронной сетью зависит только от количества эпох и длины прогнозируемого ряда. Таким образом, при помощи рассмотренной нейросетевой модели можно за ограниченное время построить прогноз для произвольного временного ряда с детерминированным трендом.



## Список литературы

1. Чучуева, И. А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия : дис. ... канд. тех. наук : 05.13.18 / И. А. Чучуева ; Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана. – М., 2012. – 155 л.
2. Hornik, K. Multilayer feedforward networks are universal approximators / K. Hornik, M. Stinchcombe, H. White // *Neural Networks* – 1989. – Vol. 2, iss. 5. – Pp. 359–366.
3. Bengio, Y. Scaling learning algorithms towards AI / Y. Bengio, Y. LeCun // *Large-Scale Kernel Machines* / L. Bottou [et al.] – Cambridge, MA : MIT Press, 2007. – Pp. 323–362.
4. R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>. – Date of access: 19.01.2019.
5. JJ Allaire and Francois Chollet (2018). keras: R Interface to 'Keras'. R package version 2.2.0. <https://CRAN.R-project.org/package=keras>. – Date of access: 19.01.2019.
6. Duchi, J. Adaptive Subgradient Methods for Online Learning and Stochastic Optimization / J. Duchi, E. Hazan, Y. Singer // *Journal of Machine Learning Research* – 2011. – Vol. 12 – P. 2121–2159.
7. Ruder, S. An overview of gradient descent optimisation algorithms [Electronic resource] / S. Ruder // *arXiv.org e-Print archive* – Mode of access: <https://arxiv.org/abs/1609.04747>. – Date of access: 19.01.2019. – (Preprint / arXiv:1609.04747v2).

## References

1. Chuchueva I. A. Model' prognozirovaniya vremennykh ryadov po vyborke maksimal'nogo pravdopodobiya [The time series forecast model based on maximum likeness set] Candidate of science dissertation. M.: Bauman Moscow State Technical University, 2012. 155 p. (In Russian).
2. Hornik K., Stinchcombe M., White H. Multilayer feedforward networks are universal approximators, *Neural Networks* 2 (5) (1989). pp. 359-366.
3. Bengio Y., LeCun Y. Scaling learning algorithms towards AI. In L. Bottou et al. (Eds.), *Large-Scale Kernel Machines*. Cambridge, MA, MIT Press, 2007. pp. 323-362.
4. R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <https://www.R-project.org/> (accessed: 19.01.2019)
5. JJ Allaire and Francois Chollet (2018). keras: R Interface to 'Keras'. R package version 2.2.0. Available at: <https://CRAN.R-project.org/package=keras>. (accessed: 19.01.2019)
6. J. Duchi. E. Hazan. Y. Singer. Adaptive Subgradient Methods for Online Learning and Stochastic Optimization, *Journal of Machine Learning Research*, 12 (2011). pp. 2121-2159.
7. Ruder S. An overview of gradient descent optimisation algorithms. arXiv preprint arXiv:1609.04747v2. Available at: <https://arxiv.org/abs/1609.04747>. (accessed: 19.01.2019)

*Received: 14.05.2019*

*Поступила: 14.05.2019*

# ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ И ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ ДЛЯ ЖУРНАЛА «ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

В журнале «Цифровая трансформация» публикуются материалы по техническим и экономическим отраслям наук, имеющие определенное научное значение, теоретическую и практическую значимость, ранее не публиковавшиеся.

1. Научная статья — законченное и логически цельное произведение, посвященное конкретному вопросу, разрабатываемому исследователем. Научная статья раскрывает наиболее значимые результаты, полученные исследователем, требующие развернутого изложения и аргументации.

2. Объем научной статьи, учитываемой ВАК, должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.).

3. Научная статья должна включать следующие элементы (в порядке расположения):

- индекс УДК;
- название статьи\* (оно должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким, содержать ключевые слова);
- фамилию и инициалы автора (авторов) статьи, должность и место работы, ученую степень и ученое звание, e-mail, ORCID ID\*;
- аннотацию\*;
- ключевые слова\* (до 15 слов);
- введение (должно содержать цель работы, отражать ее новизну и актуальность);
- основную часть, включающую графики и другой иллюстративный материал (при их наличии);
- заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;
- список цитированных источников\*.

4. Аннотация должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
- содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследований);
- структурированной (следовать логике описания результатов в статье);
- компактной, однако иметь достаточный объем для отражения содержания статьи (укладываться в объем от 100 до 300 слов).

В аннотации следует сформулировать цель исследования, выделить научную новизну работы (отличия от предыдущих исследований по данной теме), указать использованные методы исследования, описать основные результаты работы, а также фактические и возможные области их применения. Для описания исследования в аннотации следует использовать прошедшее время.

5. Статья направляется в редакцию на русском, белорусском или английском языках по электронной почте (на адрес [journal@unibel.by](mailto:journal@unibel.by)) или с помощью формы на сайте в формате текстового редактора Microsoft Word (название документа — заголовок статьи).

6. Параметры оформления основного текста статьи в Microsoft Word:

- верхнее и нижнее поля — 1,5 см;
- левое и правое поле — 2,5 см;
- междустрочный интервал — 1,5;
- гарнитура — Times;
- размер кегля — 14 пт;
- отступ абзаца — 1,25 см.

Параметры оформления дополнительного текста (информация об авторе, аннотация, ключевые слова, список цитированных источников, подрисуночные подписи, заголовки и текст таблиц и др.):

- междустрочный интервал — одинарный;
- гарнитура — Times;
- размер кегля — 12 пт.

Переносы в тексте должны быть отключены.

7. В отдельном документе необходимо указать сведения об авторе (ах):

- фамилия, имя, отчество (полностью);
- должность и место работы;

---

\* на русском (белорусском) и английском языках

- ученая степень и звание;
- почтовый адрес, номер контактного телефона, адрес электронной почты;
- подтверждение того, что материалы, содержащиеся в тексте статьи, не содержат информации ограниченного распространения и печатаются впервые.

При наличии нескольких авторов должно быть указано, кто отвечает за переписку.

8. Рисунки размещаются как в полном тексте работы, так и в виде отдельных файлов с разрешением не менее 300 dpi. Все рисунки должны иметь подписи\*.

Графики предоставляются в полном тексте работы и в отдельном файле в формате Microsoft Excel с цифровым материалом, по которому построены графики.

Формулы оформляются с помощью редактора формул Microsoft Equation.

Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовок\*.

Все рисунки, формулы и таблицы должны быть пронумерованы.

9. Ссылки на литературу даются в квадратных скобках. Перечень источников в порядке появления в тексте приводится под заголовком «Список литературы» в конце статьи. Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1–2003.

Список литературы должен включать авторитетные научные публикации по теме статьи, в том числе на иностранном языке. Ссылки на собственные работы авторов не должны составлять более трети от общего числа публикаций, включенных в список литературы.

*Полные правила оформления и предоставления статей с примерами составления списков литературы на русском и английском языках представлены на сайте <http://dt.gias.by>.*

---

\* на русском (белорусском) и английском языках

# AUTHOR GUIDELINES OF THE JOURNAL "DIGITAL TRANSFORMATION"

The journal publishes materials on technical and economic sciences, having a certain scientific significance, theoretical and practical significance, previously not published.

1. The article should be submitted to the editors in Russian, Belarusian or English languages by e-mail journal@unibel.by or by form on the site as a Microsoft Office Word document (\*.doc, \*.docx and \*.rtf formats).

2. The volume of scientific article should be at least 0.35 of the author's sheet (14,000 characters, including spaces between words, punctuation marks, numbers, etc.).

3. Scientific articles should include the following elements (in order of location):

– UDC index (see <https://teacode.com/online/udc/>);  
– title of the article\* (it should reflect the main idea of the research, be as brief as possible, contain keywords);

– name and initials of the author (authors) of the article, position and place of work, academic degree and academic title, e-mail, ORCID ID\* ;

– abstract\*;

– keywords\* (up to 15 words);

– introduction (it should contain the purpose of the work, reflect its novelty and relevance);

– the main part, including graphs and other illustrative material (if any);

– conclusion, concluded with clearly formulated conclusions;

– references\*.

4. The abstract should be:

– informative (should not contain common words);

– substantial (reflecting the main content of the article and the results of the research);

– structured (follow the logic of describing the results in the article);

– compact, but have enough volume to reflect the content of the article (fit into the volume from 100 to 300 words).

The abstract should state the purpose of the study, highlight the scientific novelty of the work (differences from previous studies on this topic), indicate the used research methods, describe the key research findings, as well as actual and possible areas of their application.

5. Settings for the main text of the article in Microsoft Word:

– margins — 2 cm;

– line spacing — 1,5;

– font — Times;

– font size — 14 pt;

– line spacing — 1.25 cm.

Options for additional text (information about the author, abstract, keywords, list of quoted sources, captions, headings and text of tables, etc.):

– line spacing — 1;

– font — Times;

– font size — 12 pt.

6. In a separate document it is necessary to indicate information about the author (s) (the form is attached):

– Surname, name, patronymic (in full);

– position and place of work;

– academic degree and title;

– postal address, contact phone number, e-mail address;

– confirmation that the materials contained in the text of the article do not contain information of limited distribution and are printed for the first time.

If there are several authors, a person responsible for the correspondence should be indicated.

The article provided in paper form must be signed by all authors.

7. Drawings should be placed both in the full text of the work, and as separate files with a resolution of at least 300 dpi.

The graphs should be provided in the full text of the work and in a separate file in Microsoft Excel format with digital material on which the graphs are built.

Formulas are formalized using the Equation Formula Editor.

Tables are located directly in the text of the article. Each table must have a header.

All figures, formulas and tables should be numbered.

8. References to the literature are given in square brackets. The list of sources in the order of appearance in the text is given under the heading "References" at the end of the article.

References should include authoritative scientific publications on the topic of the article, including papers in a foreign language. References to authors' own works should not constitute more than a third of the total number of publications included in the list of references.

*Full Author Guidelines in Russian and English are available at <http://dt.giac.by>.*