



Уважаемые читатели и авторы!

Подведены итоги Конкурса на лучшую научную статью, целью которого было повысить доступность получения качественной научной информации о процессах цифровой трансформации в экономике и сфере образования для массовой аудитории. Конкурс проводился в двух номинациях: «Лучшая научная статья года в сфере технических наук» и «Лучшая научная статья года в сфере экономических наук».

К участию принимались работы, опубликованные в выпусках за 2-4 кварталы 2019 г. и 1-4 кварталы 2020 гг. Подробная информация – на сайте *dt.giac.by* и в официальных соцсетях журнала.

Напоминаем, что редакция журнала всегда открыта для сотрудничества и приглашает к публикации учёных, педагогов, аспирантов и практикующих специалистов в образовательной, технической и экономической сферах. Плата за размещение статьи в выпуске не взимается.

Журнал “Цифровая трансформация” включен приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь в перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (направление “информатика, вычислительная техника и управление”) и экономическим наукам. Также журнал индексируется в базах Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), Directory of Open Access Journals (DOAJ), EconPapers.

С электронной версией журнала, редакционной политикой и правилами для авторов можно ознакомиться на сайте *dt.giac.by*. Текст научной статьи для публикации можно подать с помощью специальной формы на сайте журнала или отправить его на электронный адрес *journal@unibel.by*. Получение бумажной версию журнала “Цифровая трансформация” доступно через оформление подписки на квартал, полугодие или год по следующим индексам: 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: Д. П. Свяцкая, Ю. Н. Бартасевич, Д. И. Бондаренко.

Корректоры: Д. П. Свяцкая, Д. И. Бондаренко.

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>

Подписано в печать 22.03.2021. Бумага мелованная. Печать офсетная.

Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 8,84. Тираж 100 экз. Заказ № 188

Отпечатано в унитарном предприятии «ИВЦ Минфина», ЛП 02330/89 от 12.03.2014 г., г. Минск, ул. Кальварийская, 17.



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: D. P. Svyatskaya, Yu. N. Bartasevich, D. I. Bondarenko.

Correctors: D. P. Svyatskaya, D. I. Bondarenko.

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.

<http://dt.giac.by>

© Digital Transformation, 2021



СОДЕРЖАНИЕ

№ 1 (14), март, 2021

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

- 5** Оценка эффекта от внедрения информационных технологий белорусским бизнесом
Автор: А. В. Огинская, Р. И. Морозов
- 15** Армения на пути к «новой экономике»: оборонная промышленность
Автор: Г. Э. Арутюнян
- 24** Цифровой рекрутинг с использованием интеллектуальных диалоговых систем, построенных на принципах машинного обучения
Автор: И. Н. Калиновская
- 35** Особенности рисков в сфере информационных технологий
Автор: Д. А. Предко

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- 46** Использование многофункциональных идентификационных карт в системе образования Республики Беларусь
Авторы: А. Н. Курбацкий, Ю. И. Воротницкий, В. П. Кочин, А. В. Решетняк, В. И. Дравица
- 53** Современные алгоритмы обработки данных транскриптомов: обзор методов и результаты апробации
Автор: М. В. Спринджук, Л. В. Можаровская, А. П. Кончиц, Л. П. Титов
- 65** Методы определения размеров трехмерных объектов на изображениях
Автор: Л. В. Серебряная, В. Н. Брешко

CONTENTS

No 1 (14), March, 2021

ECONOMIC SCIENCES

- 5** The Assessment of Efficiency of Information Technologies Launching by Belarusian Business
Author: A. V. Aginskaya, R. I. Marozau
- 15** Armenia Towards a "New Economy": Defense Industry
Author: A. B. Harutyunyan
- 24** Digital Recruitment Using Intelligent Dialogue Systems Based on Machine Learning Principles
Author: I. N. Kalinouskaya
- 35** Features of Risks in the Information Technology Industry
Автор: D. A. Predko

TECHNICAL SCIENCES

- 46** The Use of Multifunctional Identification Cards in the Education System of the Republic of Belarus
Authors: A. N. Kurbatski, Yu. I. Varatnitski, V. P. Kochyn, A. V. Reshetniak, V. I. Dravitsa
- 53** Modern Transcriptome Data Processing Algorithms: a Review of Methods and Results of Approbation
Author: M. V. Sprindzuk, L. V. Mozharovskaya, A. P. Konchits, L. P. Titov
- 65** Methods for Determining the Size of three-Dimensional Objects in Images
Author: L. V. Serebryanaya, V. N. Breshko

Оценка эффекта от внедрения информационных технологий белорусским бизнесом

А. В. Огинская, к. э. н., научный сотрудник

E-mail: aginskaya@beroc.by

ORCID ID: 0000-0001-7226-2948

Центр экономических исследований «БЕРОК»,
пр-т Газеты "Правда", 11Б, оф. 1.2, 220116, г. Минск,
Республика Беларусь

Р. И. Морозов, к. э. н., старший научный сотрудник

E-mail: marozau@beroc.by

ORCID ID: 0000-0001-8769-1497

Центр экономических исследований «БЕРОК»,
пр-т Газеты "Правда", 11Б, оф. 1.2, 220116, г. Минск,
Республика Беларусь

Аннотация. Основной целью статьи является анализ эффекта от использования информационных технологий (далее - ИТ) белорусскими малыми и средними предприятиями (далее - МСП) на основе выборочного опроса руководителей 424 субъектов. Исследование показало, что в основном эффект от внедрения информационных технологий для автоматизации бизнес-процессов оценивается положительно, в частности, ИТ позволяют улучшить взаимодействие с поставщиками, подрядчиками и банками, а также в целом повысить конкурентоспособность предприятия. Результаты корреляционного анализа демонстрируют, как организационные факторы связаны с оценкой руководством влияния ИТ на показатели деятельности предприятия, а также на отдельные бизнес-процессы. В заключении представлены рекомендации государственным органам по стимулированию внедрения и использования ИТ белорусскими предприятиями.

Ключевые слова: информационные технологии, малый и средний бизнес, эффект от внедрения, показатели эффективности, меры государственной поддержки

Для цитирования: Огинская, А. В. Оценка эффекта от внедрения информационных технологий белорусским бизнесом / А. В. Огинская, Р. И. Морозов // Цифровая трансформация. – 2021. – № 1 (14). – С. 5–14.



© Цифровая трансформация, 2021

The Assessment of Efficiency of Information Technologies Launching by Belarusian Business

A. V. Aginskaya, Candidate of Science (Economics), Researcher

E-mail: aginskaya@beroc.by

ORCID ID: 0000-0001-7226-2948

BEROC Economic Research Center,
11B Gazety Pravda Av, office 1.2, 220116 Minsk,
Republic of Belarus

R. I. Marozau, Candidate of Science (Economics),
Senior Researcher

E-mail: marozau@beroc.by

ORCID ID: 0000-0001-8769-1497

BEROC Economic Research Center, 11B Gazety Pravda Av, office 1.2,
220116 Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The main purpose of the article is to analyze the effect of the information technologies (IT) usage by Belarusian SMEs based on a sample survey of CEOs from 424 entities. The study showed that, in general, business processes automation brings positive effects; in particular, IT can improve interaction with suppliers, contractors and banks, as well as, in general, increases the enterprise competitiveness. The correlation results demonstrate how organizational factors are associated with the

management's assessment of the IT impact both on general performance and on specific business processes. In the conclusion, the policy implications on stimulating the IT usage by Belarusian enterprises are presented.

Key words: information technologies, SME, implementation effects, performance indicators, measures of state support
For citation: Aginskaya A. V., Marozau R. I. The Assessment of Efficiency of Information Technologies Launching by Belarusian Business. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 1 (14), pp. 5–14 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

Введение. В условиях стремительно изменяющегося экономического контекста, информатизации, появления новых масштабируемых бизнес-моделей внедрение и эффективное использование информационных технологий (далее – ИТ) бизнесом становится вопросом выживания. Данное утверждение справедливо особенно для деятельности субъектов малого и среднего предпринимательства, которым все сложнее конкурировать на традиционных рынках с крупными международными компаниями. В этой связи, процессы выбора, внедрения и эффективного использования ИТ обращают на себя внимание руководства и собственников и занимают важное место в стратегии предприятий [1]. При грамотном планировании и организации этих процессов предприятия могут сокращать расходы, расширять рынки, внедрять новые бизнес-модели. В целом малые и средние предприятия (далее – МСП) являются более гибкими и быстрее реагируют как на негативные, так и на позитивные тренды в экономике [2]. Период экономической неопределенности создает новые возможности, а также сопровождается уходом большого количества конкурентов с рынка [3]. Поэтому в нынешней неблагоприятной и нестабильной экономической ситуации, связанной с пандемией COVID-19, и период неизбежной последующей рецессией правительства разных стран принимают меры для стимулирования внедрения ИТ бизнесом, чтобы посредством трансформации и развития МСП обеспечить восстановление и дальнейший рост национальной экономики. У МСП с учетом ограниченности финансовых и человеческих ресурсов по сравнению с крупными предприятиями возможности и угрозы, связанные с прогнозированием и оценкой экономического эффекта от инвестиций в ИТ, формируют запрос на исследования и обучение руководителей в области цифровой трансформации бизнеса. В этой связи, цель научной статьи – проанализировать возможные эффекты от внедрения ИТ белорусскими МСП в различных сферах экономической деятельности. Для достижения цели исследования был проведен опрос малого и среднего бизнеса во всех областях Беларуси в марте-мае 2019 года. Выборочная

совокупность составила 424 респондента. В исследовании принимали участие руководители и заместители руководителей малых и средних предприятий. Выборка является репрезентативной по географическому признаку (регион регистрации компании). Для анализа данных компании были сгруппированы по основным видам деятельности: промышленность; сельское, лесное хозяйство и рыболовство; строительство; торговля, ремонт; гостиницы и рестораны; транспорт и связь; финансовая деятельность, операции с недвижимым имуществом; компьютерные услуги.

Основная часть. На первом месте по результатам опроса около трети опрошенных компаний от вложений в информационные технологии ожидают роста выручки (32,1%) (рисунок 1). На втором и третьем месте по ожиданиям отмечается сокращение текущих расходов и увеличение доли рынка (15,3% и 14,6% соответственно). Менее значимыми являются такие результаты, как улучшение продуктов или услуг (8,5%), улучшение управленческого контроля и контроля производства (7,6%).

В отраслевом разрезе увеличение доли рынка является наиболее значимым фактором для гостиничного и ресторанного бизнеса (30,8%), сокращение расходов важнее для сельскохозяйственных предприятий (28,6%) и промышленности (21,3%). Рост выручки наименее значим для сектора компьютерных услуг, в то же время главными факторами для данного сектора стали ускорение процесса разработки новых продуктов или услуг (26,3%) и улучшение продуктов или услуг (21,1%). Повышение скорости и качества принятия решений чаще других отметили компании из сферы торговли (12,5%).

Примечательно, что ожидание по сокращению расходов чаще отмечают компании с государственной долей в собственности (31,3%), чем компании на основе частной собственности (14,7%). Для компаний с госучастием также более значимо совершенствование управленческого контроля и контроля производства (18,8% в сравнении с 7,1%).

Около половины опрошенных предприятий периодически оценивают эффекты от использо-



Рис. 1. Ожидания предприятий от инвестиций в информационные технологии
Примечание. Разработка автора.

Fig. 1. Expectations from investments in information technologies
Note. Developed by the author

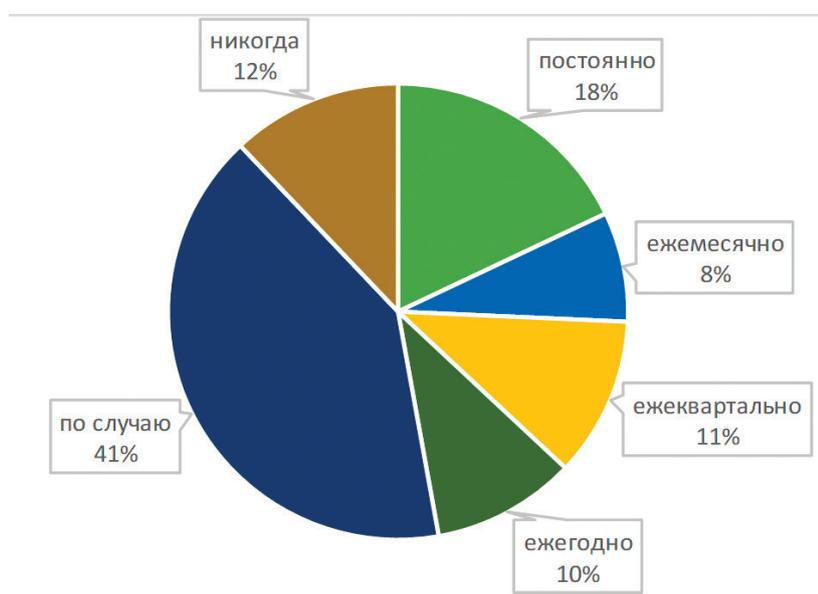


Рис. 2. Проведение оценки эффективности внедрения ИТ
Примечание. Разработка автора.

Fig. 2. Assessing the effectiveness of IT implementation
Note. Developed by the author

вания ИТ на регулярной основе: 18% делают это постоянно, ежемесячно – 8%, ежеквартально – 11%, ежегодно – 10% (рисунок 2). 41% компаний проводят оценку время от времени, а 12% никогда не проводили такую оценку.

В основном компании оценили эффект от автоматизации бизнес-процессов положительно. Свыше 90% опрошенных компаний отметили положительный эффект в сфере бухгалтерского

и управленческого учета, производства, складского хозяйства (рисунок 3). Чаще других респонденты отмечали отсутствие эффекта от автоматизации для процессов в сфере маркетинга (4,8%), закупок (3,8%), управления проектами (3,3%) и доставки (3,3%).

Чаще всего опрошенные компании указывали, что внедрение ИТ позволило улучшить взаимодействие с партнерами (поставщиками,

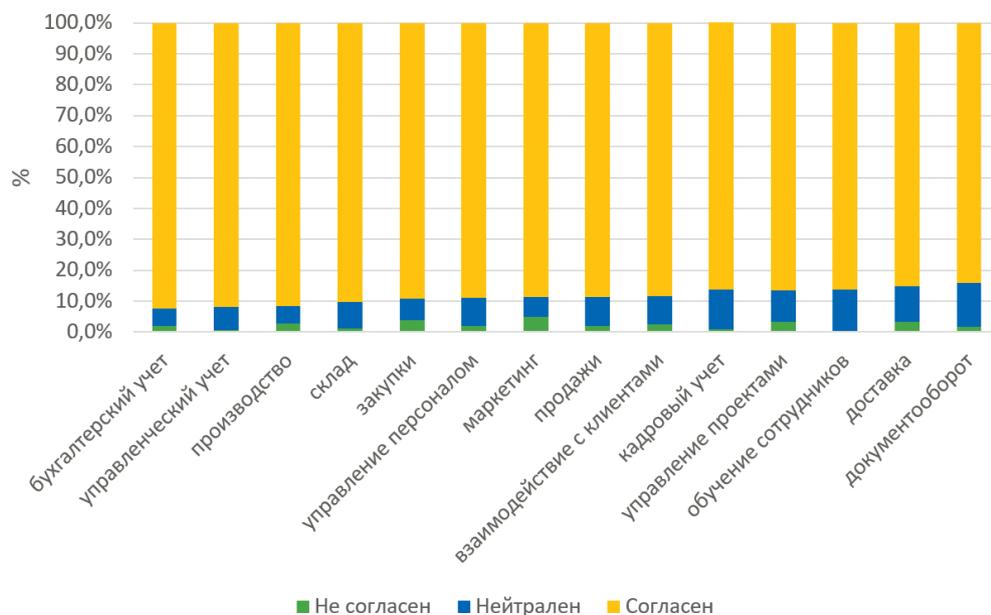


Рис. 3. Наличие положительного эффекта от автоматизации бизнес-процессов

Примечание. Разработка автора.

Fig. 3. Positive effect of business process automation

Note. Developed by the author

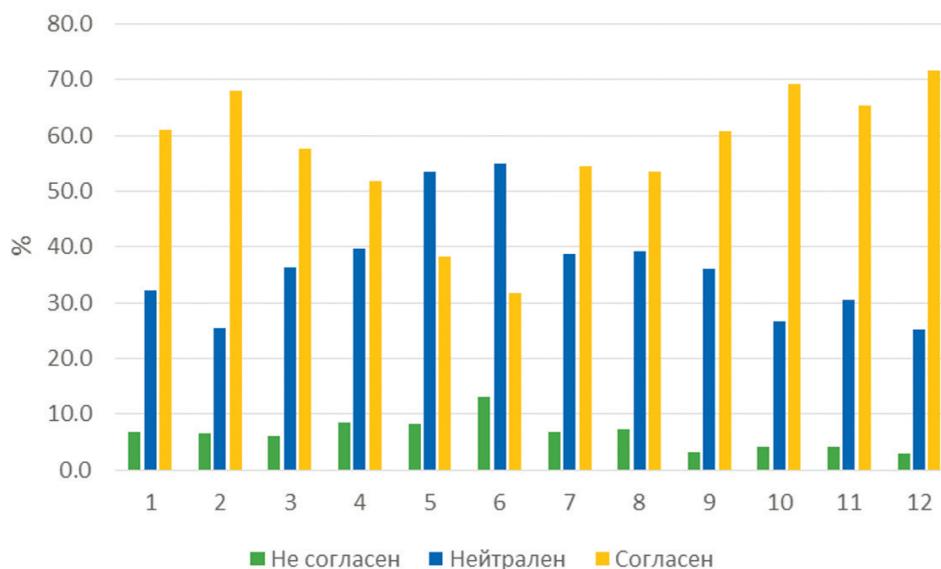


Рис. 4. Положительный эффект от внедренных ИТ

Источник: Разработка автора.

Примечание. 1 – увеличение доли рынка предприятия; 2 – повышение конкурентоспособности; 3 – рост выручки; 4 – сокращение текущих расходов; 5 – рост стоимости компании; 6 – построение бизнес-модели, которая значительно отличается от используемой конкурентами; 7 – улучшение продуктов или услуг; 8 – ускорение процесса разработки новых продуктов или услуг; 9 – повышение прозрачности и улучшение управленческого контроля; 10 – повышение скорости и качества принятия решений; 11 – повышение гибкости и восприимчивости предприятия к запросам клиентов; 12 – улучшение взаимодействия с партнерами (поставщиками, подрядчиками, банками).

Fig. 4. Positive effect of the implemented IT

Source. Developed by the author

1 – increasing the company's market share; 2 – increasing competitiveness; 3 – revenue growth; 4 – reduction in operating costs; 5 – company value growth; 6 – building a business model that differs significantly from that used by competitors; 7 – improving products or services; 8 – accelerating the process of developing new products or services; 9 – increasing transparency and improving management control; 10 – increasing the speed and quality of decision making; 11 – increasing the flexibility and responsiveness of the enterprise to customer requests; 12 – improving communication with partners (suppliers, contractors, banks).



Рис. 5. Ответственные за информационные технологии

Примечание. Разработка автора.

Fig. 5. Responsibility for information technology

Note. Developed by the author

подрядчиками, банками) – это признали 71,7% респондентов (рисунок 4). Более 60% опрошенных отметили вклад технологий в общее повышение конкурентоспособности, повышение скорости и качества принятия решений, повышение гибкости к запросам клиентов, повышение прозрачности и управляемости, увеличение доли рынка предприятия. 57,5% компаний отметили рост выручки; 54,5% респондентов упомянули улучшение продуктов и услуг; 53,5% опрошенных пронаблюдали ускорение процесса разработки новых продуктов и услуг. 51,9% участников опроса отметили, что технологии способствовали сокращению текущих расходов. В то же время респонденты чаще всего затруднялись связать внедрение технологий с такими критериями, как рост стоимости компании и построение бизнес-модели, отличной от конкурентов. В свою очередь опрошенные нейтрально оценили связь данных показателей с внедрением технологий 53,5% и 55% соответственно. 13,2% опрошенных не согласны с тем, что технологии способствовали построению отличной от конкурентов бизнес-модели.

Организационные аспекты процесса внедрения ИТ. 31% респондентов отметили, что за информационные технологии в компании ответственен отдельный ИТ-специалист, в 29% компаний ИТ занимается руководитель или специалист другого направления (рисунок 5). Около трети компаний передает процессы, связанные с ИТ, на аутсорсинг.

В компаниях, расположенных в Минске, отдел информационных технологий встречает-

ся чаще, чем в регионах (62,5% и 37,5% соответственно) (рисунок 6). Соответственно региональные компании значительно чаще передают ИТ на аутсорсинг (63,3% для региональных в сравнении с 36,7% для минских) и назначают ответственным за ИТ непрофильного специалиста (61,8% и 38,2% соответственно). Ожидается, что чаще всего отдел ИТ имеется в компаниях, оказывающих компьютерные услуги (31,6%) и финансовые услуги (20%). Передача поддержки ИТ на аутсорсинг чаще отмечается в сельскохозяйственных предприятиях (50%), строительных (46,7%) и транспортных (38,5%) фирмах. Ситуация, когда за ИТ ответственен руководитель/специалист иной квалификации, примерно с одинаковой частотой встречается в компаниях любой отрасли.

Критически важным фактором для успешного внедрения и использования ИТ является соответствующее обучение, организуемое предприятием под свои потребности и с учетом внедренных или планируемых к внедрению технологий. Среди предприятий, организующих обучение сотрудников (таких среди опрошенных 75,2%), 32% развивают ИТ-компетенции специалистов, непосредственно занятых в области ИТ, в 49,2% компаний развивают ИТ-компетенции остальных сотрудников. Почти треть компаний (30,7%) обучает сотрудников и не занимается развитием ИТ-компетенций (рисунок 7).

В регионах доля компаний, где обучение по ИТ-профилю отсутствует, ожидается выше (22% – для Минска и 36,9% – для регионов), а доля обучающихся сотрудников, не являющихся специ-

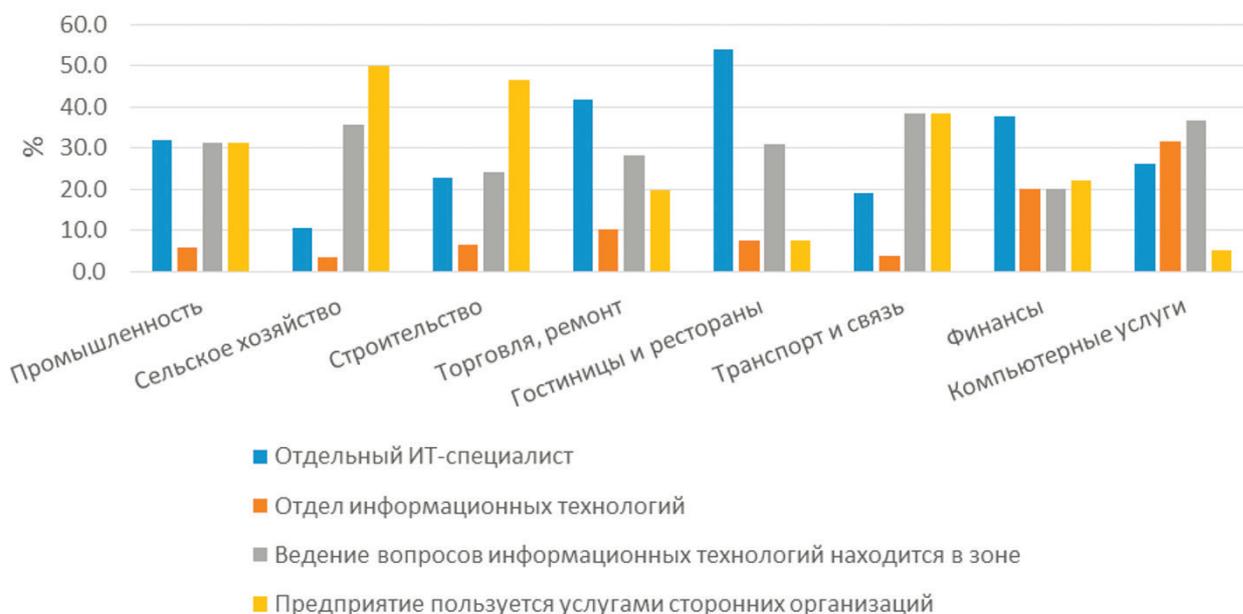


Рис. 6. Ответственность за информационные технологии в компаниях по отраслям

Примечание. Разработка автора.

Fig. 6. Responsibility for IT in the companies by industry

Note. Developed by the author

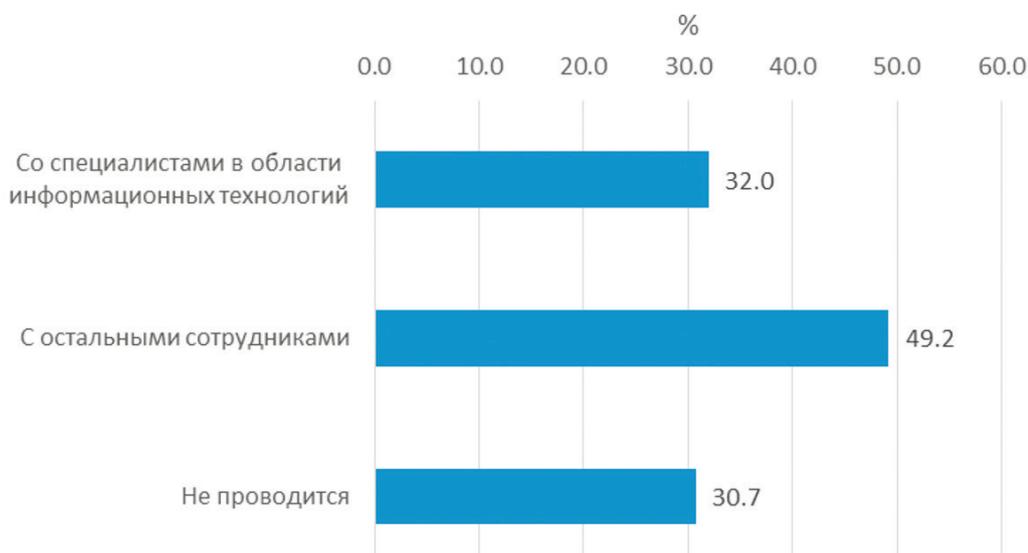


Рис. 7. С кем на предприятии проводится обучение для развития ИТ-компетенций, связанных с информационными технологиями?¹

Примечание. Разработка автора.

Fig. 7. The personnel who is trained to develop IT-related competencies

Note. Developed by the author

алистами в области ИТ, выше в Минске (62,1% в сравнении с 40,1% для регионов) (рисунок 8).

Стратегические аспекты внедрения и роль руководства. Ответы респондентов свидетельствуют о том, что руководство в целом осознает стратегический потенциал ИТ (рисунок 9). Однако, в сравнении с уровнем осведомленности о таком потенциале, доля положительных ответов, каса-

ющихся конкретных действий в реализации стратегии внедрения ИТ, оказалась ощутимо ниже. 73,6% руководителей осознают стратегический потенциал ИТ, но только 55,7% компаний причастны к разработке целей и стандартов мониторинга использования ИТ, 56,6% респондентов формулируют видение и стратегию использования ИТ. При этом только в половине случаев ответственный за ИТ сотрудник или отдел привлекается к выработке и принятию стратегических решений, касающихся ИТ.

1 Можно было выбрать несколько вариантов ответа

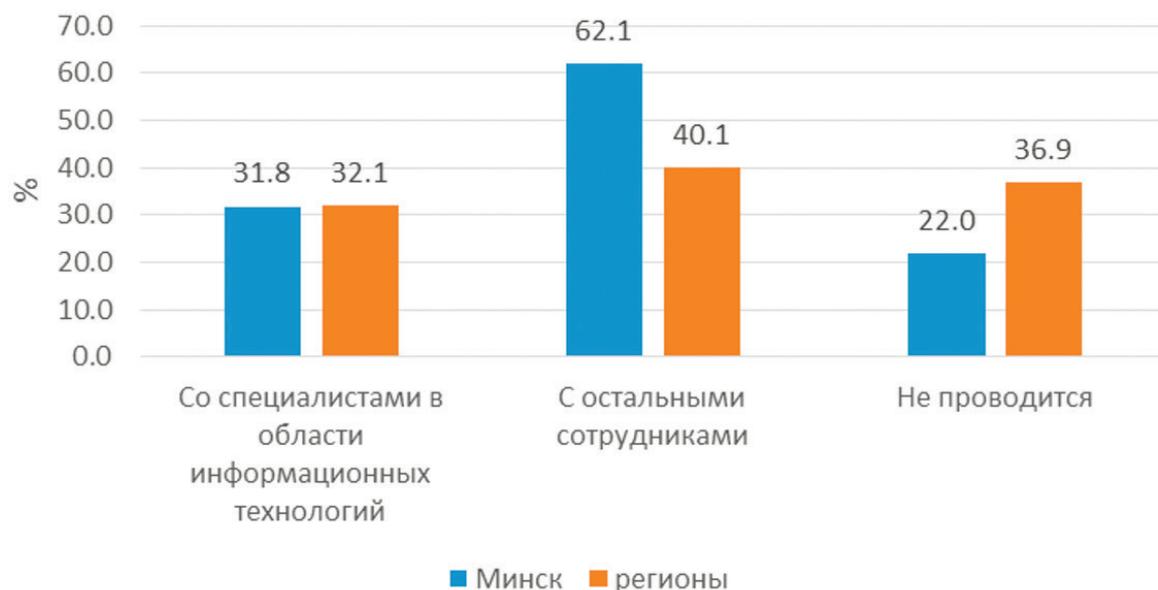


Рис. 8. Обучение ИТ-компетенциям в Минске и регионах
Примечание. Разработка автора.

Fig. 8. IT competence training in in Minsk and regions
Note. Developed by the author

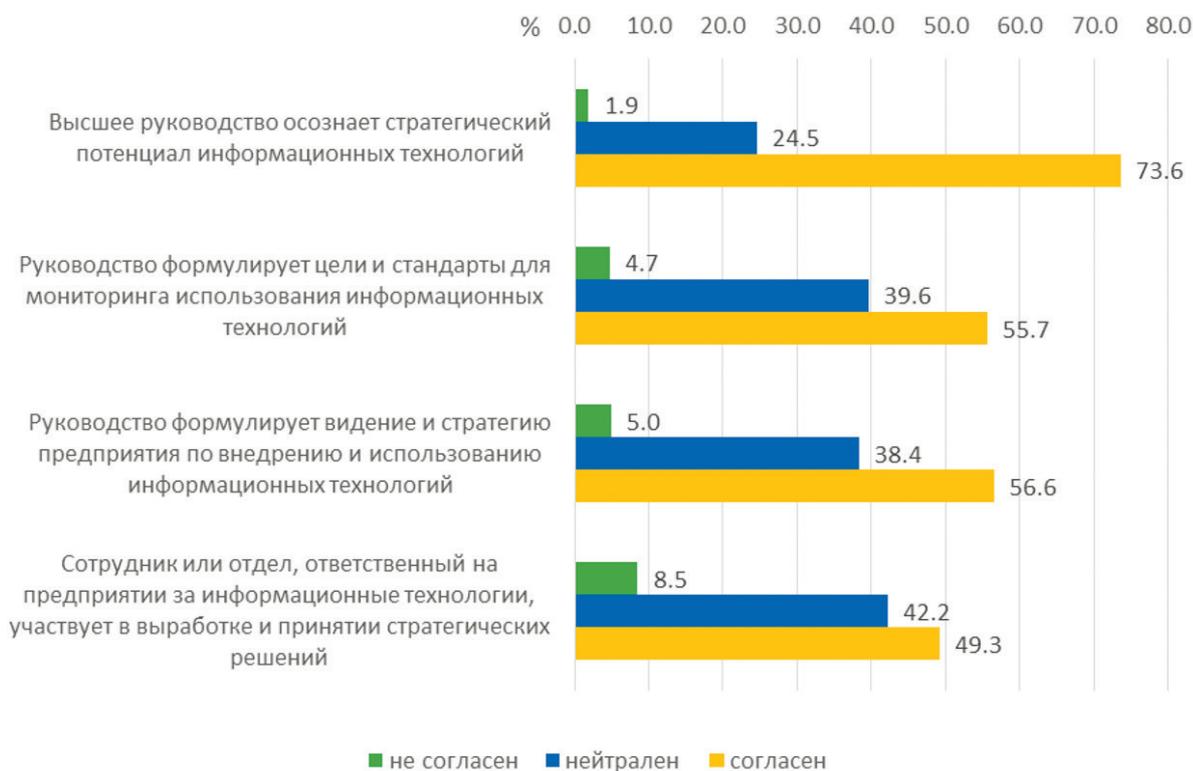


Рис. 9. Роль руководства в процессе внедрения ИТ
Примечание. Разработка автора.

Fig. 9. Role of management in the IT implementation process
Note. Developed by the author

Учитывая полученные данные можно предположить частое наличие ситуаций, когда инициатива внедрения ИТ спускается сверху, а ответственность за успешное внедрение и использование передается ИТ-специалистам и отделам. При этом они не всегда отдают себе отчет о стратегическом

значении использования ИТ и требуемых для этого организационных изменениях, а также не получают достаточных полномочий для внесения корректив на начальном этапе выбора и внедрения, а также для инициации требуемых организационных изменений.

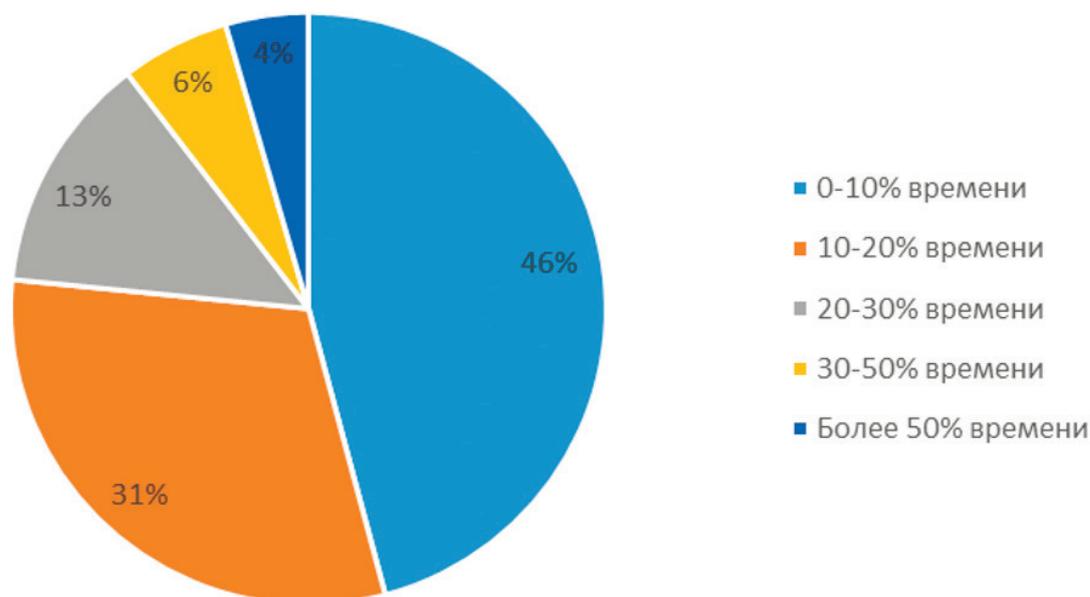


Рис. 10. Доля рабочего времени высшего руководства компании, затрачиваемое на вопросы внедрения и использования информационных технологий

Примечание. Разработка автора.

Fig. 10. Percentage of work time of the company's CEOs spent on the IT implementation and usage

Note. Developed by the author

На вопрос о том, осознает ли высшее руководство, что использование ИТ ставит перед предприятием новые вызовы в сфере безопасности, утвердительно ответили 55% респондентов, еще 41% опрошенных нейтрально отнёсся к данному утверждению и 4% представителей компаний не согласны с этим.

При этом в 45,8% компаний руководство тратит менее 10% своего времени на вопросы внедрения и использования ИТ (рисунок 10). Еще 30,7% руководителей компаний уделяют вопросам технологий 10-20% времени. 4,5% компаний указали, что руководители тратят более половины рабочего времени на работу с ИТ. В то же время доля компаний, руководители которых затрачивают 20-30% времени на вопросы ИТ, увеличивается до 20,8% в тех случаях, если компания использует решения собственной разработки.

Результаты корреляционного анализа. Для оценки эффектов от внедрения ИТ был проведен корреляционный анализ основных индикаторов разработанной теоретической модели, объединяющей технологические, организационные, внешние факторы внедрения ИТ, а также концепцию стратегического выравнивания² [4] [Огинская и Морозов 2019]. Анализ продемонстрировал ряд важных взаимозависимостей:

1. Осознание руководителями стратегического потенциала ИТ статистически значимо кор-

релирует с оценкой ими полученного эффекта от ИТ по всем возможным направлениям. Коэффициенты корреляции Пирсона варьируются от 0,201 до 0,412 и значимы на уровне 0,01. Если рассматривать влияние ИТ на отдельные процессы, то связь между осознанием стратегического потенциала и достигнутым эффектом в разных бизнес-процессах статистически значима для бухгалтерского учета, управленческого учета, управления складом и продажами – тех процессов, для обеспечения которых ИТ внедряется в первую очередь.

2. При отдельном рассмотрении различных сфер деятельности, такие традиционные отрасли как промышленность, сельское хозяйство, строительство отметили меньший вклад ИТ в увеличение выручки, формирование новых бизнес-моделей, повышение прозрачности и улучшение управленческого контроля – отрицательные статистически значимые коэффициенты корреляции от -0.172 до -0.096. Руководители МСП из сферы торговли и ремонта позитивнее остальных оценивают влияние ИТ на общее повышение конкурентоспособности, рост выручки, формирование новых бизнес-моделей, повышение прозрачности и улучшение управленческого контроля, повышение скорости и качества принятия решений, а также повышение гибкости и восприимчивости предприятия к запросам клиентов – коэффициенты корреляции от 0,097 до 0.172.

3. Большее количество интегрированных между собой процессов позволяет добиваться

² Корреляционная матрица доступна по запросу.

большого эффекта, как в отношении основных показателей деятельности МСП (статистически значимые коэффициенты корреляции от 0.096 до 0.187), так и в отношении эффективности большинства бизнес-процессов (статистически значимые коэффициенты корреляции от 0.178 до 0.222).

4. Примечательно, что аутсорсинг обслуживания ИТ-инфраструктуры компании отрицательно связан с воспринимаемым вкладом ИТ в показатели МСП (статистически значимые коэффициенты корреляции от -0.123 до -0.240), однако положительно связано с оценками эффективности бизнес-процессов. Это может свидетельствовать о том, что в случае обеспечения внедрения и поддержки ИТ самостоятельно эти процессы могут быть в большей степени ориентированы на достижение стратегических целей. В то же время аутсорсинговая организация чаще всего имеет более высокий уровень компетенций для эффективной цифровизации конкретных процессов и дает компании-заказчику видимый результат.

Заключение. В эпоху глобализации внешние и внутренние силы подталкивают предприятия к более активному внедрению ИТ. В то же время МСП сталкиваются с вызовами, с которыми приходится справляться, чтобы эффективно пользоваться возможностями, предоставляемыми новейшими технологиями [5]. Руководство белорусских МСП осознает актуальность и выгоды от использования ИТ, эффект от автоматизации бизнес-процессов оценивается положительно. Основными барьерами на пути внедрения ИТ белорусскими предприятиями являются дефицит финансовых средств для их приобретения и использования, нехватка ИТ-специалистов и недостаточная компетенция сотрудников [4], поэтому государство могло бы сыграть важную роль в ни-

велировании этих препятствий для формирования конкурентоспособности белорусского бизнеса, как внутри страны, так и на внешних рынках.

Можно выделить три перспективных направления политики по поддержке внедрения ИТ компаниями: развитие инфраструктуры, формирование человеческого капитала, финансовая поддержка и развитие нормативно-правовой среды [6].

В рамках этих направлений выглядят целесообразными следующие меры, направленные на активное внедрение и использование ИТ белорусским бизнесом:

- Формирование ресурсных центров по консалтингу и обучению для внедрения ИТ в деятельность МСП в рамках развития инфраструктуры поддержки предпринимательства в регионах.

- Поддержка создания программ по обучению цифровому лидерству для руководителей, прежде всего, государственных и со значительной долей государства предприятий.

- Субсидирование обучения сотрудников МСП, особенно в регионах.

- Субсидирование приобретения и/или разработки специализированного программного обеспечения для отдельных отраслей и сфер, например, сельское хозяйство, строительство, промышленность, розничная торговля.

- Предоставление МСП кредитных ресурсов на льготных условиях для развития инфраструктуры ИТ.

- Применение налоговых льгот при оплате труда специалистов в сфере ИТ, занятых в МСП, по примеру Парка высоких технологий (отчисления в ФСЗН, подоходный налог).

- Дальнейшее развитие цифровой инфраструктуры для обеспечения высокоскоростного доступа в Интернет и облачного хранения и обработки данных.

Список литературы

1. Deloitte. Aligning the organization for its digital future. // Deloitte. [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ie/Documents/Consulting/2016_MIT_Deloitte-Aligning-Digital-Future.pdf. – Дата доступа: 02.06.2020.
2. Морозов, Р., Акулова, М., Огинская, А. Меры по поддержке малого и среднего бизнеса в Беларуси в условиях пандемии и глобальной рецессии / Морозов, Р. и др. // BEROC Policy Paper Series, PP no.89. [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: http://www.beroc.by/publications/policy_papers/pp89/. – Дата доступа: 02.06.2020.
3. Cowling M. et al. What really happens to small and medium-sized enterprises in a global economic recession? UK evidence on sales and job dynamics // International Small Business Journal. – 2015. – Т. 33. – №. 5. – С. 488-513.
4. Огинская, А., Морозов, Р. Использование информационных технологий белорусским бизнесом Часть 1: Востре-

- бованные решения и сферы их использования / А.Огинская, Р.Морозов // BEROC WP no 63 [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: http://www.beroc.by/publications/working_papers/wp63/. – Дата доступа: 02.06.2020.
5. Ramdani, B., Kawalek, P., & Lorenzo, O. (2009). Predicting SMEs' adoption of enterprise systems. *Journal of enterprise information management*, 22 (1/2), 10-24.
6. Ongori H., Migiros S. O. Information and communication technologies adoption in SMEs: literature review // *Journal of Chinese Entrepreneurship*. – 2010.

References

1. Deloitte. Aligning the organization for its digital future. Deloitte. 2016. Available at: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ie/Documents/Consulting/2016_MIT_Deloitte-Aligning-Digital-Future.pdf. (accessed: 02.06.2020).
2. Marozau R., Akulava M., Aginskaya H. Measures to support small and medium-sized businesses in Belarus in the context of the pandemic and global recession. BEROC Policy Paper Series, PP no.89. 2020. Available at: http://www.beroc.by/publications/policy_papers/pp89/. (accessed: 02.06.2020).
3. Cowling M. et al. What really happens to small and medium-sized enterprises in a global economic recession? UK evidence on sales and job dynamics. *International Small Business Journal*. 2015. Т. 33. № 5. Pp. 488–513.
4. Aginskaya H., Marozau R. The Use of Informational Technologies by Belarusian Business. BEROC WP no 63. 2020. Available at: http://www.beroc.by/publications/working_papers/wp63/. (accessed: 02.06.2020).
5. Ramdani B., Kawalek P., & Lorenzo O. (2009). Predicting SMEs' adoption of enterprise systems. *Journal of enterprise information management*, 22(1/2), Pp. 10-24.
6. Ongori H., Migiros S. O. Information and communication technologies adoption in SMEs: literature review. *Journal of Chinese Entrepreneurship*. 2010.

Received: 01.08.2020

Поступила: 01.08.2020

Armenia Towards a "New Economy": Defense Industry

G. E. Harutyunyan, Candidate of Science (Economic), Associated Professor, Head of Strategic Gaming and Modeling Group

E-mail: harutyunyan.gayanne@mail.ru

ORCID ID: 0000-0003-3240-0802

National Defense Research University, Ministry of Defense,
10 Avetisyan Str., 2309 Hrazdan, Republic of Armenia

Abstract. In fact, a new arms race could start in the world as a side effect of the so-called "4th Industrial Revolution" – the main innovative trend of which is the widespread use of technologies such as artificial intelligence, machine learning, quantum computing, additive manufacturing, robotics, Internet of things, cloud technologies etc., and the countries involved in military conflicts cannot neglect this circumstance. As a small country, Armenia needs an economy-army coalesced "intelligent" system that will respond adequately to any, even the slightest threat to the country's security. This approach requires the development of indigenous defense industry. It is obvious that the development of Armenian defense industry is in the inevitable point of intersection of the new wave of economic transformations and the breakthrough of the "4th Industrial Revolution", as the initiator of positive changes in the economy, from which positive externalities must be spread throughout the economy by a chain reaction. The article discusses the issues of defense industry development in Armenia in accordance with new challenges of Industry 4.0.

Key words: Industry 4.0; defense industry; additive manufacturing; 3D printing; artificial intelligence; robotics; Internet of things; cloud technologies

For citation: Harutyunyan G. E. Armenia Towards a "New Economy": Defense Industry. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 1 (14), pp. 15–23.

© Цифровая трансформация, 2021

Армения на пути к «новой экономике»: оборонная промышленность

Г. Э. Арутюнян, к. э. н., доцент, руководитель Группы стратегических игр и моделирования,

E-mail: harutyunyan.gayanne@mail.ru

ORCID ID: 0000-0003-3240-0802

Национальный исследовательский университет обороны МО РА,
ул. Аветисян, д. 10, 2309, г. Раздан, Республика Армения

Аннотация. Побочным эффектом так называемой «4-й промышленной революции», основной инновационной тенденцией которой является широкое применение таких технологий, как искусственный интеллект, машинное обучение, квантовые вычисления, аддитивное производство, робототехника, интернет вещей, облачные технологии и т.д., может стать по сути новая гонка вооружений, и страны, вовлеченные в военные конфликты, не могут пренебрегать этим обстоятельством. Как небольшая страна, вовлечённая в локальный конфликт, Армении нужна такая синергетическая (с взаимосоилующими компонентами) «интеллектуальная» система «армия-экономика», которая сможет адекватно реагировать на любую угрозу безопасности страны. Очевидно, что в неизбежной точке пересечения новой волны экономических преобразований в Армении и нового прорыва «4-ой промышленной революции» находится оборонная промышленность, в качестве инициатора позитивных изменений в экономике, откуда положительные экстерналии цепной реакцией должны распространяться по всей экономике. В статье рассматриваются вопросы развития оборонной промышленности Армении в контексте новых вызовов Индустрии 4.0.

Ключевые слова: экономическая революция, индустрия 4.0, оборонная промышленность, аддитивное производство, 3D печать, искусственный интеллект, робототехника, интернет вещей, облачные технологии

Для цитирования: Арутюнян, Г. Э. Армения на пути к «новой экономике»: оборонная промышленность / Г. Э. Арутюнян // Цифровая трансформация. – 2021. – № 1 (14). – С. 15–23.



© Digital Transformation, 2021

Introduction. Presenting the new Government program on February 12, 2019, Armenian Prime Minister Nikol Pashinyan, referring to the desideratum of economic revolution, formulated virtually the national agenda of economic development: “Overcoming extreme poverty, a significant reduction of poverty and unemployment, continuous growth of salaries and pensions, and increasing export growth rates. The combination of all these indicators we consider as economic revolution” [1]. Of course, the goals of the new Government are consonant with the imperative of urgent problems facing the country, but as Socrates notes: “The success of change is to focus all of your energy not on fighting the old, but on building the new”. Therefore, the construction of the “New economy” of Armenia should be based on new criteria of development that is already appointed for Armenia by the “4th Industrial Revolution”.

The fact of the “4th Industrial Revolution” was acknowledged by the world community in January 2016 at the framework of the World Economic Forum in Davos. Earlier in 2015, Founder and Executive Chairman of the World Economic forum, Klaus Schwab, announced some new technologies as main driving forces of this revolution: Artificial Intelligence, Big Data Technology, Internet of Things, Robotics, Self-driving Cars, 3D Printing, Biotechnology, Quantum Calculations etc. [2].

All these technological changes, at first glance, are diametrically opposed to the targeting goals of “unemployment reduction and poverty eradication”, since one of the most dangerous trends in the “4th Industrial Revolution” is the growth of technological unemployment around the world. The scale of this threat is best described in a study conducted by Oxford University researchers [3], according to which 47% of the US able-bodied population are at risk of unemployment as a result of automation and robotization. McKinsey estimates the same number at 45%, while, according to World Bank estimates, 57% of OECD jobs can be automated over the next two decades [4].

However, the consequences of this revolution may vary depending on country’s level of development, resource endowment, as well as the peculiarities of human capital. For Armenia, the concept of “Industry 4.0” can turn from the challenge into an important platform for leap-frogging development of economy. The point is that artificial intelligence will replace the workforce in areas that do not require creative and innovative approaches to work, and are mainly dominant in the service sector. The latter is a low value-added

economic area and, their replacement by real sector industries creating more value-added in perspective, can only indicate positive changes. The challenge ahead is to create new jobs in the new manufacturing industries faster than the robotization of the service sector will take place.

2. New technological solutions of “4th Industrial Revolution” for defense industry. The issue of which manufacturing industries are more flexible and capable of adopting the “new technology agenda” was the subject of intensive discussions between analysts. Ebner and Bechtold, for example, find that from this point of view, the automotive industry is the most flexible industry [5]. However, it should be noted that the defense industry is traditionally in the forefront of new technologies. In the second half of the 20th century, the revolutionary technological innovations such as satellite communications, jet engines, semiconductors, nuclear energy, space industry, Internet have been achieved as a result of military purposes R&D [6]. Let’s consider how new technological solutions are translated into action in defense industry.

3D printing or additive manufacturing. This is an industrial technology that allows to manufacture a wide range of products, objects, parts, spare parts, by gradual (layer-by-layer) addition of materials (such as plastic, metal, ceramic powder) on a three-dimensional digital model. The achieved progress allows producing metallic and non-metallic prototypes of objects as well as functional products that do not require mechanical post-processing for a while now [7]. As of September 2018, the global market of additive production is \$1.3 billion, with the US, Japan, Germany and China leading. The advantages of 3D printing are intensively used in medicine, mechanical engineering, aerospace and military industry.

Exclusive capabilities of additive manufacturing allow not only to significantly increasing the efficiency of materials use and to achieve the utmost precision of product specifications and technical features without any mechanical intervention, but also have the following advantages:

- transition from mass production to mass customization allowing to satisfy as many individual customers as possible;
- the ability to create products with a complex shape or even with a configuration impossible in the routine production;
- reduction of production costs including costs of small batches which was impossible without scale effect under usual production conditions;

– significant reduction in the duration of the production cycle, significant increase in production flexibility, since there is no need to the equipment modification and readjustment for a new product [8].

These technologies are indispensable, especially in the production of unmanned aerial vehicles. For example, this is best illustrated through UAV's models manufactured by one of the Russian companies ("Luch" OJSC), that additive manufacturing technology has made it possible to noticeably save time and financial resources, in addition, UAVs produced by this technology can be repaired and manufactured directly on the zone of military operations.

Cloud technologies. The cloud manufacturing can be described as a smart networked manufacturing model that provides higher product individualization, broader global cooperation, knowledge-intensive innovation and increased market-response agility [9]. Such a production model works through cyber-physical production lines, which provide free access to a wide variety of production and information resources. The cloud allows organizations to virtually keep and process information on its production resources within a central location and provide collaborating companies with access to shared cloud platform in real-time, saving operational and other costs [10]. This always-accessible and operative interaction between suppliers and consumers is crucial to creating electronic value chains. The latter will allow companies to significantly reduce production costs and order performance time, as well as warehousing expenses, improve customer service, and optimize work between partners, turning all the information necessary to create electronic value chains into accessible in real time for all stakeholders [11].

Although the use of cloud technologies in the defense industry is associated with certain risks due to high probability of information leakage and other reasons, they still had a "revolutionary" effect and continue to influence the aerospace and defense industries. In particular, the cloud could be brought into field of military operations using mobile devices, enabling the extensive information about operational military activities and to take more effective countermeasures. Furthermore, their use is also appropriate for automated defense economy management and for research in the field of cybersecurity. Note that cloud technologies are interconnected with Big Data and Internet of Things.

Internet of Things. The Internet of Things (IoT) refers to the networking of physical objects through

the use of embedded sensors, actuators, and other devices that can collect and transmit information about objects [12]. The IoT provides an opportunity to analyze the environment of items based on information obtained from them, and accordingly to manage remote (online) increasing the efficiency and accuracy of actions.

The Internet of Things includes a wide range of technologies: identification technologies (such as optical identifiers: barcodes, Data matrix, QR-codes and real-time locating systems), data measurement technologies (from ordinary sensors to up-to-date smart meters), data transmission/exchange technologies and data processing facilities. One of the main problems here is that the system could provide functional capabilities so that the computer could receive all the information independently and without human intervention. It is also necessary to eliminate as much as possible the influence of the human factor when collecting information, which will ensure the reliability and accuracy of the information received.

The analysts of prestigious American research and consulting company Gartner forecast 20 billion internet-connected things by 2020, in turn, Intel provides an even more impressive figure – 200 billion [13].

Internet of Things is extensively used in defense industry, especially for intelligence purposes, but the possibilities of its use will expand in the future. Here are some examples. In military situation, the so-called "attacking swarms" of UAV (or other unmanned underwater and subsurface vehicles) can have greater efficiency. "Attacking swarm" can successfully perform the tasks assigned to it according to unified plan and design thanks to installed sensitive devices (sensors) that collect operatively the necessary information to process it in real-time and to guide operations. Innovative approaches to armor the military equipment are also based on the logic of the Internet of Things, which reckon for transfer of data about the direction of attack and other details to other military equipment on the battlefield, soldiers and the control center, if the equipment damaged.

Robotics. Analysts consider the development of robotics as a precondition for predicting successes, expected efficiency, and increasing productivity in the framework of Industry 4.0 concept. Indeed, the most advanced robots of new technological world, capable to collaborating with each other and humans (also called "cobots"), are really the driving force of the "4th Industrial Revolution" [14], as their

production and exploitation requires a combination of all the breakthrough technologies: artificial intelligence, automated management, cloud technology, Internet of things etc. The application of robots in the production process noticeably increases productivity because robots often work faster, more accurate and more efficient than people. It is known that the company Philips has completely robotic productions, for example, in the Netherlands. Philips produces electric razors in a "dark factory" with 128 robots and just nine workers, who provide quality assurance [15].

In the light of current tendency of robotics and artificial intelligence development we can presume that they are widely used in the military as well. Actually, a diverse array of robotic systems is used in the military sphere – from scout and sapper robots to the most ordinary robotic infantry units. The use of robots with the aforementioned exemplifications is no longer an innovation in the military sphere, for example, sapper robots have more than 40 years of history, and the armored vehicles with remote control are even older. In current trends ensuring the multifunctionality of military robots, accuracy of operations and abilities to navigate in complex locations are dominated.

One of the most interesting design is the robot-snake, able to glide silently even in an extremely difficult terrain, equipped with a thermal imager, camera, microphone, introduced by Israel in 2009. Some time later, the USA also presented similar development: the "American snake" could climb trees, entwine objects and thus shoot from more than secluded places.

Artificial intelligence. Robotics is closely connected with another modern technology, artificial intelligence, which is predicted to lead to the largest revolution in human history but, unfortunately, will also lead to the collapse of humanity [16]. Nevertheless, with all these risks, the development and application of artificial intelligence has already become a reality in the modern world. The matter in question is the existence of intelligent systems that can perform creative functions hitherto considered exclusively human abilities. Robots with artificial intelligence have a certain degree of independence in decision-making and actions, as well as the ability to repeat and improvise actions. Artificial intelligence is now widely used in trade organization, financial services markets, inasmuch it allows to quickly research the market and to perform data mining. Another important area of artificial intelligence application is medicine - medical diagnostics,

interpretation of medical images, development of individual treatment plans, activities of robots taking care of the elderly and disabled persons. In addition, artificial intelligence is also capable of creating artworks. For example, piece of music created by artificial intelligence Emily Howell (algorithmic music) are registered as US patents. According to a study by Marketsandmarkets (global market research consulting company), the World market for artificial intelligence technologies intended for military use in 2017 was estimated at \$6.26 billion, which is forecasted to reach \$18.8 billion in 2025 increasing by 14.7% annually [17]. This is perhaps the fastest growing market, and technological innovations in this area are the most advanced. Let's present the most modern of them.

The project was launched in United States in early 2019 envisaging to develop virtual assistants for military personnel to help increase the effectiveness of personnel during military operations. The system that has been called ATLAS (Advanced Targeting & Lethality Automated System) has advanced targeting and high lethality capabilities due to minimizing the negative impact of stressful situations on personnel actions during military operations. In particular, the system takes over the functions of detecting potential targeting, determining if they are hostile and aiming, leaving the final decision to fire to the commander.

The use of artificial intelligence is also effective in the control systems of military fighters. In 2016, it was proved that the artificial intelligence ALPHA, designed to control military fighters, won a landslide victory over the former flying-ace of the United States army in a virtual dogfight [18]. Technologies of identification (recognition) of objects, people and items provide automation and high efficiency of data analysis obtained from satellite images and devices. Artificial intelligence can also improve radar station performance in terms of predicting and countering a missile attack.

With all that, the most urgent and dangerous of the global problems of the human society is the excessive militarization of artificial intelligence. In August 2017, 116 experts and founders of artificial intelligence and robotics companies from 26 countries around the world sent an open letter to the UN to ban the production of autonomous weapons (through the use of artificial intelligence), substantiating that "they will permit armed conflict to be fought at a scale greater than ever, and at timescales faster than humans can comprehend" [19]. However, no international treaty, having legal

force in this matter, has been signed, and the use of artificial intelligence in the military industry is already an irreversible process.

There are many examples of new technology solutions used in defense industry. We did not touch on the use of block-chain technology, nanotechnology, quantum and many other technologies in the defense industry, which are also trends in Industry 4.0. We considered important to emphasize that the main goal of this revolution is to combine the capabilities of presented new technologies for creating and optimizing new production chains (including electronic ones). For example, by combining the Internet of Things, Cloud technologies, Big Data and additive manufacturing, the companies can respond in real time to the demand for specific product and, to meet this demand, produce products corresponding to all individual needs, as well as armaments and military equipment adapted to the strategic requirements of each country.

3. The new agenda of defense industry development in Armenia. Per se, the new race for innovative weapons has begun in the world, and the states involved in military conflict cannot neglect this fact. The reality, that the defense industry development in Armenia has no alternative anymore, we are already substantiated in early 2016 [20], even then noting that the only way to effectively solving the interconnected issues of economic development and ensuring security of Armenia is to develop the indigenous defense industry. Obviously, the defense industry is in the inevitable point of intersection of the new wave of economic transformations and the breakthrough of the "4th Industrial Revolution" as the initiator of positive changes in the economy, from which positive externalities must be spread throughout the economy by a chain reaction.

As a small country, surrounded by real and potential enemies, Armenia needs an economy-army coalesced "intelligent" system that will respond adequately to any, even the slightest threat to the country's security. In practice, the main guarantee of the country's security is the army, which requires, first of all, significant human resources involved in the military sphere, and then - financial resources. In the case of Armenia, the lack of human resources is caused not only by a small number of populations, but also by the adverse socio-economic situation, which continues to be the main cause of emigration. On the other hand, the continual involvement of human resources in Armed Forces poses another threat to the state - the depletion of human capital. Meanwhile, for many years Armenia has been considered a country

of high-quality human capital and characterized by its ability to rapidly absorbing the achievements of scientific and technological progress and initiate high-tech products manufacturing. The analysis of the Human Capital Development Index, published by the World Economic Forum in 2017, shows that in the near future Armenia may lose the advantage of a high-quality workforce, the restoration of which will require more than one decade [21]. Regarding financial resources, it should be noted that military spending, despite considerable amount – about 4% of GDP over the past 10 years – did not have a stimulating effect on economic growth when economic patterns suggest an obvious impact. The point is that military spending can have a stimulating effect on the economy only when a significant part of them is channeled to the real economy through government procurement on defense. In the case when a significant part of military spending channels to the import of weapons and other military products, not a stimulating effect on the economy is multiplied, but a negative one, especially if we take into account that the source of financing large military expenses is an increase in public debt.

The Industry 4.0 platform provides all solutions to the optimization problem conditioned by imperatives of limited human and financial resources to ensure the security of Armenia – and not only this one. It also provides an opportunity to prevent the militarization of the economy. In the social-welfare function, security is an important component but, nevertheless, it is welfare function. Therefore, to develop an army without economic development, per se, is unlikely. In an effort to transform the economy in a way as to ensure the integrated development of innovative technologies and defense industry, the concept of "nation-army" actually grows into the concept of "nation-economy-security", in which the emphasis is shifted from "whole society for the army" to "whole society for their own well-being and security". Not much seems to change. But it is the establishment of this agenda into the everyday livelihood of society can create an institutional environment that will dictate long-term trends in the development of society. In this context, Industry 4.0 "offers" not to turn a nation into an army, but to turn a nation into a huge "army" of intellectuals capable of designing such a "smart" military-industrial complex that can with minimal human resources, but with significant knowledge-intensity and technological effectiveness, to solve maximum successfully any security problems facing the country. As a result, we can have a military-

industrial complex with the following features:

- full front line robotization, significantly reducing the number of casualties during sabotage attacks;
- widespread use of ground and air robotic intelligence system in peacetime and wartime;
- use of multifunctional unmanned aerial vehicles (including armed drones) during military operations;
- availability of modernized weapons and military technology equipped with remote control systems;
- ability to carrying out high-efficiency network-centric warfare based on new advanced information exchange and analysis systems (by using cloud technologies);
- effective management of military situation and ensuring accuracy of the countermeasure maintaining a high level of situation awareness due to the technological capabilities of the Internet of Things;
- high-tech army uniforms equipped with elements of assessment of the soldier’s moral and psychological state and adequately response;
- defense industry enterprises appointed with additive manufacturing technologies, which are flexible in timely order execution with high accuracy - almost individually;
- improved logistic system of military-industrial complex conditioned by simplification of transactions and costs reduction due to the shortening and elimination of intermediate links in management process.

At the same time, it is obvious that such a development of defense industry cannot be separated from the development of other manufacturing sectors, since Industry 4.0 technologies can also be more successfully used in civilian production, and in some cases they can be transferred to the military sphere from there. On the other hand, the defense industry development can also contribute to the development of related and supporting industries (alternative energy, radio electronics, electro technical manufacturing, etc.), becoming a key manufacturing sector that can set entire economy in motion.

4. Concluding observations. Based on this research, we present a number of observations and recommendations for bringing the economic revolution in Armenia into compliance with global innovation trends and developing the defense industry.

1. Innovative technologies are created and implemented in the production process by human

capital, therefore, the preventing of permanent human capital degradation in Armenia and creating favorable conditions for development are of paramount importance. This could be accomplished by:

- to establish strict quality standards for education from primary education to university and post-graduate levels, preventing a large number of “semi-literate” graduates and scientists who demonstrate “mental disabilities” in solving practical problems;
- to make more stricter the approaches to teaching mathematics, physics and informatics in school curricula;
- to make robotics a compulsory subject in schools and institutions providing secondary technical education;
- to increase the number of State-requisitioned places at universities for engineering, physics and mathematics professions, while at the same time imposing strict requirements on the possession of basic skills intended for comprehension under the curriculum;
- to create favorable conditions for close collaboration between universities and employers in terms of structuring higher education programs in accordance with real needs of labor market;
- considering that in the “new economy” the manufacturing processes are significantly complicated from both technological and organizational points of view, to increase perceptibly the funding of interdisciplinary research, as well as contribute to development of interdisciplinary competencies for different professions.

2. Considering the lack of effective links between different sectors of economy - public and private, financial and industrial, scientific and educational, as well as the weak relationship between different production sectors as the main obstacles to whole economy development (and especially of defense industry), we suggest:

- to partially liberalize the dissemination of information on defense industry (keeping secret the technologies of new weapons production), enabling private investors (including those from Armenian Diaspora and foreigners) to properly evaluate investment efficiency and take greater initiative;
- to perform periodic analysis (through surveys) of the human resource demand of high-tech companies, “inventory” of required skills and abilities, in order to coordinate them with educational processes;
- to diversify the platforms for interaction between Government, private companies and research institutes in the high-tech field, from joint

research and development to commercialization of their results and to exposure to external markets;

3. To provide access to new source of high-tech project financing and opportunities for using contemporary money attraction mechanisms - crowdfunding, crowdlending, crowdinvesting, ICO (initial coin offering), particularly by:

– including the subject “Alternative financing” as an compulsory course in economic universities;

– providing advanced telecommunication infrastructures (as the main ecosystem for Industry 4.0) with appropriate availability of software and cybersecurity guarantees allowing unlimited access for all participants in economic activity;

– creating favorable conditions for use of blockchain technologies and raising public awareness in this regard;

– establishment and enhancing of appropriate legal framework for operations on crowd platforms;

– issuing state-guaranteed private debt instruments, which can also stimulate the development of the local stock market;

– considering the possibility of investing funds of compulsory accumulations of pensions in low-risk high-tech projects.

4. To develop in a short time the architecture of the “smart” military-industrial complex and its model of digital control in order to plainly assessment of demand for new technological solutions in this area and economy’s ability to respond it.

5. As a pilot production project in defense industry, we suggest to establish a joint venture (for example, Armenian-Russian or Armenian-Belarusian) for Aircraft production, modernization and maintenance services in Gyumri on the basis of aircraft repair military unit. The enterprises will specialize in high-quality maintenance, repair and modernization of military and civil aircraft, as well as in manufacturing of aircraft parts and components and in helicopters and aircrafts assembling activities, will have a laboratory for designing new specimens of aircraft and developing new technologies for aviation equipment modernization. Such a proposal is justified by several factors: the availability of high-quality workforce (graduates of Military Aviation University Named after Marshal Khanperiants); neighborhood of Gyumri Technology Center; capability of dual-use products manufacturing (provision of services); availability of adequate transport infrastructure, including airport in operation.

Список литературы

1. Mejlumyan, A. Armenia adopts plan for “economic revolution”. Eurasianet, February, 2019. [Electronic resource] / A. Mejlumyan// – Mode of access: <https://eurasianet.org/armenia-adopts-plan-for-economic-revolution>. – Date of access: 12.01.2020.
2. Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution; What it means and how to respond. Foreign Affairs. December 12, 2015. [Electronic resource] / K. Schwab//– Mode of access: <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>. – Date of access: 08.02.2020.
3. Frey, C. B. The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation? / C. B. Frey, M. A. Osborne // Technological Forecasting and Social Changes. 2017. – vol. 114. –issue C. – pp. 254-280.
4. Acemoglu, D. Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets. / D. Acemoglu, P. Restrepo //NBER Working Paper. – No. 23285.
5. Ebner, G. Are Manufacturing Companies Ready to Go Digital?/ G. Ebner, J. Bechtold // Capgemini Study, 2012. – pp. 1–15.
6. Naughton, J. The evolution of the Internet: from military experiment to General Purpose Technology / J. Naughton// Journal of Cyber Policy, 2016. – pp. 5-28, DOI: 10.1080/23738871.2016.1157619.
7. Слюсар, В. И. Фаббер-технологии: новое средство трехмерного моделирования/ В. Слюсар// ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2003. - №5.- С. 54-60.

8. Михайлов, Ю. Перспективы использования аддитивных технологий в оборонно-промышленном комплексе [Электронный ресурс]/ Ю. Михайлов//Федеральный справочник. – Оборонно-промышленный комплекс России, 2015. – Т. 11.– с. 123-130.– Режим доступа: <http://federalbook.ru/files/OPK/Soderjanie/OPK-11/III/Mihaylov.pdf>.– Дата доступа: 15.02.2020.
9. Ren, L. Cloud Manufacturing: key Characteristics and Applications / L. Ren, L. Zhang, L. Wang, F. Tao, X. Chai//International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2017. – 30 (6). – pp. 501–515. – doi:10.1080/0951192X.2014.902105
10. Hao Y. and Helo P. The Role of Wearable Devices in Meeting the Needs of Cloud Manufacturing: A Case Study, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2015. – 1 (1). – pp. 1–12.
11. Pearson, M. Digitizing the Value Chain / M. Pearson //Pearson on Excellence, 2013. – 1 (1). – pp. 22–23.
12. National Competitiveness Report of Armenia -2017. Our Role in the Fourth Industrial Revolution. – EV Consulting, Economy and Values Research Center. – p 41.
13. Huang, M. Leading the IoT. Gartner Insights on How to Lead in a Connected World. [Electronic resource] / M. Huang // Mode of access: https://www.gartner.com/imagesrv/books/iot/iotEbook_digital.pdf . – Date of access: 08.02.2020.
14. Gray, S. Advanced Technologies/ S. Gray //Robotics Shaping the Future of Manufacturing, Area Development Site and Facility Planning, 2016. – 51 (4). – pp. 14–5.
15. Davies R. Industry 4.0. Digitalisation for productivity and growth. EPRS | European Parliamentary Research Service. PE 568.337, 2015 September. [Electronic resource] / R. Davies // Mode of access: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI\(2015\)568337_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf) . – Date of access: 18.02.2020.
16. Cellan-Jones R. Stephen Hawking warns artificial intelligence could end mankind. December, 2014[Electronic resource] / R. Cellan-Jones // Mode of access: <https://www.bbc.com/news/technology-30290540> . – Date of access: 21.03.2020.
17. Искусственный интеллект в ВПК. 20.04.2018.– Режим доступа: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Искусственный_интеллект_в_ВПК.– Дата доступа: 15.03.2020.
18. Baraniuk C. AI fighter pilot wins in combat simulation, 28 June, 2016. [Electronic resource] / C. Baraniuk // Mode of access: <https://www.bbc.com/news/technology-36650848> . – Date of access: 25.02.2020.
19. Pham S. Elon Musk back call for global ban on killer robots. August 21, 2017. [Electronic resource] / S. Pham // Mode of access: www.money.cnn.com/2017/08/21/technology/elon-musk-killer-robot-un-ban/index.html . – Date of access: 25.12.2020.
20. Арутюнян, Г.Э. Приоритеты развития оборонной промышленности в Армении / Г.Э. Арутюнян // «21-й ВЕК» (Фонд «Нораванк»), 2017. – №5 (75). – с. 48-67 (на армянском).
21. Арутюнян, Г.Э. Оборонная промышленность: Приоритеты, возможности, перспективы / Г.Э. Арутюнян // Ереван, изд. «Лимуш». – 2018. – с. 131-133 (на армянском)

References

1. Mejlumyan A. Armenia adopts plan for “economic revolution”. Eurasianet, February, 2019. Available at: <https://eurasianet.org/armenia-adopts-plan-for-economic-revolution> (Accessed: 12.01.2020)
2. Schwab K.The Fourth Industrial Revolution; What it means and how to respond. Foreign Affairs. December 12, 2015. Available at: <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution> (Accessed: 08.02.2020)
3. Frey C. B. and Osborne M. A. The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation? Technological Forecasting and Social Changes. 2017, vol. 114, issue C, pp. 254-280.
4. Acemoglu D. and Restrepo P. Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets. NBER Working Paper No. 23285.
5. Ebner G. and Bechtold J.Are Manufacturing Companies Ready to Go Digital? Capgemini Study, 2012, pp. 1–15.
6. Naughton J. The evolution of the Internet: from military experiment to General Purpose Technology. Journal of Cyber Policy, 2016, pp. 5-28, DOI: 10.1080/23738871.2016.1157619.
7. Slijusar V. I. Fabber-tehnologii. Novoe sredstvo trehmernogo modelirovanija. [Fabber-technology. A New Tool for Three-Dimensional modeling]. Jelektronika: nauka, tehnologija [Electronics: Science, Technology, Business], 2003, No 5, pp. 54 - 60. (in Russian)
8. Mihajlov Ju. Perspektivy ispol'zovanija additivnyh tehnologij v oboronno-promyshlennom komplekse. [Prospects for the Use of Additive Technologies in the Military-industrial Complex], Federal Handbook. The Military-industrial complex of Russia, 2015 Volume 11, pp. 123-130. Available at: <http://federalbook.ru/files/OPK/Soderjanie/OPK-11/III/Mihaylov.pdf> (Accessed: 15.02.2020) (in Russian)
9. Ren L., Zhang L., Wang L., Tao F., and Chai X. Cloud Manufacturing: key Characteristics and Applications. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2017, 30 (6), pp. 501–515. doi:10.1080/0951192X.2014.902105
10. Hao Y. and Helo P. The Role of Wearable Devices in Meeting the Needs of Cloud Manufacturing: A Case Study, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2015, 1 (1), pp. 1–12.
11. Pearson M. “Digitizing the Value Chain”. Pearson on Excellence, 2013, 1 (1), pp. 22–23.
12. National Competitiveness Report of Armenia -2017. Our Role in the Fourth Industrial Revolution. EV Consulting, Economy and Values Research Center, p 41.
13. Huang M. Leading the IoT. Gartner Insights on How to Lead in a Connected World. Available at: https://www.gartner.com/imagesrv/books/iot/iotEbook_digital.pdf (Accessed: 13.02.2020)

14. Gray S. Advanced Technologies/Robotics Shaping the Future of Manufacturing, Area Development Site and Facility Planning, 2016, 51 (4), pp. 14–5.
15. Davies R. Industry 4.0. Digitalisation for productivity and growth. EPRS | European Parliamentary Research Service. PE 568.337, 2015 September. Available at: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI\(2015\)568337_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf) (Accessed: 18.02.2020)
16. Cellan-Jones R. Stephen Hawking warns artificial intelligence could end mankind. December, 2014, Available at: <https://www.bbc.com/news/technology-30290540> (Accessed: 21.03.2020)
17. The artificial Intelligence in MIC. 20.04.2018, (in Russian) Available at: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Искусственный_интеллект_в_ВПК (Accessed: 15.03.2020)
18. Baraniuk C. AI fighter pilot wins in combat simulation, 28 June, 2016. <https://www.bbc.com/news/technology-36650848> (Accessed: 25.02.2020)
19. Pham S. Elon Musk back call for global ban on killer robots. August 21, 2017. www.money.cnn.com/2017/08/21/technology/elon-musk-killer-robot-un-ban/index.html (Accessed: 25.12.2020)
20. Harutyunyan G. E. Priorities of the Military Industry Development in the Republic of Armenia, «21st CENTURY» (“Noravank” Foundation), 2017, 5 (75), pp 48-67 (in Armenian).
21. Harutyunyan G. E. Defense Industry: Priorities, Opportunities, Prospects. Yerevan. “Limush”, 2018, pp. 131-133 (in Armenian).

Received: 23.06.2020

Поступила: 23.06.2020

Цифровой рекрутинг с использованием интеллектуальных диалоговых систем, построенных на принципах машинного обучения

И. Н. Калиновская, к. т. н., доцент кафедры экономической теории и маркетинга

E-mail: i-kalinovskaya@yandex.by

Витебский государственный технологический университет,
пр-т Московский, д. 72, 210035, г. Витебск, Республика Беларусь

Аннотация. В связи с цифровой трансформацией белорусской экономики перед компаниями стоит задача выбора способов перехода от классических методов управления человеческими ресурсами к модели «HR 3.0», позволяющей повысить эффективность и скорость решения задач найма, удержания и развития персонала в результате использования облачных технологий, чат-ботов и искусственного интеллекта. Одним из ключевых направлений совершенствования управления человеческими ресурсами является цифровизация процесса рекрутинга. В статье предложена технология реализации белорусскими компаниями цифрового рекрутинга; приведена методика оценки резюме кандидатов, методика проведения предварительного интервью с использованием интеллектуальных диалоговых систем, построенных на принципах машинного обучения; рассмотрен пример использования чат-бота при подборе и оценке кандидатов; указаны преимущества цифрового рекрутинга перед классическими методами подбора персонала.

Ключевые слова: управление человеческими ресурсами, цифровой рекрутинг, автоматизированная система рекрутинга, интеллектуальная диалоговая система, чат-бот

Для цитирования: Калиновская, И. Н. Цифровой рекрутинг с использованием интеллектуальных диалоговых систем, построенных на принципах машинного обучения / И. Н. Калиновская // Цифровая трансформация. – 2021. – № 1 (14). – С. 24–34.



© Цифровая трансформация, 2021

Digital Recruitment Using Intelligent Dialogue Systems Based on Machine Learning Principles

I. N. Kalinowskaya, Candidate of Science (Technical), Associate Professor, Department of Economic Theory and Marketing

E-mail: i-kalinovskaya@yandex.by

Vitebsk State Technological University, 72 Moskovsky Ave., 210035
Vitebsk, Republic of Belarus

Abstract. In connection with the digital transformation of the Belarusian economy companies face the task of choosing the ways of transition from classical methods of human resources management to the model "HR 3.0", which allows to increase efficiency and speed of solving the tasks of recruitment, retention and development of personnel as a result of using cloud technologies, chat bots and artificial intelligence. One of the key areas of human resources management improvement is digitalization of the recruiting process. The article suggests the technology of implementation of digital recruiting by Belarusian companies; the method of evaluation of candidates' CVs is given; the method of conducting preliminary interviews with the use of intelligent dialog systems based on the principles of machine learning is given; the example of using the chat-bot in the process of selection and evaluation of candidates is considered; the advantages of digital recruitment over the classical methods of personnel recruitment are specified.

Key words: human resources management, digital recruiting, automated recruitment system, intelligent dialogue system, chat-bot

For citation: Kalinowskaya I. N. Digital Recruitment Using Intelligent Dialogue Systems Based on Machine Learning Principles. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 1 (14), pp. 24–34 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

Введение. В результате постепенного внедрения в бизнес-процессы передовых методов и подходов, управление человеческими ресурсами (HR) подвергается цифровой трансформации. На этапе перехода к цифровой экономике в традиционную модель управления вводятся технологии искусственного интеллекта, HR- и прогнозной аналитики, инструменты работы с большими массивами данных, машинное обучение; роботизируются и автоматизируются процессы управления персоналом, что в свою очередь требует от специалистов освоения новых ключевых навыков [1, 2].

Управление человеческими ресурсами переходит на новый уровень – модель «HR 3.0», по-

зволяющую повысить эффективность и скорость решения задач найма, удержания и развития персонала, благодаря мобильным технологиям, технологиям поиска кандидатов через социальные сети, анализу больших массивов данных, использованию облачных технологий и цифровым формам психометрических инструментов оценки персонала. Ключевые направления HR цифровизации представлены на рисунке 1.

Процесс подбора и найма персонала в наибольшей степени влияет на бизнес-результаты компании. На смену классической формы процесса подбора кадров приходит цифровой рекрутинг (рисунок 2).



Рис. 1. Направления цифровизации управления человеческими ресурсами

Примечание. Разработка автора

Fig. 1. Directions for digital human resource management

Note. Developed by the author

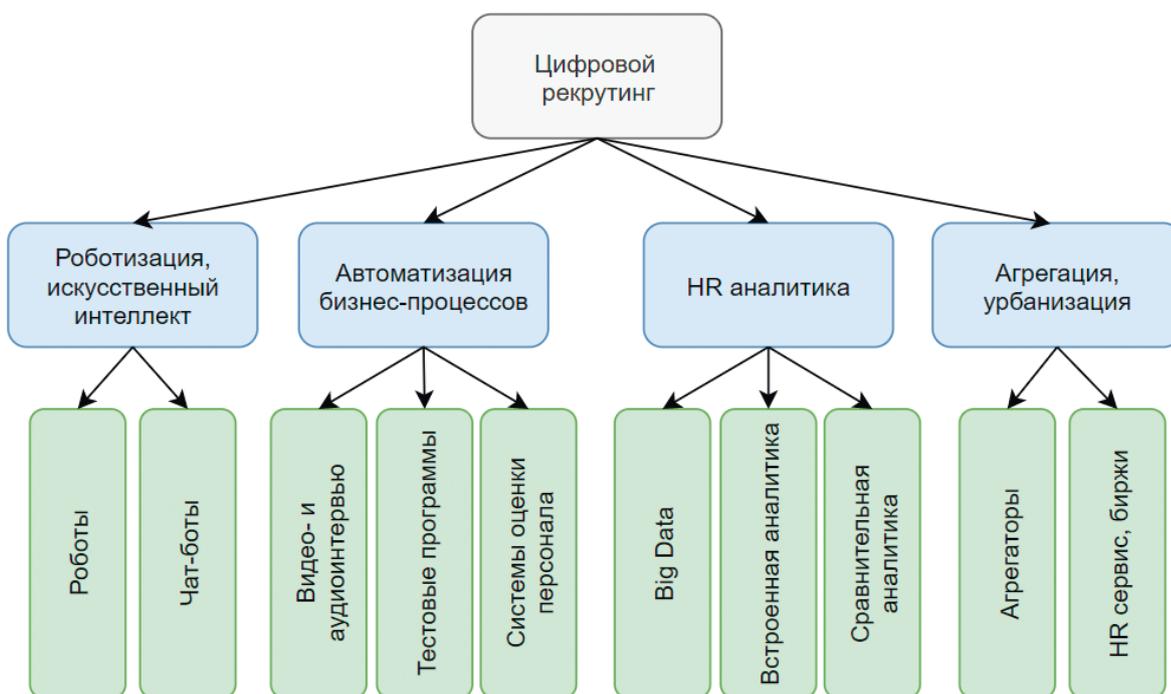


Рис. 2. Направления цифрового рекрутинга

Примечание. Разработано на основе [3].

Fig. 2. Directions for digital recruiting

Note. Developed on the basis of [3].

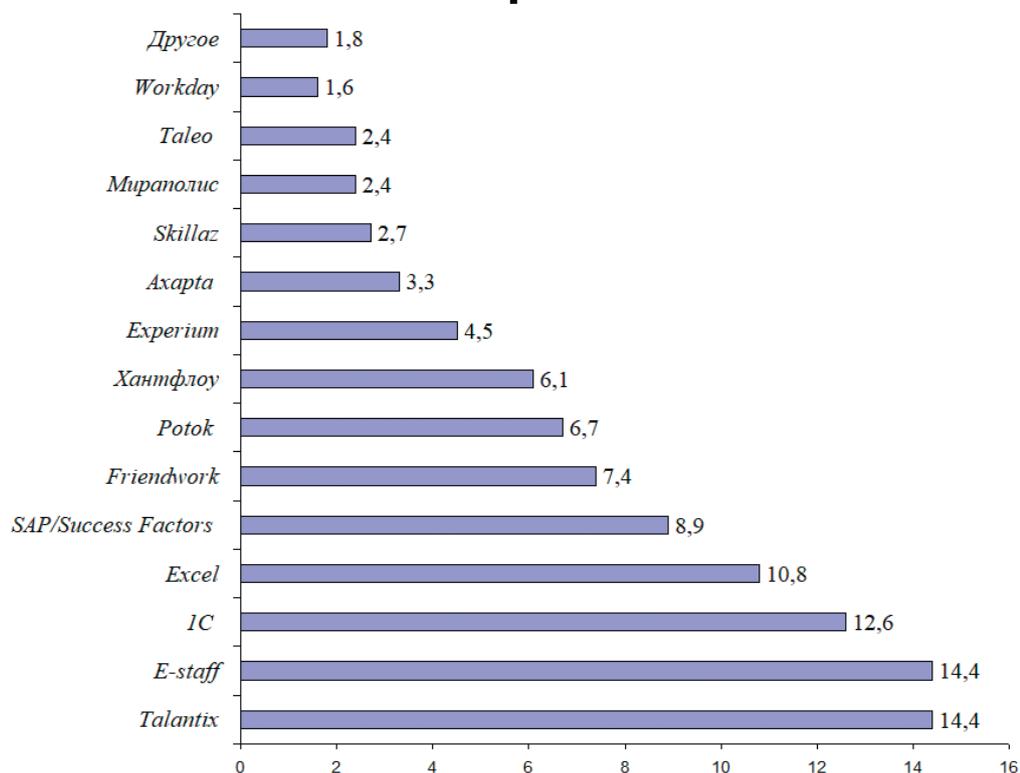


Рис. 3. Рейтинг систем цифрового рекрутинга

Примечание. Разработано на основе [3].

Fig. 3. Rating of digital recruiting systems

Note. Developed on the basis of [3].

По результатам опроса HR-специалистов, проведенного в 2019 году компанией «HeadHunter», каждая третья компания, представленная на рынке, пользуется системой автоматизации подбора персонала [3]. Основными преимуществами использования автоматизированных систем подбора персонала являются: высвобождение времени на выполнение новых задач, обеспечение прозрачности бюджета на рекрутинг, сокращение срока поиска сотрудников. Исследования «HeadHunter» определили ведущие системы цифрового рекрутинга (рисунок 3).

Анализ эффективности внедрения цифровых технологий в процесс управления человеческими ресурсами выявил направления, в которых автоматизация в полной мере оправдала ожидания специалистов. Такими направлениями стали: отправка уведомлений кандидатам, аналитика по подбору кадров, ранжирование резюме и поиск кандидатов (рисунок 4).

Международные исследования «Будущее HR», проводимые в 2019 году компанией «KPMG International», показали направления цифрового управления человеческими ресурсами [5]:

- внедрение технологий и навыков, дающих выгоду и конкурентное преимущество от использования анализа больших данных;

- интеграция человеческого и цифрового труда за счет применения искусственного интеллекта и машинного обучения;

- использование HR-аналитики с целью повышения качества принимаемых управленческих решений и прогнозирования поведения сотрудников, а также результатов их деятельности.

При этом основными направлениями инвестиций в управление человеческими ресурсами стали: прогнозная аналитика (37,5 %), автоматизация процессов (33,1 %), искусственный интеллект (29,4 %).

В 2020 году в качестве основных технических решений на рынке информационных технологий в HR выступают облачные технологии, чат-боты и искусственный интеллект.

В связи с этим перед белорусскими компаниями стоит задача выбора способов перехода от классических методов управления человеческими ресурсами к цифровым, дающим конкурентные преимущества организациям.

Технология реализации цифрового рекрутинга. Классическая реализация процесса рекрутинга содержит большое количество рутинных операций и повторяющихся задач, которые целесообразно автоматизировать, то есть преобразовать классический подбор кадров в цифровую



Рис. 4. Оценка эффективности автоматизации HR процессов (оценка осуществлялась по пятибалльной шкале)
Источник: [4].

Fig. 4. Effectiveness evaluation of HR process automation (evaluated on a five-point scale)
Source. [4].

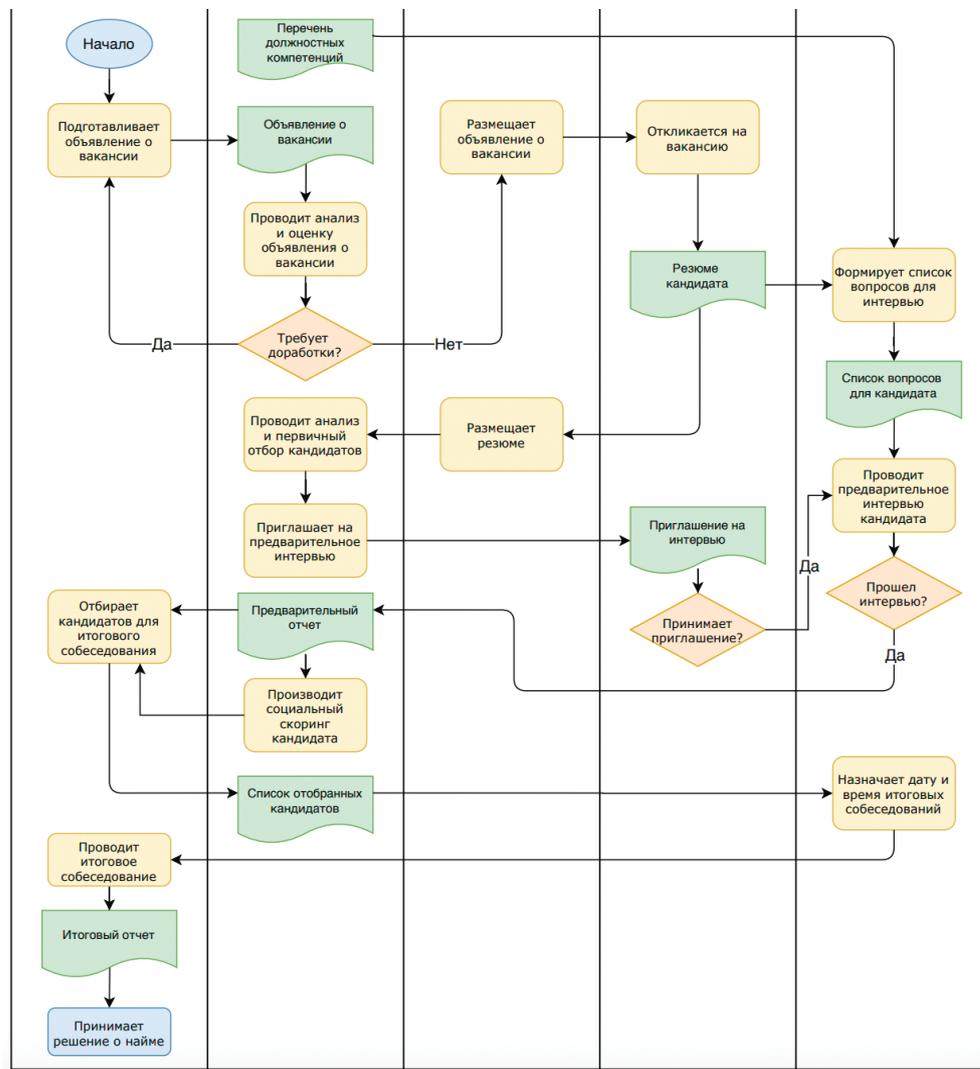


Рис. 5. Технология цифрового рекрутинга

Примечание. Разработка автора

Fig. 5. Digital recruiting technology

Note. Developed by the author.

форму. Технология реализации цифрового рекрутинга представлена на рисунке 5.

Таким образом, цифровой рекрутинг – это совокупность функций субъектов (HR-специалист, кандидат на должность) и объектов (HR-портал, интернет-ресурсы, чат-бот) системы подбора персонала, позволяющих в короткие сроки, с наименьшими усилиями и затратами закрывать вакансию (находить рабочее место).

Объединение таких элементов технологии как «HR-портал» и «Чат-бот», представляет собой автоматизированную систему рекрутинга (АСР), позволяющую:

- сокращать когнитивные искажения, допускаемые рекрутерами, и снижать влияние человеческого фактора;
- автоматизировать скрининг резюме и предварительное интервью;
- устанавливать коммуникации с кандидатами и поддерживать их на протяжении всего процесса найма;
- расширять воронку подбора персонала;
- повышать качество отобранных кандидатов;
- собирать и обрабатывать аналитические данные для объективных решений в управлении рекрутингом;
- устранять риск потери информации о ценных кандидатах и статусах подбора;
- снижать субъективизм процесса отбора;
- сокращать затраты найма и времени подбора кадров;
- обеспечивать рост производительности труда HR-специалиста.

Система АСР обеспечивает прозрачный принцип работы:

- HR-специалист задает параметры вакансии, по которым система отбирает нужных претендентов в интернет-ресурсах (на сайтах поиска работы, социальных сетях, онлайн-биржах), импортирует подходящие резюме в базу HR-портала;
- HR-портал проводит первичный отбор кандидатов по их резюме;
- HR-специалист дает команду чат-боту пригласить и провести с отобранными кандидатами предварительное интервью;
- чат-бот разрабатывает список вопросов и проводит интервью, результаты которого предоставляются HR-специалисту;
- получив письменное согласие, HR-портал проводит социальный скоринг аккаунтов кандидата в социальных сетях;

– система HR-портала пересылает специалисту отчеты по отобранным кандидатурам в ходе предварительных испытаний;

– HR-специалист производит отбор кандидатур для итоговых собеседований с экспертами компании;

– чат-бот связывается с кандидатами и назначает дату и время итоговых собеседований, согласуя расписания интервьюирующих экспертов и кандидатов;

– HR-специалист анализирует результаты собеседований, предоставляет их руководству компании, которое принимает окончательное решение о найме.

Благодаря АСР-рекрутеру не нужно вручную искать резюме, сверять компетенции и качества кандидата с требованиями вакансии, связываться с соискателями. Также система позволяет составлять базу резюме, анализировать источники поиска кандидатов и определять наиболее эффективные среди них, собирать данные о количестве проведенных собеседований и сравнивать их с предыдущими периодами, изучать воронку кандидатов, рассчитывать стоимость отклика кандидатов, формировать внешний кадровый резерв.

Как показывает практика, самыми затратными и длительными процессами рекрутинга, включающими большое количество рутинных и однотипных операций, являются первичный отбор резюме и проведение предварительного интервью с кандидатом. Таким образом, целесообразно осуществлять данные процессы с помощью интеллектуальной диалоговой системы, построенной на принципах машинного обучения, – чат-бота.

На сегодня наиболее востребованными ботами-рекрутерами являются [6]:

– XOR (xor.ai) – бот в Telegram, Facebook и HeadHunter (hh.ru);

– TalkPush (talkpush.com) – бот в Facebook Messenger;

– Wendy (wadeandwendy.ai) – скрининг-бот в Slack;

– Skillaz – система, автоматизации подбора, принятия решений, обработки и анализа данных соискателей на сайтах поиска работы и в социальных сетях.

Алгоритм работы чат-бота построен на выполнении определенных этапов, повторяющихся в ходе всего процесса общения с пользователем (рисунок 6).

Алгоритм прекращается, когда чат-бот получает обратной связи в виде нового сообще-

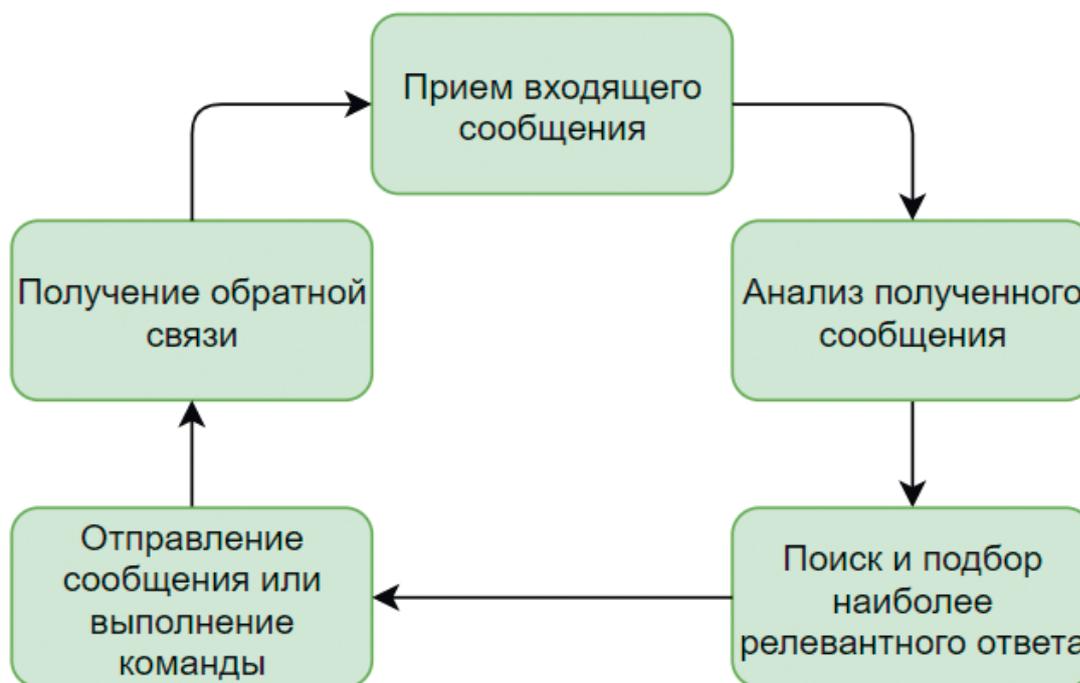


Рис. 6. Алгоритм работы чат-бота
 Примечание. Разработка автора
 Fig. 6. Chatbot operation algorithm
 Note. Developed by the author.

ния или команды, но процесс коммуникации может повториться по инициативе кандидата. Чат-боты не начинают общение первыми. Его запуск производится через нажатие кнопки старта на виртуальной клавиатуре. Для осуществления работы и визуализации бота в качестве мини-приложения с интуитивно понятным интерфейсом используются программируемые кнопки виртуальной клавиатуры.

Рассмотрим принцип осуществления первичного отбора кандидатов по их резюме HR-порталом. Рейтинг резюме выставляется по совокупному баллу из ряда критериев, имеющих различные удельные веса, зависящие от требований вакансии, и агрегированных в интегральный показатель – совокупный балл резюме:

$$P = \sum_{i=1}^5 (b_i \times K_i),$$

где P – рейтинг резюме, балл; b_i – сумма баллов, полученных кандидатом по i -разделу критериев оценки резюме, балл; K_i – значимость i -раздела критериев оценки резюме (зависит от требований вакансии, проставляется HR-специалистом).

При оценке резюме HR-специалист задает проходные баллы системе портала по каждому разделу матрицы в зависимости от должности. Исходя из требований вакансии, специалистом устанавливается уровень значимости раздела

критериев оценки. Проходные баллы и уровень значимости определяются специалистами соответствующих служб и подразделений компании (экспертами). Обособлено каждой выявленной компетенции вакансии присваиваются баллы и производится ранжирование компетенций в порядке их выраженности в конкретной должности.

На следующем этапе HR-специалист подключает к процессу чат-бота. По команде рекрутера система отправляет активную ссылку на мобильное устройство кандидата, прошедшего этап отбора по резюме. Данная ссылка позволяет на определенной платформе социальной сети, мессенджера либо на сайте компании запустить чат-бота, который разрабатывает список вопросов и проводит предварительное интервью. При этом список вопросов разбивается на информационный и специализированный блок (рисунок 7).

Информационный блок включает вопросы к кандидату, не требующие специализации: профессия (специальность); уровень образования; место проживания и готовность к переезду (командировкам); цель прохождения испытаний (стажировка, получение должности); вид занятости (полная, частичная, удаленная); желаемый уровень заработной платы; базовые умения, навыки и качества кандидата. Специализированный блок представлен узконаправленными вопросами, составленными в зависимости от:

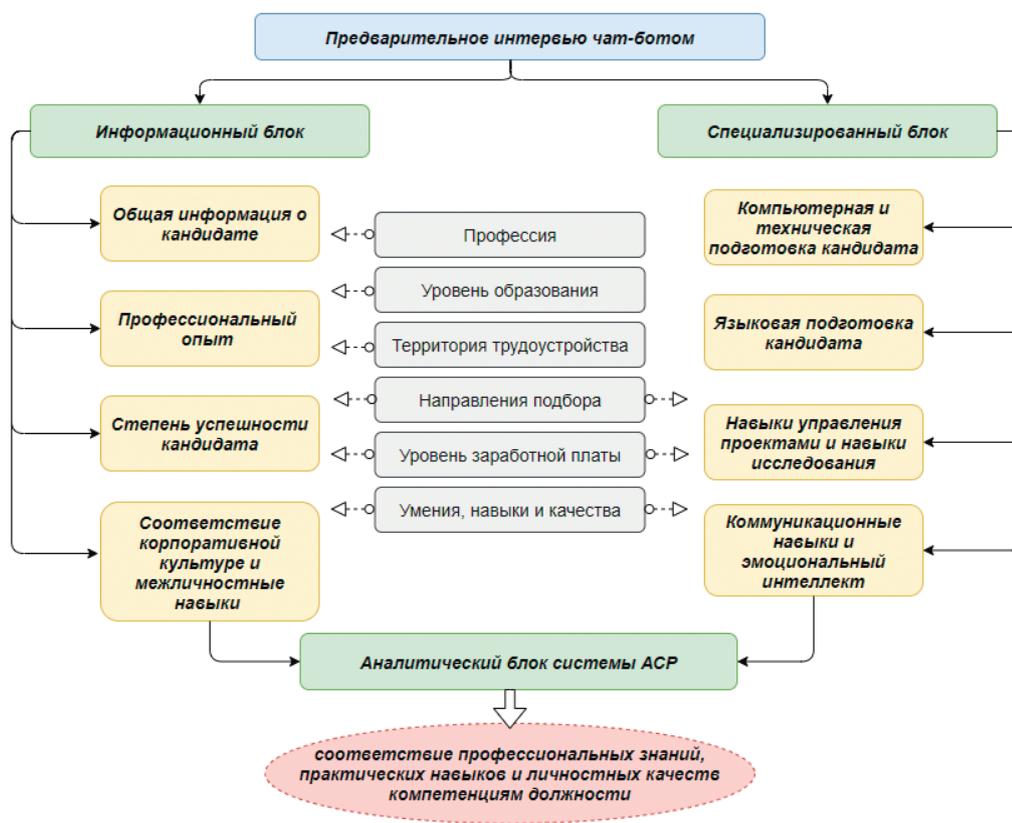


Рис. 7. Блоки предварительного интервью, проводимого чат-ботом

Примечание. Разработка автора

Fig. 7. Chatbot pre-interview blocks

Note. Developed by the author.

– перечня должностных компетенций, сформированных по типовой должностной инструкции данной вакансии (разрабатывается на основе Единого тарифно-квалификационного справочника работ и профессий рабочих (ЕТКС) и Единого квалификационного справочника должностей служащих (ЕКСД);

– навыков, востребованных на рынке труда;
– уровня подготовки кандидата, выявленного при анализе его резюме.

По результатам ответов на вопросы специализированного блока формируется информация о предлагаемом уровне заработной платы, необходимости прохождения стажировки кандидатом, имеющим стаж, выявленных у него умениях, навыках и качествах.

По окончании интервью собранная ботом информация поступает в аналитический блок системы АСР (HR-портал) для анализа ответов кандидата, по результатам которого определяется уровень его компетентности, соответствия требованиям вакансии, а также формируется предварительный отчет, предоставляемый HR-специалисту.

Применение на практике интеллектуальных диалоговых систем, построенных на принципах

машинного обучения, при подборе персонала.

Апробация интервью-бота осуществлялась в Витебской IT-компании численностью 120 человек.

Уровень кандидатов: студенты выпускных курсов высших учебных заведений г. Витебска.

Цель подбора: практика и прохождение стажировки в компании.

Количество кандидатов: 14 человек.

Исходные данные: интервью с кандидатами; требования вакансии JavaScript-разработчика, размещенные на «Работа. tut.by» (таблица 1).

На основании требований вакансии и уровня подготовки кандидатов чат-бот составил вопросы для интервью по информационному и специализированному блоку. На рисунке 8 представлен скриншот диалога чат-бота «Интервью Бот», разработанного автором на платформе «Telegram», с кандидатом при проведении предварительного интервью (информационный блок).

Результаты проведенных собеседований заносятся в базу HR, где анализировались данные по каждому кандидату, составлялся усредненный портрет соискателя и строилась диаграмма соответствия подготовленности кандидатов требованиям вакансии (рисунок 9).

Таблица 1. Требования вакансии Javascript-разработчика
 Table 1. JavaScript developer requirements.

Ранг	Обязательные требования	Балл	Ранг	Желательные умения и навыки	Балл
1	Знания стандартов JavaScript (ES5, ES6+)	16	1	Опыт написания unit тестов (Jest + Enzyme)	9
2	Знания HTML5, CSS preprocessors	12	2	Опыт конфигурирования проекта с нуля (Webpack)	9
3	Знания HTTP	8	3	Знание функциональных библиотек (lodash, underscore)	6
4	Базовые навыки работы с GIT	4	4	Опыт работы с фреймворками и библиотеками (Angular, React, Vue)	6
5	Интерес к новым технологиям	3	5	Знания и опыт работы с Redux	6
6	Желание расти и развиваться	3	6	Английский язык (не ниже «A2»)	3,5
7	Проявление инициативы	3	7	Опыт работы с Docker	6
			8	Понимание JS на стороне сервера Node.js (Express, PassportJS, authorization), SQL, NoSQL	3
Итого		49	Итого		39,5

Примечание. Разработка автора на основе [Работа. tut.by]
 Note. Developed by the author based on [rabota. tut.by]



Рис. 8. Скриншот диалога «Интервью-Бот» с кандидатом
 Примечание. Разработка автора
 Fig. 8. Screenshot of the "Interview-bot" dialog with a candidate
 Note. Developed by the author.

Построенная диаграмма соответствия позволяет определить не только уровень знаний, умений и навыков, но и направления подготовки во время практики и при стажировке кандидатов (стандарты JavaScript, HTML5, CSS preprocessors; написание unit тестов; конфигурирование проекта с нуля (Webpack); работа с фреймворками и библиотеками (Angular, React, Vue); работа с Redux и Docker).

Полученные значения отбора кандидатов с помощью чат-бота сравнивались со значениями отбора, проводимого HR-специалистом, и данные заносились в сводную таблицу HR-портала (таблица 2).

Таким образом, интервью, проведенное чат-ботом, позволило принять на практику и стажировку в 1,1 раза больше кандидатов, сократило отсев в 1,5 раза и в 2 раза увеличило численность кандидатов, получивших вторую попытку пройти отбор после изучения необходимого материала.

«Интервью-бот» обладает следующими преимуществами перед рекрутером:

- непрерывный процесс работы 24 часа в день, 365 дней в году;
- возможность работы на различных платформах, настраиваемых под запросы кандидата;
- многоканальность ответов (возможность ответов на запросы нескольких кандидатов одновременно);
- минимальные текущие затраты на обслуживание;
- постоянное обучение и пополнение базы интервью;
- сохранение в цифровом виде получаемой информации в АСР системе.

Не менее важным преимуществом использования чат-бота является экономия средств компании. В таблице 3 приведен расчет месячной экономии средств и срока окупаемости

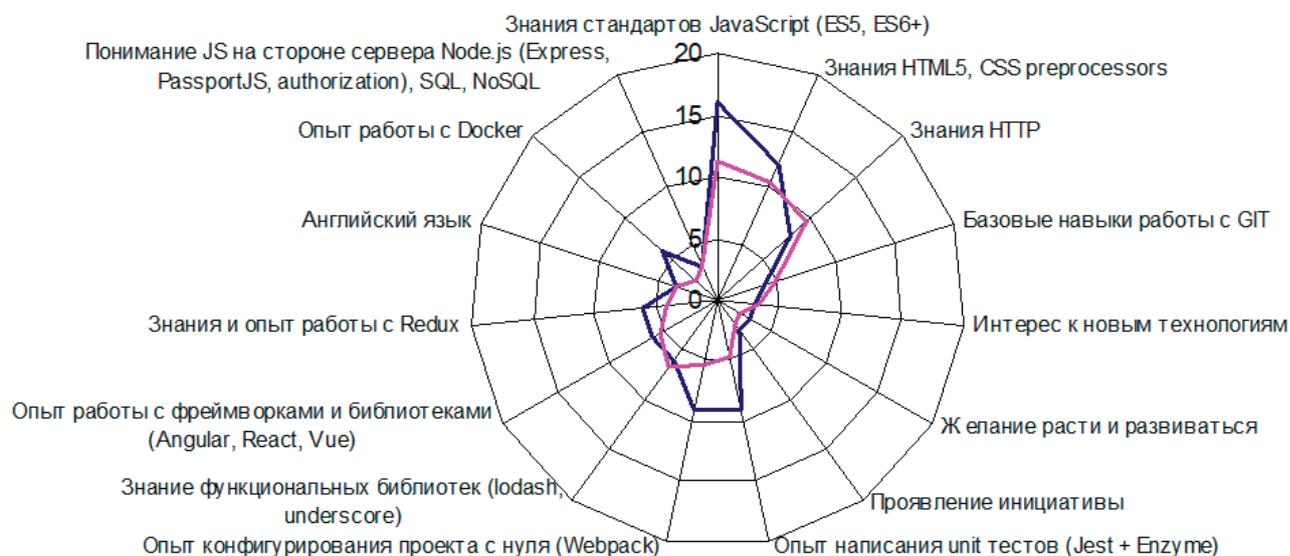


Рис. 9. Диаграмма соответствия подготовленности кандидатов требованиям вакансии

Примечание. Составлено по данным апробации

Fig. 9. Diagram of the candidates' readiness to meet the hiring criteria

Note. Compiled to the approbation data.

Таблица 2. Требования вакансии Javascript-разработчика

Table 2. JavaScript developer requirements.

Показатель	Значение, %	
	Чат-бот	HR специалист
Количество кандидатов, принявших участие в отборе	100	100
Количество кандидатов, прошедших отбор	57,2	50,0
Количество кандидатов, получивших вторую попытку пройти отбор после изучения необходимого материала	14,2	7,1
Количество кандидатов, не прошедших отбор	28,6	42,9

Примечание. Разработка автора

Note. Developed by the author.

Таблица 3. Расчет показателей экономической эффективности использования интервью-бота
 Table 3. Calculation of economically effective indicators of using the interview-bot.

Показатель	Значение
Среднее количество звонков HR в день	17
Длительность одного звонка	3,5 мин
Общая продолжительность звонков	1 час
Время, затрачиваемое на обработку откликов	0,5 часа
Время, затрачиваемое на заполнение базы и составление отчетов	1,5 часа
Итого рабочего времени	3 часа
Доля рабочего времени на перечисленные задачи	37,5 %
Сэкономленное рабочее время в месяц (в расчете принято 22 рабочих дня)	66 часов
Зарботная плата HR в месяц	925 руб.
Стоимость рабочего часа HR	5,25 руб.
Экономия средств	346,5 руб.
Количество HR в филиале	2 чел.
Суммарная экономия	693 руб.
Стоимость разработки и внедрения чат-бота	1960 руб.
Срок окупаемости	2,8 мес.

Примечание. Разработка автора
 Note. Developed by the author.

чат-бота на примере компании, где проходила его апробация.

Таким образом чат-бот экономит около 40 % рабочего времени HR-специалиста. С увеличением размеров компании экономия может составить до 75%.

Заключение. Распространенной проблемой при оценке соискателей должности выступает «человеческий фактор» (субъективность оценки, технические ошибки, проявление эмоций, потеря концентрации и т.д.) и сжатые сроки обработки больших объемов информации. Для решения данной проблемы сотрудникам HR-подразделений и специализированных агентств по найму кадров предлагаются их цифровые аналоги – боты по подбору персонала (рекрутмент чат-боты), способные: анализировать данные, представленные в резюме;

определять уровень компетентности и опыт; планировать собеседование; проводить первичное интервью; ранжировать кандидатуры.

При внедрении цифрового HR-специалиста важно разработать принципы и метрики подбора персонала; список вопросов, релевантных вакансии; методику анализа полученной информации; выбрать программный продукт сбора, обработки и хранения HR-информации.

С целью сокращения временных и трудовых затрат HR-специалистов, удобства сбора, обработки и хранения информации белорусским компаниям рекомендуется внедрять автоматизированную систему рекрутинга, использующую возможности искусственного интеллекта и позволяющую освободить HR-персонал от рутинных процессов и повторяющихся монотонных задач.

Список литературы

1. Ванкевич, Е. В. Информационно-аналитическая система рынка труда и прогнозирования потребности в кадрах: содержание и направления формирования в Республике Беларусь/ Е. В. Ванкевич, Э. Кастел-Бранко// Белорусский экономический журнал. – 2017. – № 2. – С. 73–92.
2. Ванкевич, Е. Оценка эффективности активных программ содействия занятости в регионе/ Е. Ванкевич, Е. Коробова// Вестник ВГТУ. – 2015. – № 28. – С. 174–185.
3. Подбор персонала в цифровую эпоху. – [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/by/Documents/human-capital/podbor-personala-v-cifrovuyu-epohu.pdf> – Дата доступа: 11.04.2020.
4. Что происходит с автоматизацией подбора персонала. – [Электронный ресурс]. – 2019. - Режим доступа: <https://hhcdn.ru/file/16861694.pdf> – Дата доступа: 11.04.2020
5. Будущее HR. – [Электронный ресурс] . – 2020. - Режим доступа: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2019/04/ru-future-of-hr-2019.pdf> – Дата доступа: 12.04.2020.
6. Автоматизируйте подбор персонала. Возьмите в помощники искусственный интеллект // Журнал «Директор по персоналу» / Тематическое приложение к журналу «Подбор персонала: проверенные временем методики и новые инструменты». – 2019 . – № 3. – С.23 – 34.
7. Калиновская, И. Н. Тенденции развития искусственного интеллекта и применение интеллектуальных диалоговых систем, построенных на принципах машинного обучения // 52 международная научно-техническая конференция преподавателей и студентов УО «ВГТУ»: материалы докладов, апрель 2019 г. - УО ВГТУ : Витебск. – 2019. – С. 217–220.

References

1. Vankevich E. V., Kastel-Branko E`. Information-analytical system of the labor market and forecasting of demand for personnel: content and directions of formation in the Republic of Belarus. Belorusskij e`konomicheskij zhurnal [Belarusian Economic Journal], 2017, no. 2. pp. 73–92 (in Russian).
2. Vankevich E., Korobova E. Evaluation of the effectiveness of active employment promotion programmes in the region. Vestnik VGTU [Vestnik VSTU], 2015, no. 28. pp. 174–185 (in Russian).
3. Recruitment for the digital age, 2018. Available at: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/by/Documents/human-capital/podbor-personala-v-cifrovuyu-epohu.pdf>. (accessed 11.04.2020) (in Russian).
4. What happens to recruitment automation, 2019. Available at: <https://hhcdn.ru/file/16861694.pdf>. (accessed 11.04.2020) (in Russian).
5. The Future of HR, 2020. Available at: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2019/04/ru-future-of-hr-2019.pdf>. (accessed 12.04.2020) (in Russian).
6. Automate staff recruitment. Take artificial intelligence as your assistant. Zhurnal «Direktor po personalu». Tematicheskoe prilozhenie k zhurnalu «Podbor personala: proverenny`e vremenem metodiki i novy`e instrumenty`» [The "Personnel Director" magazine. Thematic supplement to the magazine "Recruitment: Time-tested techniques and new tools"], 2019, no. 3. pp. 23–34 (in Russian).
7. Kalinovskaya I. N. Trends in the development of artificial intelligence and the use of intelligent dialogue systems based on machine learning principles 52 mezhdunarodnaya nauchno-texnicheskaya konferenciya prepodavatelej i studentov UO «VGTU»: materialy` dokladov [52 international scientific and technical conference of teachers and students of EE "VSTU": reports materials]. Vitebsk, 2019, pp. 217-220 (in Russian).

Received: 19.01.2021

Поступила: 19.01.2021

Особенности рисков в сфере информационных технологий

Д. А. Предко, магистр экономики и управления, аспирант

E-mail: predko1994denis@gmail.com

Белорусский государственный технологический университет,
ул. Свердлова, 13 а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье представлена классификация рисков сферы информационных технологий, описаны их особенности. В общем виде предлагается рассмотреть риски со стороны менеджмента ИТ-компании, риски со стороны команды разработки, риски со стороны случайных факторов, со стороны ЛПР-заказчика, со стороны сотрудников заказчика, со стороны государства, а также рыночные риски.

Ключевые слова: риски, информационные технологии, ПВТ, ИТ-компании

Для цитирования: Предко, Д. А. Особенности рисков в сфере информационных технологий / Д. А. Предко // Цифровая трансформация. – 2021. – № 1 (14). – С. 35–45.



© Цифровая трансформация, 2021

Features of Risks in the Information Technology Industry

D. A. Predko, Master of Economics and Management, PhD student

E-mail: predko1994denis@gmail.com

Belarussian State Technological University, 13 a Sverdlova Str., 220006
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. This article presents a classification of risks in the industry of information technology, describes their features. In general terms, it is proposed to consider risks from the management of IT company, from random factors, from customer's decision-maker, from customer's employees, from the state, as well as market risks

Key words: risks, information technology, HTP, IT companies

For citation: Predko D. A. Features of Risks in the Information Technology Industry. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 1 (14), pp. 35–45 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

Введение. Сегодня наблюдается стремительное увеличение спроса на информационные технологии (далее ИТ). Это обусловлено множеством различных факторов, таких как экспоненциальный рост количества информации в мире в целом, увеличение количества инвестиций в данную сферу в экономике, превращением информации в стратегический ресурс компаний и т. д. Возросший спрос на ИТ выступил триггером для стремительного развития ИТ-сферы, появлению множества компаний, стартапов различного профиля, конкурирующих между собой на рынке. Кроме того, сами по себе ИТ-продукты характеризуются высокой степенью уникальности, требующие высоких компетенций для их создания. Все это свидетельствует о высоком уровне рисков в данной отрасли экономики. Целью данной статьи является представление наиболее часто встречающихся рисков в ИТ-сфере, описание их особенностей.

Основная часть. Начнем рассмотрение внутренних рисков со стороны менеджмента ИТ-компании, представленные на рисунке 1.

Риски некачественного управления человеческими ресурсами. Под риском некачественного управления человеческими ресурсами понимается вероятность отклонения текущих параметров руководства человеческими ресурсами от потенциально возможных или от среднестатистических, которые приняты в обществе. В качестве наиболее распространенных рисков можно привести следующие:

– Вероятность отвлечения сотрудников от одних проектов на другие. Как правило, данная практика негативно влияет на качество продукта, разрабатываемого проекта, снижает **командную эффективность, а также возможности качественной поддержки продукта и т. д.**

– Вероятность недостаточного количества человеческих ресурсов. Данный риск в основном отражает качество планирования человеческими

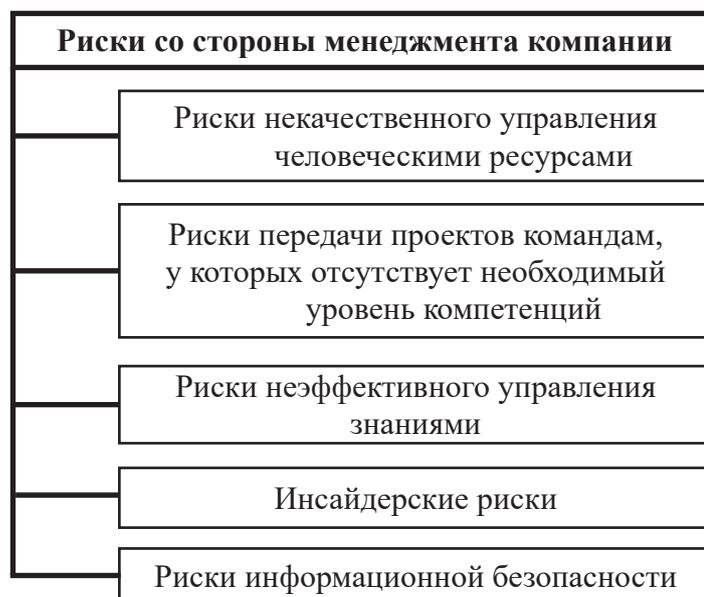


Рис. 1. Риски со стороны менеджмента компании
 Fig. 1. Risks from the side of the company's management

ресурсами. HR-менеджерам необходимо прогнозировать и планировать динамику входящих и исходящих потоков человеческих ресурсов, и понимать, что, например, в осенне-зимний период выше вероятность заболеваемости, что требует создания дополнительного кадрового резерва, своевременно обсуждать данные вопросы с менеджерами проектов и т. д.

Риски передачи проектов командам, у которых отсутствует необходимый уровень компетенций. В случае, если менеджмент компании передает для реализации проекты командам, которые не обладают необходимым опытом и компетенциями, риски возрастают.

Прежде чем дать формулировку риску неэффективного управления знаниями, необходимо уточнить, что следует понимать под «управлением знаниями». Воспользуемся формулировкой М. К. Маринчевой, которая под управлением знаниями понимает создание условий, при которых нужные люди смогут получать нужную информацию и знания в нужное время для выполнения нужных задач [1]. Отсюда под риском неэффективного управления знаниями следует понимать отсутствие или низкое качество необходимых организационных, технологических и коммуникационных условий, в результате которых у специалистов отсутствуют необходимые профильные знания, умения, опыт для решения актуальных задач, а также сосредоточение наиболее ценных знаний, опыта и умения в отдельной небольшой группе специалистов. В качестве примеров можно привести следующие. На практике часто встреча-

ются ситуации, когда одним из требований заказчика является наличие практик работы по определенным методологиям разработки ПО, например, по Agile. И в случае, если компания не обладает такими практиками, то вероятность, что проект будет заказан у них, практически равняется нулю. В целом, можно сказать, что сегодня существует множество подобных практик, и, как правило, из-за сложности ИТ-проектов, почти всегда используется комбинация тех или иных методологий. Редкими являются случаи, когда проект реализуется строго по одной методологии. Отсюда логично следует, что, если менеджмент компании не практикует использование различных методологий, не нарабатывает практики их комбинирования, риски будут возрастать. В качестве второго примера можно взять типичную ситуацию: концентрация ключевых знаний у отдельных специалистов, что приводит к таким рискам, например, когда при увольнении данных сотрудников, накопленные знания не останутся в компании.

Инсайдерские риски. К инсайдерским со стороны менеджмента компании относятся риски, связанные с распределением долей стартапа, «переросшего» в компанию, создателями которого были несколько человек. Также к данной группе рисков относятся те, которые связаны со случаями, если один или несколько соучредителей решают выйти из бизнеса, тогда предметом анализа могут быть корпоративный договор, договор между участниками для определения доли того или иного соучредителя. В любом случае необходимо зафиксировать, что подобные возможные

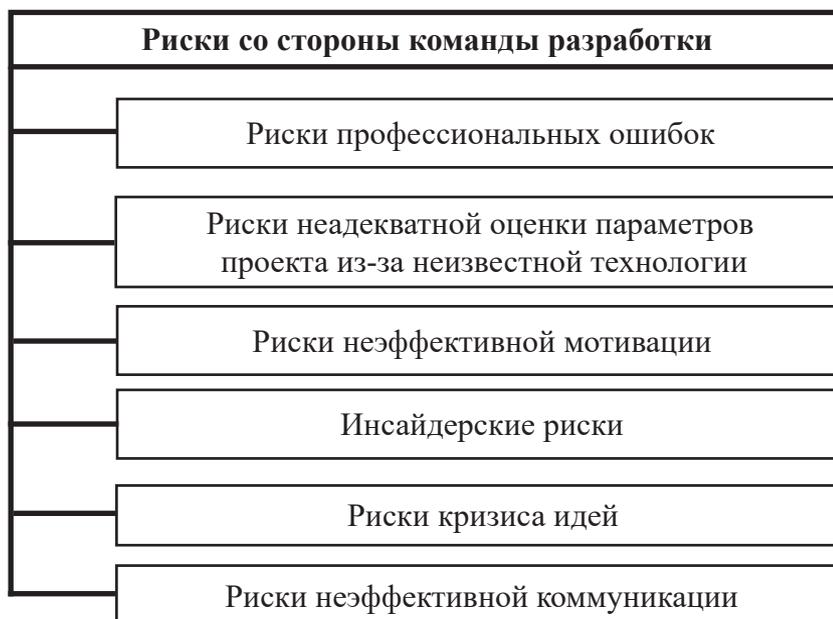


Рис. 2. Риски со стороны команды разработки
 Fig. 2. Risks from the side of the development team

ситуации могут оказать сильное, как негативное, так и положительное, влияние на деятельность компании в целом.

Риски информационной безопасности.

Под риском информационной безопасности подразумевается вероятность несанкционированного доступа к информации, ее использованию, изменению, раскрытию и искажению. Он относится к рискам менеджмента потому, что именно менеджмент компании несет ответственность за организацию и управление информационной безопасностью, за внедрение рекомендуемых стандартов, за разработку собственных подходов, составление и заключение необходимых договоров о неразглашении конфиденциальной информации и т.д. Безусловно, какой бы эффективной не была система информационной безопасности, в любом случае, всегда существует риск разглашения конфиденциальной информации, однако со стороны менеджмента компании требуется создание таких условий, чтобы сделать это было максимально затруднительно, невыгодно и т.д.

Перейдем к рассмотрению рисков со стороны команды разработки. В общем виде они представлены на рисунке 2.

Риски профессиональных ошибок. Типичный состав команды разработки состоит из бизнес-аналитиков, системных архитекторов, разработчиков, тестировщиков, менеджера проекта, дизайнеров и т. д. Соответственно под риском профессиональных ошибок понимается вероятность того, что конкретный специалист в конкретный промежуток времени совершит

определенную профессиональную ошибку, ответственность за которую полностью лежит на данном специалисте. Имеется в виду, что внешние условия, как, например, наличие всех необходимых ресурсов со стороны менеджмента, в рамках которых специалисту необходимо принять то или иное профессиональное решение полностью соответствуют необходимым нормам, отсутствует их дефицит. Примером наиболее распространенной ошибки данной группы рисков, и одновременно одной из наиболее дорогих является неверная архитектура решения со стороны системного архитектора. Со стороны бизнес-аналитиков, например, популярной ошибкой является неполный сбор требований, со стороны разработчиков – низкое качество кода.

Риски неадекватной оценки параметров проекта из-за неизвестной технологии. Скорость изменения ИТ можно охарактеризовать как очень высокую. Со времен создания первых программируемых машин человечество придумало более 8 тысяч языков программирования. [2] Отсюда следует, что в компаниях не всегда имеются специалисты, обладающие глубокими знаниями отдельных, возможно, редко используемых языков программирования, что и может привести, к неадекватной оценке параметров проекта.

Риски неэффективной мотивации. По данным портала «dev.by», средняя заработная плата в отрасли ИТ в Республике Беларусь, по состоянию на конец мая 2020 года, составляет 1938 \$ в месяц. [3] Если сравнить данное значение со

значениями из других отраслей, то справедливо отметить, что в отрасли ИТ наблюдается уровень заработных плат значительно выше, чем в других. Кроме того, большая часть специалистов из отрасли ИТ – это творческие, целеустремленные, желающие решать сложные проблемы заказчика люди. Данная фактология позволяет сделать предположение, что в ИТ-отрасли более эффективными инструментами мотивации являются нематериальные стимулы, то есть, например, интересные проекты, возможность развития и т.д. Данное предположение подтверждают многие специалисты, например, работники консалтинговой компании Cleverics. [4] Как правило, в рамках команды ответственным лицом за мотивацию является менеджер проекта. И несмотря на то, что он может быть лишь транслятором принятой корпоративной стратегии мотивации, на практике чаще всего именно менеджер проекта лучше всего владеет информацией о текущем состоянии мотивации в команде, и в большей степени способен ей управлять. Поэтому данная группа риска была отнесена в категорию рисков со стороны команды разработки, несмотря на то, что в чистом виде она сюда не относится, и частично ее можно отнести к группе риска со стороны менеджмента компании.

Инсайдерские риски со стороны команды разработки. Данная группа рисков включает, например, риски разглашения конфиденциальной информации о заказчике. Как было отмечено в описании рисков, связанных с обеспечением информационной безопасности, несмотря на то, какой бы не была эффективной система безопасности, всегда существует вероятность наступления рискованного события. Как отмечают многие специалисты, одной из наиболее распространенных причин является неудовлетворенность, несогласие отдельного специалиста с условиями труда, требованиями заказчика и т.д.. Также во

многих публикациях отмечается, что данные ситуации возникают достаточно часто, отсюда можно сделать вывод, что является необходимым провести классификацию данного риска, выделить его особняком для возможности последующего управления.

Риски кризиса идей. Данные риски в большей степени присущи тем компаниям, которые разрабатывают продукт не под конкретного заказчика, а клиентами которых фактически выступают компании или пользователи, покупающие лицензию на использование продукта после его разработки. Как отмечают отдельные эксперты, допустим, в индустрии видеоигр, главным конкурентным преимуществом продукта является не качество графического дизайна, а идея. Например, если взять известную компанию Wargaming, то по различным данным примерно 80% прибыли компании приносит популярная видеоигра «World of Tanks», созданная еще в 2010 году, несмотря на то, что после этого было разработано более 10 различных видеоигр.

Риски неэффективной коммуникации. От эффективности коммуникаций в команде зависит качество обмена данными, слаженность и согласованность работы, правильность распределения задач и т. д. Как уже упоминалось выше, существует множество различных методик разработки ПО, в рамках которых практикуются в том числе и различные методы построения коммуникаций в команде. Например, в методологии scrum одним из ключевых положений является наличие в команде scrum-мастера, в задачи которого входит, как в целом координация команды в рамках scrum-методологии, так и построения эффективной коммуникации. Работа по данной методологии считается довольно дорогой, так как требует финансовых и временных затрат на обучение команды, однако, как отмечают многие эксперты, данные инвестиции, как правило, окупаются. В результате чего

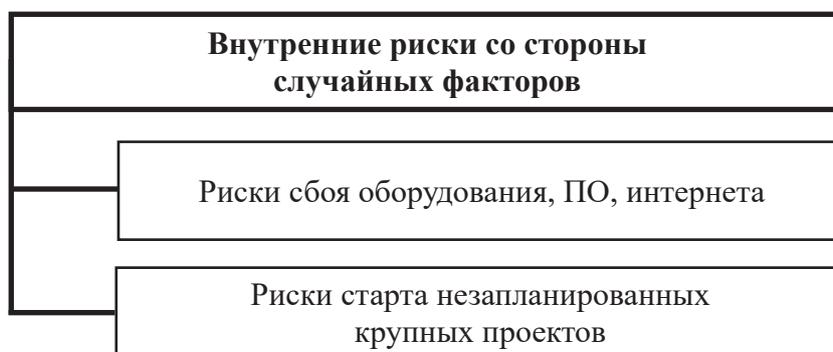


Рис. 3. Внутренние риски со стороны случайных факторов
Fig. 3. Internal risks from random factors

будут снижаться риски конфликтов в команде, риски сложности оценки работ друг друга и т. д. Стоит отметить, что в рамках описания данной группы риска методология scrum приведена в качестве примера, в различных проектах могут быть эффективны различные методологии разработки ПО. Главное – необходимо понимать, что риски неэффективной коммуникации являются очень важными, требующими отдельного фокуса и управления.

Далее перейдем к рассмотрению рисков со стороны случайных факторов. В общем виде внутренние риски со стороны случайных факторов представлены на рисунке 3.

Риски сбоя оборудования, ПО, интернета.

В рамках рассмотрения иных отраслей экономики данные риски часто относят к группе технических рисков. В отрасли ИТ имеется в виду, что в случае если менеджмент компании своевременно провел все необходимые превентивные меры для минимизации рисков сбоя оборудования, ПО, интернета, как, например, обеспечение переключения на резервный сервер при отказе, переключение на запасной интернет канал и т. д., то логично следует, что события наступили за счет случайных неконтролируемых факторов.

Риски старта незапланированных крупных проектов. Известно, что в задачи менеджмен-

та ИТ-компаний входят в том числе и процессы планирования и прогнозирования будущих проектов, чтобы заблаговременно подготовить необходимые ресурсы для их реализации. Также, на основе анализа практической деятельности многих компаний, известно, что периодически компаниям могут поступать выгодные предложения крупных проектов, требующие мобилизации ресурсов, отвлечения сотрудников из текущих и т. д. Логично следует, что высока вероятность того, что в случае старта таких проектов, качество других может снизиться. Кроме того, в случае отказа от крупных проектов, компании рискуют не заработать дополнительную прибыль, не внести в портфолио новый сложный проект. По этим причинам необходимо считать, что данный риск является в достаточной мере значительным для большинства ИТ-компаний и требует управления.

Завершив рассмотрение внутренних рисков, перейдем к рассмотрению внешних. Начнем рассмотрение с первой группы – риски со стороны лиц принимающих решения (ЛПР) со стороны заказчика. В общем виде данная группа рисков представлена на рисунке 4.

Риски непонимания бизнес-целей. Регулярная практика, когда компания-заказчик делает заказ на ПО под влиянием маркетингового

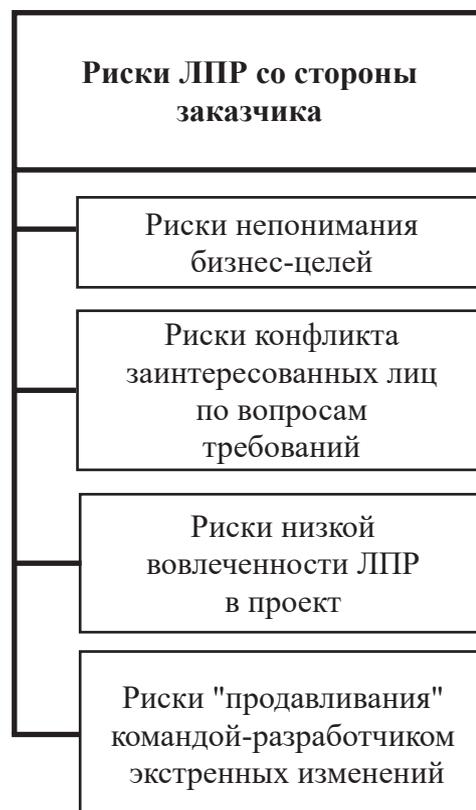


Рис. 4. Риски со стороны ЛПР заказчика
Fig. 4. Risks from the side of the customer's decision-makers



Рис. 5. Риски со стороны других сотрудников заказчика
 Fig. 5. Risks from the side of other employees

пресса, с отсутствием понимания, действительно ли ПО необходимо, будет ли ПО способствовать решению определенных бизнес-задач и т. д., что естественным образом повышает вероятность неожиданного результата.

Риски конфликта между заинтересованными лицами по вопросам требований. На практике широко распространены ситуации, когда, например, финансовый и коммерческий директор компании-заказчика решают разные задачи в рамках проекта. Финансовому директору необходимо обеспечить наличие достаточного количества ресурсов, а коммерческому совершить как можно больше сделок. В результате, это может вылиться в конфликт по вопросам требований. В данных ситуациях ключевым специалистом, способным управлять данным риском, выступает бизнес-аналитик, способный рассмотреть ситуацию объективно, с точки зрения стратегических целей компании-заказчика, аргументировать свою точку зрения, прийти к наиболее взвешенному, рациональному формулированию требований.

Риски низкой вовлеченности ЛПР в проект. Чем ниже уровень вовлеченности ЛПР в проект, тем выше вероятность отклонения ожидаемого заказчиком продукта от фактического. Примерами частных рисков данной группы являются риск неполного сбора требований, риск постоянного изменения требований к проекту, риск организации неэффективной коммуникации между другими представителями заказчика и командой раз-

работчиком и т. д.

Риски «продавливания» внесения командой разработчиком экстренных изменений. В ИТ-компаниях строго регламентируется порядок внесения изменений в ПО, так как любые изменения ограничены архитектурой решения, впоследствии требуют обязательного тестирования и т. д. Однако являются типичными ситуации, когда бизнес, по причине необходимости быстрых изменений, «продавливает» внесение экстренных (несанкционированных) изменений, что приводит к ненормальному функционированию ПО, то есть негативно отражается на качестве.

Далее перейдем к более подробному рассмотрению рисков со стороны других сотрудников заказчика (не ЛПР). В общем виде данная группа рисков представлена на рисунке 5.

Риски саботажа конечными пользователями. Распространенная ситуация, когда рядовые сотрудники компании-заказчика, являющиеся конечными пользователями разрабатываемого продукта, сопротивляются цифровым изменениям, что усложняет процессы, как разработки ПО, так и миграции и внедрения.

Риски недостаточной квалификации администратора новой архитектуры. В отдельных случаях, например, такие случаи особенно распространены в банках, внедрение нового ПО сопряжено с внедрением новой архитектуры решения, администрирование которой требует более высокой квалификации персонала, что приводит либо к переподготовке текущего персонала, либо

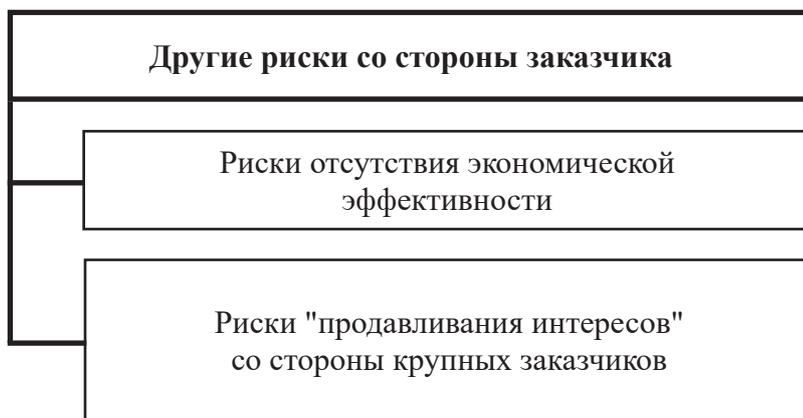


Рис. 6. Другие риски со стороны заказчика
 Fig. 6. Other risks on the part of the customer

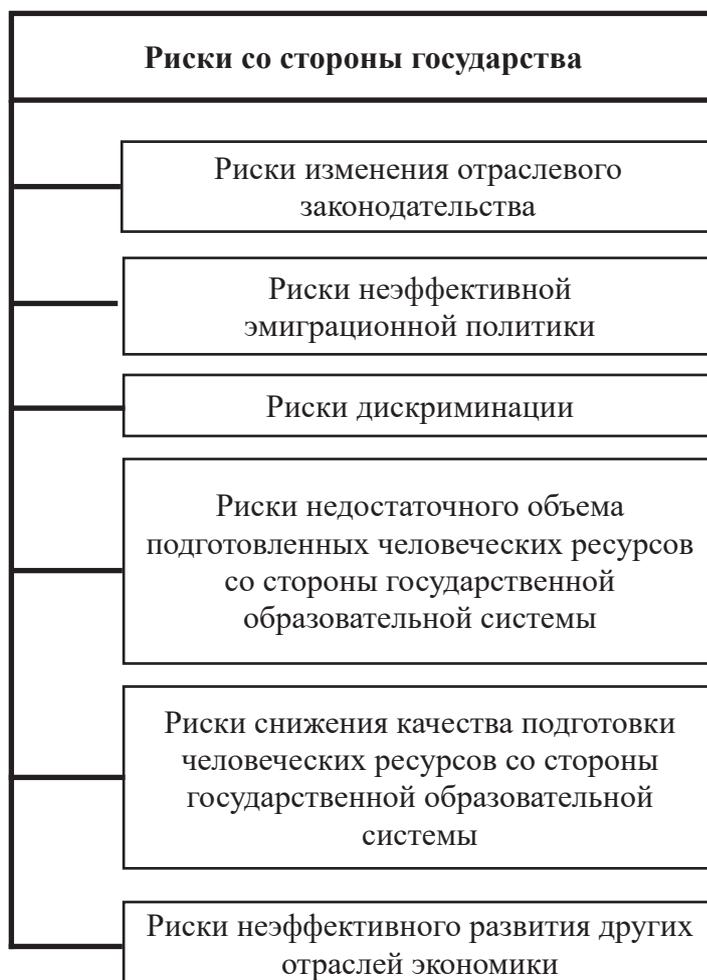


Рис. 7. Риски со стороны государства
 Fig. 7. Risks from the side of state

поиске нового. Таким образом необходимо зафиксировать, что данный риск может оказать заметное влияние на основные параметры проекта, и требует управления.

Риски низкой заинтересованности сотрудников заказчика в эффективном участии в проекте. В рамках проектов по разработке ПО как на этапе

сбора требований, так и на этапах внедрения, миграции и сопровождения в большей или меньшей степени вовлекаются сотрудники компании-заказчика. На их заинтересованность участвовать в проекте влияет множество разных факторов, таких как, например, вероятность утраты рабочего места в результате автоматизации определенных

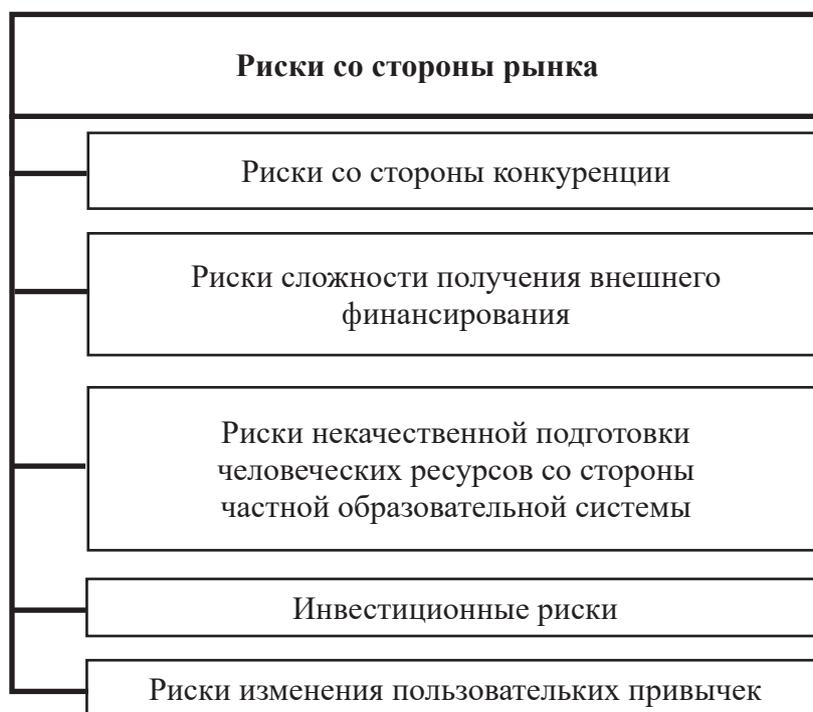


Рис. 8. Риски со стороны рынка
Fig. 8. Market risks

процессов, отсутствие оплаты за дополнительные рабочие часы, изменение привычного расписания рабочего дня и т. д., что очень часто приводит к низкой заинтересованности в эффективном участии в проекте, что впоследствии может привести в разработке ПО низкого качества, т. к. не будут учтены многие факторы, способные повысить качество разрабатываемого ПО.

Далее перейдем к рассмотрению следующей группы рисков со стороны заказчика – другие риски со стороны заказчика. В общем виде данная группа рисков представлена на рисунке 6.

Риски отсутствия экономической эффективности. К данной группе рисков можно отнести риски наличия некачественной инфраструктуры, риски «привязки» аппаратного обеспечения к стандартам безопасности, риски внесения новой архитектуры и т.д. Одним словом, все те риски, которые значительно увеличивают конечную стоимость внедрения ПО, и, таким образом, делают проект для заказчика экономически неэффективным.

Риски «продавливания интересов» со стороны крупных заказчиков. Определенные заказчики могут характеризоваться как крупные, с точек зрения влияния на рынок, узнаваемости бренда, возможностей использования административного ресурса и т.д. Имея те или иные рычаги влияния, упрощается возможность «продавливания интересов», что может негативно от-

развиться на интересах ИТ-компании, и в отдельных случаях требует управления.

Завершив рассмотрение группы рисков со стороны заказчика, перейдем к рассмотрению со стороны государства. В общем виде данная группа рисков представлена на рисунке 7.

Риски изменения отраслевого законодательства. Известно, что большинство ИТ-компаний являются участниками ПВТ, и особые условия ведения хозяйствования в рамках декрета №8 «О развитии цифровой экономики» [5], такие как отмена налога на прибыль, введение отдельных институтов английского права, упрощение режима проведения валютных операций и т.д., стимулируют новые компании, в том числе из-за рубежа, вступать в ПВТ. Соответственно, если произойдут какие-то изменения, например, в политике, то существует вероятность, что особые условия хозяйствования могут быть либо упразднены, либо изменены, что может оказать сильное влияние на развитие отрасли.

Риски неэффективной эмиграционной политики. К эмиграционной политике необходимо отнести все факторы со стороны государственной системы, стимулирующие эмиграцию населения, особенно молодежи. К таким факторам можно отнести обязательную срочную службу в армии, высокую регуляторную и налоговую нагрузку, относительно невысокий уровень жизни и т. д.

Риски дискриминации. К данной категории

рисков можно отнести, например, дискриминацию при получения льгот в зависимости от того, является ли компания членом ПВТ или нет. Особенно актуально для стартапов, наличие у которых определенных льгот могло бы положительно повлиять на его дальнейшее развитие, однако, в силу различных причин, например, отсутствия ресурсов для создания бизнес-проекта для вступления в ПВТ, льготы могут быть не получены.

Риски недостаточного объема подготовленных человеческих ресурсов со стороны государственной образовательной системы. В целом по стране, исходя из материалов различных публикаций, наблюдается, что представители многих ИТ-компаний заявляют о недостаточном объеме человеческих ресурсов. Этот запрос не обеспечивается в связи с политикой государства, в соответствии с которой образовательной системе необходимо стремиться к равновесию, к относительной равномерности подготовки человеческих ресурсов для различных отраслей экономики. В этом отношении можно сказать, что с позиции отрасли это формирует определенные риски, как, например, трудности с поиском сотрудников необходимой квалификации, более высокой стоимостью привлечения специалистов из-за рубежа и т.д.

Риски снижения качества подготовки человеческих ресурсов со стороны государственной образовательной системы. Ключевым фактором данной группы рисков, является фактор высокого уровня заработных плат в отрасли, стимулирующий, например, отток преподавателей государственных вузов, что отрицательно сказывается на качестве подготовки человеческих ресурсов в рамках государственной образовательной системы.

Риски неэффективного развития других отраслей экономики. Известно, что в Республике Беларусь около 70% собственности является государственной, в том числе и значительная часть коммерческих организаций. Мировая и отечественная практика показала, что, государственные коммерческие организации, как минимум, либо являются недостаточно эффективными, либо просто неэффективны, теоретической причиной чего является отсутствие необходимого уровня стимулов. Также известно, что одной из ключевых задач ИТ-решений является повышение эффективности коммерческих организаций. И поскольку у государственных коммерческих организаций недостаточно стимулов для стремления к максимальной эффективности, то это является одной из

ключевых причин низкого внутреннего спроса на ИТ-решения, что оказывает влияние на развитие отрасли, формирует соответствующие риски.

Далее в заключительной части рассмотрим риски со стороны рынка. В общем виде данная группа рисков представлена на рисунке 1.8.

Риски со стороны конкуренции. К ключевым рискам со стороны конкуренции относятся следующие риски:

– Риски увеличения количества ИТ-компаний в стране. Логично, что, чем больше ИТ-компаний, тем выше уровень конкуренции, тем сложнее и ниже вероятность получить заказы от клиентов. По данным Белстата в 2017 году по сравнению с 2016 годом количество организаций в ИКТ секторе увеличилось на 530, а в 2018 году по сравнению с 2017 годом на 504 организации. [6] И на текущий период есть все предпосылки, что данная тенденция сохранится.

– Риски снижения спроса на внешних рынках. Известно, что большая часть отечественных ИТ-продуктов экспортируется. В последние годы высокий спрос на продукцию белорусских ИТ-компаний значительно повлиял на увеличение уровня заработных плат в отрасли, что привело к увеличению конечной стоимости отечественных ИТ-продуктов, и стало формировать стимулы зарубежных компаний для заказа ИТ-продуктов в других странах по более низким ценам. В качестве примера таких стран-конкурентов можно привести Россию, Украину, Индию и т.д.

– Риски слияния и поглощения. В истории ИТ-индустрии много примеров процессов слияния и поглощения, в качестве наиболее известных можно привести покупку компанией Microsoft социальной сети LinkedIn или покупку социальной сетью Facebook мессенджера WhatsApp. Среди белорусских компаний также имеется достаточно тех, которые были приобретены другими более крупными, как, например, социальная сеть Facebook в 2016 году приобрела приложение MSQRD белорусской компании Masquerade Technologies. Логично следует, что в результате процессов слияния и поглощения изменяются правила игры для приобретенных компаний, открываются новые возможности, как, например, возможность выйти на более широкую аудиторию, а также, определенные возможности сокращаются, как, например, самостоятельное развитие.

– Репутационные риски. К репутационным рискам можно отнести, например, риски того, что конкуренты будут распространять через со-

циальные сети, медиа, заведомо ложные сведения о компании, которые могут негативно отразиться на ее деятельности. Кроме того, к данной группе рисков можно отнести риск прекращения развития и поддержки Open Source решения, или же риск прекращения деятельности компании, т. к. чаще всего ПО нуждается в сопровождении после разработки, и при прочих равных условиях, вероятность получить заказ выше у компаний, которые дольше существуют на рынке. Также репутационные риски могут оказывать более сильное влияние на крупные компании, имеющие ценные бумаги на фондовых рынках. Можно сказать, что такие компании более чувствительны к новостям, что может значительно влиять на стоимость их ценных бумаг, капитализацию компании и т.д.

Риски сложности получения внешнего финансирования. Справедливо зафиксировать, что для большинства отечественных ИТ-компаний, из-за низкого уровня развития финансовых институтов в Республике Беларусь, практически единственным реальным источником внешнего финансирования является банковское кредитование, за исключением наиболее крупных, которые имеют возможности привлечения финансирования через современные механизмы, международных финансовых рынков. Отсюда резонно, что потенциальные сложности получения внешнего финансирования повышают риски, например, того, что часть проектов, стартапов не будет реализована из-за отсутствия финансирования.

Риски некачественной подготовки человеческих ресурсов со стороны частной образовательной системы. Как уже отмечалось выше, представители многих ИТ-компаний в последние годы заявляют о недостаточном объеме человеческих ресурсов. Об этом, в частности, свидетельствует запущенная в конце 2019 года программа по выдаче кредитов для подготовки ИТ-специалистов в рамках различных специализированных курсов. В этом отношении стоит отметить риски снижения будущей потенциальной вертикальной мобильности на рынке труда, риски снижения

качества человеческих ресурсов в долгосрочной перспективе, по причине того, что большинство таких курсов, как правило, предоставляют узкоспециализированные программы, актуальные относительно недолго.

Инвестиционные риски. Инвестиционные риски означают вероятность невозврата финансовых вложений инвестора или группы в результате финансирования тех или иных проектов. Данная группа рисков в большей степени относится к продуктовым компаниям. Существует множество примеров неудачных инвестиций в ИТ-проекты, среди которых, в качестве примера, можно выделить одно крупное направление – виртуальную реальность. К ключевым причинам можно отнести высокую стоимость специального шлема, неудобство и т. д. В последние годы заметно, что в Республике Беларусь стало увеличиваться количество продуктовых компаний, поэтому и данная группа рисков может становиться все более актуальной.

Риски изменения пользовательских привычек. Практически любой ИТ-продукт в той или иной степени может повлиять на изменение пользовательских привычек. Если же проанализировать крупные ИТ-продукты за последнее десятилетие, то в качестве примеров, оказавших сильное влияние на изменение пользовательских привычек стали такие продукты, как Instagram, YouTube, Facebook. Соответственно продуктовым компаниям необходимо отслеживать факторы, влияющие на изменение пользовательских привычек, чтобы своевременно совершить переориентацию на быстроизменяющимся рынке.

Заключение. В статье представлены наиболее характерные риски для сферы ИТ. Подробно рассмотрена как внешняя, так и внутренняя группа, проведено их описание и анализ, подчеркивающие высокую степень влияния рисков на результаты деятельности компаний в данной сфере экономики, а также выделяющие их особенности. Рассмотренные риски могут быть использованы в качестве основы для создания системы управления ими.

Список литературы

1. Панягина, А.Е. Подходы к пониманию и классификации рисков. / А.Е. Панягина // Современная экономика: проблемы, тенденции, перспективы. – 2012. – №6. – С.5
2. Бьянкуцци Ф. Пионеры программирования. Диалоги с создателями наиболее популярных языков программирования. / Ф. Бьянкуцци, Ш. Уорден // СПб., 2010.
3. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://salaries.dev.by>. Дата доступа:
4. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://cleverics.ru/education/timetable#selCat=cat>
5. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Декрет_о_развитии_цифровой_экономики
6. Статистический сборник «Информационное общество 2019»

References

1. Panyagina A.E. Approaches to understanding and classifying risks. Modern economy: problems, trends, prospects. 2012. No. 6. P.5
2. Biancutsi F., Warden S. Pioneers of programming. Conversations with the creators of the most popular programming languages. SPb., 2010.
3. Available at: <https://salaries.dev.by> (accessed: 11.12.2020).
4. Available at: <https://cleverics.ru/education/timetable#selCat=cat> (accessed: 11.12.2020).
5. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Decree_On_Digital_Economy_Development (accessed: 11.12.2020).
6. Statistical handbook «Information Society 2019»

Received: 06.01.2021

Поступила: 06.01.2021

Использование многофункциональных идентификационных карт в системе образования Республики Беларусь

А. Н. Курбацкий, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой технологий программирования

E-mail: kurb@unibel.by

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

Ю. И. Воротницкий, к. ф.-м. н., доцент, заведующий кафедрой телекоммуникаций и информационных технологий

E-mail: vorotn@bsu.by

Белорусский государственный университет, ул. Курчатова, д. 5, 220108, г. Минск, Республика Беларусь

В. П. Кочин, к. т. н., доцент, начальник Центра информационных технологий

E-mail: kochyn@bsu.by

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

А. В. Решетняк, заместитель технического директора Центра систем идентификации НАН Беларуси

E-mail: rav@ids.by

Центр систем идентификации НАН Беларуси, ул. Академическая, д. 15, 220072, г. Минск, Республика Беларусь

В. И. Дравица, к. ф.-м. н, директор Государственного предприятия "Центр систем идентификации"

E-mail: info@ids.by

Центр систем идентификации НАН Беларуси, ул. Академическая, д. 15, 220072, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье рассмотрен опыт внедрения и использования многофункциональных идентификационных карт в системе образования Республики Беларусь. Изучены основные преимущества использования технологий радиочастотной идентификации. В национальной системе образования внедрены электронные идентификационные карты: студенческие билеты, удостоверения сотрудников, карты учащихся. За счет соблюдения принципов преемственности технических решений в процессе эволюции проекта, успешно функционируют решения, позволяющие использовать смарт-карты в функциональных приложениях (системах контроля доступа в корпуса университета и общежития; системах обслуживания читателей в университетских библиотеках, системах предоставления льгот владельцам документов при оказании различных услуг на территории университета). Наряду с внедрением многофункциональных идентификационных карт в БГУ создана инфраструктура для использования новых электронных документов на платформе Mifare Plus.

Ключевые слова: радиочастотная идентификация, многофункциональные документы, Mifare Plus, студенческий билет

Для цитирования: Курбацкий, А. Н. Использование многофункциональных идентификационных карт в системе образования Республики Беларусь / А. Н. Курбацкий, Ю. И. Воротницкий, В. П. Кочин, А. В. Решетняк, В. И. Дравица // Цифровая трансформация. – 2021. – № 1 (14). – С. 46–52.



© Цифровая трансформация, 2021

The Use of Multifunctional Identification Cards in the Education System of the Republic of Belarus

A. N. Kurbatski, Doctor of Science (Technical), Professor, Head of the Department of Programming Technologies

E-mail: kurb@unibel.by

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

Yu. I. Varatnitski, Candidate of Science (Physics, Mathematics),
Head of the Department of Telecommunications
and Information Technologies

E-mail: vorotn@bsu.by

Belarusian State University, 5 Kurchatova Str., 220108
Minsk, Republic of Belarus

V. P. Kochyn, Candidate of Science (Technical), Head of Information
Technology Department

E-mail: kochyn@bsu.by

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

A. V. Reshetniak, Deputy Technical Director R&D Centre ID
of the National Academy of Sciences of Belarus

E-mail: rav@ids.by

Centre ID of the National Academy of Sciences of Belarus,
15 Akademicheskaya Str., 220072 Minsk, Republic of Belarus

V. I. Dravitsa, Candidate of Science (Physics, Mathematics), Director
R&D Centre ID of the National Academy of Sciences of Belarus

E-mail: info@ids.by

Centre ID of the National Academy of Sciences of Belarus,
15 Akademicheskaya Str., 220072 Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The article discusses the experience of introducing and using multifunctional identification cards in the education system of the Republic of Belarus. The main advantages of using radio frequency identification technologies are considered. Electronic identification cards have been introduced in the national education system: student cards, employee IDs, student cards. Due to the observance of the principles of continuity of technical solutions in the process of project evolution, solutions are successfully functioning that allow the use of smart cards in functional applications (access control systems in university buildings and dormitories; reader service systems in university libraries, systems for granting benefits to document owners in the provision of various services on the territory of the university). Along with the introduction of multifunctional identification cards, the BSU has created an infrastructure for the use of new electronic documents on the Mifare Plus platform.

Key words: Radio Frequency Identification, multifunctional documents, Mifare Plus, student ID

For citation: Kurbatski A. N., Varatnitski Yu. P., Kochyn V. P., Reshetniak A. V., Dravitsa V. I. The Use of Multifunctional Identification Cards in the Education System of the Republic of Belarus. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 1 (14), pp. 46–52 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

Введение. Цифровая трансформация системы образования, развитие технологий мобильного [1] и дистанционного [2] обучения, расширение спектра информационных сервисов и информационных ресурсов в научно-образовательных сетях и повышение требований к их безопасности [3,4] обуславливают необходимость разработки типовых решений надежной идентификации и аутентификации пользователей. Для этих целей актуальным является применение многофункциональных персональных электронных средств, которые используются для идентификации в системах контроля и управления доступом, аутентификации пользователей мобильных устройств,

компьютерных систем и сетей, обеспечивая оказание широкого спектра персонифицированных электронных услуг [5,6].

В качестве таких многофункциональных средств идентификации распространение получили смарт-карты, которые позволяют осуществлять визуальную идентификацию пользователя, а также использовать бесконтактные и контактные интерфейсы, необходимые для электронной аутентификации. В частности, радиочастотные технологии предоставления физическим лицам сервисов на основе бесконтактных смарт-карт на протяжении более 20 лет активно и успешно развиваются во всем мире. Такие ре-

шения являются не только одними из наиболее защищенных, но и экономически выгодными за счет упрощения и автоматизации организационных процессов, требующих аутентификации и авторизации пользователей.

Развитие технологий многофункциональных идентификационных карт в национальной системе образования. Система образования в силу целого ряда причин является перспективной площадкой для отработки различных инновационных решений в сфере информатизации и цифровой трансформации. К таким причинам, наряду с широкими технологическими возможностями отработки пилотных решений различного назначения и высоким научным потенциалом, можно отнести следующие особенности системы образования:

- пользователи решений (учащиеся) являются наиболее активной частью современного общества, которые открыты для изучения новых технологий и активно применяют их в повседневной жизни;

- внедрение новых решений, ориентированных на предоставление услуг и сервисов учащимся стимулирует приобретение знаний и навыков в области применения информационных технологий, а, следовательно, создает необходимые предпосылки для их участия в развитии информационного общества;

- учащиеся, активно использующие в повседневной деятельности новые цифровые решения, как правило являются популяризаторами новых технологий, активно содействующими прогрессу в сфере цифровых услуг;

- со стороны государства формируются эффективные инструменты для предоставления ряда социальных льгот и услуг для конкретных целевых групп школьников, студентов и др.

В 2003 г. в системе образования Республики Беларусь на базе БГУ начались работы по внедрению электронных идентификационных карт: студенческих билетов, удостоверений сотрудников, учащихся Лицея и Юридического колледжа БГУ [7]. Был реализован пилотный проект по созданию инфраструктуры изготовления, учета и выдачи пластиковых документов на базе смарт-карт Infineon 2K. В результате этого проекта была разработана концепция изготовления и использования смарт-карт, определены их базовые стандарты и схема разметки микрочипа, обеспечивающая реализацию необходимых мер по защите информации, разработана и утверждена нормативная база, а также создана инфраструктура, обеспечиваю-

щая реализацию бизнес-процессов изготовления и использования смарт-карт на всех этапах их жизненного цикла.

В 2011 г. результаты пилотного проекта БГУ были распространены на все учреждения высшего образования Республики Беларусь. С учетом положительного опыта, полученного в результате экспериментальной апробации в БГУ, Министерством образования Республики Беларусь в 2010 году было принято решение о внедрении интеллектуальных документов учащихся для использования в учреждениях высшего образования республики. В 2011 году по заказу Министерства образования Республики Беларусь разработана и внедрена комплексная автоматизированная система, обеспечивающая изготовление, регистрацию, выдачу и использование интеллектуальных студенческих билетов во всех вузах Республики Беларусь. Студенческие билеты образца 2010 года построены на базе смарт-карт Mifare Classic 4K. Созданные решения предназначены для обеспечения децентрализованного изготовления, выдачи и применения электронных студенческих билетов в инфраструктуре вузов.

За счет соблюдения принципов преемственности технических решений в процессе эволюции проекта, успешно функционируют решения, позволяющие использовать смарт-карты в функциональных приложениях (системах контроля доступа в корпуса университета и общежития; системах обслуживания читателей в университетских библиотеках, системах предоставления льгот владельцам документов при оказании различных услуг на территории университета). Дополнительно на сформированной инфраструктуре был налажен выпуск удостоверений сотрудников и аспирантов.

В 2013 г. были приняты Концепция информатизации системы образования Республики Беларусь на период до 2020 г. и Концепция развития системы многофункциональных интеллектуальных идентификационных карт в системе образования Республики Беларусь на период до 2018 г., которые предусматривали использование и развитие электронных смарт-документов на основе бесконтактных устройств радиочастотной идентификации.

В 2012 году был реализован пилотный проект «Карта учащегося», который с 2018 года активно внедряется в учреждениях общего среднего образования г. Минска [8]. Проект «Карта учащегося» по результатам международного конкурса Global Inclusion Awards (г. Стокгольм, Шве-

ция) признан победителем в номинации «Лучший продукт для детей и молодежи».

Карта учащегося учреждения общего среднего образования представляет собой многофункциональную интеллектуальную идентификационную карту (далее – МИИК), совмещающую в себе интеллектуальный документ учащегося и банковскую платежную карточку. Карта учащегося образца 2012 года является платежным средством на основе магнитной полосы, имеет уникальный штрих-код с номером документа и бесконтактный чип Mifare Plus X, в памяти которого хранятся идентификаторы документа и сведения о владельце карты. С целью противодействия несанкционированному использованию МИИК предусмотрена специальная разметка чипа, а также хранение идентификатора документа в памяти чипа в соответствии с международными рекомендациями и стандартами [9]. На лицевой стороне карточки расположены базовые идентификационные данные владельца карты, включая фотографию, а также информация об учреждении образования, оформившем этот документ. Такая многофункциональная карта используется в качестве электронного пропуска, платежного средства, ключа авторизации в компьютерном классе, читательского билета в библиотеке, билета на массовые мероприятия, дисконтной карты в магазинах-партнерах проекта и др.

Интеграция средств идентификации и платежных приложений на банковских картах. Как следует из вышеизложенного, первый опыт совмещения банковских и идентификационных карт был получен при выполнении проекта «Карта учащегося». Однако, этот проект не предполагал интеграции идентификационного и платежного приложений на одном чипе, что позволило бы снизить стоимость такого решения.

В 2014 году в Белорусском государственном университете была разработана и внедрена МИИК с идентификационным и платежным приложениями на основе банковской карты с контактным чипом платежной системы MasterCard и бесконтактным чипом, обеспечивающим работу по стандарту Mifare Plus. В рамках выполнения этого проекта отработан перевод ранее созданных решений со стандарта Mifare Classic на стандарт Mifare Plus, апробированы решения, позволяющие развивать цифровые услуги за пределами инфраструктуры вуза, реализована возможность активного взаимодействия с банковской системой и реализации финтех-решений.

Затем, в 2018 году в БГУ было разработано новое решение, обеспечивающее интеграцию платежного и идентификационного приложения на одной бесконтактной микросхеме путем эмуляции чипсета Mifare Plus, что позволяет на различных этапах внедрения обеспечивать совместимость с используемыми в большинстве учреждений образования чипсетами Mifare Classic, а также значительно повысить уровень безопасности смарт-карт и реализуемых на их основе процессов аутентификации [10].

Инфраструктура и использование МИИК. Важным этапом внедрения МИИК с идентификационным и платежным приложениями на основе банковской карты являлась разработка алгоритмических, организационных и технических решений по автоматизации процессов изготовления и выдачи МИИК.

Отличительной особенностью создания инфраструктуры выдачи и использования многофункциональных радиочастотных документов является независимость от используемых технологий. Например, в 2003 году многофункциональные документы выпускались с использованием Infineon 2K. В настоящее время удостоверение, совмещенное с банковской платежной картой, основано на стандарте Mifare Plus. Такой подход позволяет в дальнейшем внедрять новые технологии радиочастотной идентификации и аутентификации, при этом не изменяя всей инфраструктуры. Примером такого развития в будущем может стать эмуляция МИИК на мобильных платформах.

Мероприятия по переходу учреждений высшего образования на МИИК на основе банковских карт требуют изменения подходов и действующих бизнес-процессов.

1) Необходимо изменение процессов изготовления и выдачи документов. Учреждение образования формирует данные для изготовления МИИК и является доверенной стороной, подтверждающей статус будущего владельца многофункционального электронного документа (студент, аспирант, сотрудник), а также определяющей роль и права будущего пользователя функциональных приложений. Таким образом вуз приобретает роль «виртуального эмитента» МИИК. Физически эмиссия (изготовление и выдача) МИИК переносится на инфраструктуру банка-партнера, как организации, выпускающей банковскую платежную карточку. Такое взаимодействие предусматривает глубокую проработку бизнес-процессов, возникающих между вузом и банком, поскольку требует не только обе-

спечения процессов сбора и организации базы данных студентов, магистрантов, аспирантов, сотрудников университета, передачи этих данных в банк для персонификации чипов, а также реализации других видов информационного взаимодействия, что необходимо для сопровождения МИИК на протяжении всего жизненного цикла многофункционального документа.

2) Нужна проработка организационно-технических подходов, позволяющих сохранить преимущества децентрализованной системы эмиссии студенческих билетов при условии создания единых информационных систем и пулов данных о выпущенных МИИК. Этот фактор является основополагающим для успешной реализации цифровых услуг за пределами вуза (в масштабах города, республики, а также международных цифровых услуг).

3) Потребуется модернизация инфраструктуры вуза с целью обеспечения возможности применения студенческих билетов на основе смарт-карт с чипом Mifare Classic и одновременного использования МИИК на базе чипа Mifare Plus.

В национальной системе образования наряду с внедрением технологий радиочастотной идентификации активно развивалась инфраструктура приложений и сервисов их использования. В Белорусском государственном университете система учета радиочастотных документов была интегрирована с автоматизированными системами «Студенты» и «Управление персоналом».

Можно выделить следующие основные области применения МИИК:

а) электронное удостоверение сотрудника, позволяющего наряду с визуальной идентификацией владельца использовать МИИК в качестве электронного пропуска в помещения, на парковку, для контроля перемещения сотрудника на территории учреждения, учёта рабочего времени. При условии согласования решений со сторонними организациями-поставщиками услуг, электронное удостоверение может использоваться в функциональных приложениях «Умного города» (проездной билет в городском транспорте, дисконтные системы и проч.).

б) PKI-карты. Для использования в системе электронного документооборота (СЭД) БГУ и Министерства образования электронное удостоверение может применяться в качестве средства формирования электронной цифровой подписи, а также для надёжной двухфакторной аутентификации пользователей в университетской компьютерной сети и орга-

низации безопасной локальной и дистанционной работы мобильных пользователей. МИИК может использоваться для хранения цифровых сертификатов при работе с Государственной системой управления открытыми ключами проверки электронной цифровой подписи Республики Беларусь (ГосСУОК).

в) в качестве платежного средства. С учетом интеграции с банковской платежной картой, МИИК представляет собой полноценный платежный инструмент, позволяющий использовать все доступные цифровые инструменты банковской системы. В БГУ электронные удостоверения являются одновременно зарплатными карточками, студенческие билеты – карточками для начисления стипендий и материальной помощи. В системе общего среднего образования «Карта учащегося» является электронным кошельком, подконтрольным родителям (ответственным представителям) школьника. Одновременно МИИК используются для авторизации в системах дистанционного банковского обслуживания (Интернет-банкинг, М-банкинг). В БГУ МИИК используются на кассах в точках общественного питания для предоставления скидок студентам.

Необходимо отметить, что при условии реализации на МИИК цифровой подписи, такие решения позволяют взаимодействовать с системами электронной отчётности и другими электронными сервисами, требующими обеспечения юридической значимости электронных документов.

Заключение. Таким образом, применяемые подходы могут быть тиражированы для основных ступеней системы образования: общего среднего, профессионального и высшего образования. В этой связи представляет интерес обеспечение взаимодействия с общенациональными решениями по внедрению идентификационных карт граждан (ID-карт), реализации Белорусской интегрированной сервисно-расчетной системы (БИСРС) и Единой системой идентификации физических и юридических лиц. Необходимо отметить, что такое взаимодействие может быть наиболее эффективным подходом для реализации и развития цифровых услуг «Умного города», поскольку МИИК и ID-карты могут взаимодополнять друг друга, устраняя организационно-технические пробелы, присущие каждому из проектов в отдельности.

В качестве централизованной базы данных МИИК целесообразно использовать подсистему учета и верификации идентификационных доку-

ментов обучающихся, создание которой необходимо предусмотреть при реализации в Республике Беларусь единого регистра обучающихся Республиканской информационно-образовательной среды [11].

По мнению авторов, представляется целесообразным активизировать межведомственное взаимодействие для реализации цифровых услуг на основе описанных выше подходов с учетом активного развития технологий автоматической идентификации в системе образования, а также с учетом инициатив, внедря-

емых на уровне республики (биометрические паспорта, ID-карты, БИСРС).

Накопленный опыт внедрения МИИК, разработки и внедрения функциональных приложений на их основе, наличие необходимого кадрового потенциала позволяет рассматривать национальную систему образования как перспективную пилотную зону для разработки и апробации решений, которые в дальнейшем могут найти применение при развитии в Республике Беларусь цифровых услуг «Умного города» с минимальными затратами ресурсов и времени на разработку.

Список литературы

1. Рекомендации ЮНЕСКО по политике в области мобильного обучения. UNESCO, 2015. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://ru.iite.unesco.org/files/news/639198/ISBN_978-92-3-400004-8.pdf. – Дата доступа : 19.12.2019.
2. Король, А. Д. Дистанция в образовании: от методологии к практике / А. Д. Король, Ю. И. Воротницкий, В. П. Кочин // Наука и инновации. – 2020. - № 6 (208). – С. 22-29.
3. Абламейко, С. В. «Облачная» концепция информатизации системы образования Республики Беларусь. / С. В. Абламейко, Ю. И. Воротницкий, А. Н. Курбацкий, Н. И. Листопад // Информатизация образования. – 2012. – №3. – С. 13-29.
4. Абламейко, С. В. Система образования: стратегия информатизации и информационная безопасность в условиях развития информационного общества / С. В. Абламейко, Ю. И. Воротницкий, Н. И. Листопад // Вопросы защиты информации: Москва, 2014.-Вып. 4. – С. 69–72.
5. Решетняк, А. В. Комплексное использование технологий идентификации распределенных ресурсов для развития электронных услуг на основе многофункциональных интеллектуальных документов / А. В. Решетняк, В. И. Дравица // Вести Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. 2020. т. 65, №1– С. 110–116.
6. Eurosmart - The voice of the smart security industry // Eurosmart Website [Electronic Resource]. – Mode of access: <http://eurosmart.com>. - Date of access: 2.12.2017.
7. Воротницкий, Ю. И., Автоматизированная информационная система БГУ: опыт внедрения пластиковых персонифицированных документов / А. Н. Курбацкий, Н. Н. Новикова // Материалы II научно-практической конференции «Управление информационными ресурсами». – Минск, Редакционно-издательский центр Академии управления при Президенте Республики Беларусь, 2004. – С. 112-119. – 8 с.
8. Абламейко, С. В. Опыт и перспективы внедрения интеллектуальных документов в учебных заведениях / С. В. Абламейко, Ю. И. Воротницкий [и др.] // материалы Международной научно-практической конференции “Современные технологии автоматической идентификации и электронного бизнеса. Состояние и перспективы развития ID Comptence 2011”, Минск, апрель 2011. – С. 49–57.
9. Дравица В.И., Решетняк А.В., Астапович В.И., Листопад Н.И., «Вопросы развития электронных услуг на основе многофункциональных смарт-карт », Журнал «Веснік сувязі» № 5(151)2018, – С. 62–64.
10. Воротницкий Ю. И., Кочин В. П., Варова Р. М. Разработать технологии аутентификации и авторизации пользователей в образовательных сетях на базе смарт-карт: отчет о научно-исследовательской работе (заключительный) / БГУ, – Минск: БГУ – 2017.
11. Курбацкий, А. Н. О концепции создания и развития республиканской информационно-образовательной среды / А. Н. Курбацкий, Ю. И. Воротницкий, В. П. Кочин, М. Г. Зеков / Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2019): материалы XIX Международной конференции, Минск, 21 ноября 2019 г./ ОИПИ НАН Беларуси; редкол.: А.В. Тузиков [и др.]. – Минск, 2019. – С.19-23.

References

1. UNESCO Policy Recommendations for Mobile Learning. UNESCO, 2015. Available at: <https://iite.unesco.org/pics/publications/ru/files/3214738.pdf>. (accessed: 19.12.2019).
2. Ablameyko S. V., Varatnitski Y. I., Listopad N. I. "Cloud" concept of informatization of the education system of the Republic of Belarus. Informatization of education. 2012. №3. pp. 13-29.
3. Ablameyko, S. V., Varatnitski Y. I., Listopad N. I. Education system: strategy of informatization and information security in the context of development of the information society. Information security issues: Moscow, 2014. №. 4. pp. 69-72.
4. Eurosmart - The voice of the smart security industry. Eurosmart Website. Available at: <http://eurosmart.com>. (accessed: 2.12.2017).
5. Varatnitski Y. I., Varatnitski Y. I., Novikova N. N. BSU automated information system: experience in the implementation of plastic personalized documents. Materials of the II Scientific and Practical Conference "Information Resources Management". Minsk, Editorial and Publishing Center of the Academy of Management under the President of the Republic of Belarus, 2004. pp. 112-119. 8 p.
6. Ablameyko S.V., Vorotnitskiy Y. I. [et al.] Experience and prospects for the implementation of intellectual documents in educational institutions. Materials of the International Scientific and Practical Conference "Modern Technologies of Automatic Identification and Electronic Business. State and development prospects of ID Comptence 2011 ", Minsk, April 2011. pp. 49–57.
7. Demidov M. World experience: practice of electronic services. Cnews. Analytics. 2013. Available at: http://www.cnews.ru/articles/mirovoy_opyt_praktika_elektronnyh_uslug. (accessed:01.12.2019).
8. Grimes, R. Windows Authentication Procedure. Open Systems. 2005. Available at: <http://www.osp.ru/winitpro/2005/05/177754>. (accessed: 01.12.2019).
9. Official site of the international federation of roaming authentication eduroam. Available at: <https://www.eduroam.org/> (accessed 01.10.2018).
10. Comparison between Mifare Classic and Mifare Plus S/X. Available at:<http://letsgettheretogether2.blogspot.com.by/2013/11/comparison-between-mifare-classic-and.html>. (accessed 26.11.2019).
11. Kurbatsky A. N., Vorotnitskiy Yu. I., Kochin V. P. , Zekov M. G. About the concept of creation and development of the republican information and educational environment. Development of informatization and the state system of scientific and technical information (RINTI-2019): materials of the XIX International Conference, Minsk, November 21, 2019. OIPI NAS of Belarus; editorial board: A.V. Tuzikov [and others]. Minsk, 2019. pp. 19-23.

Received: 12.11.2020

Поступила: 12.11.2020

Современные алгоритмы обработки данных транскриптомов: обзор методов и результаты апробации

М. В. Спринджук, к. т. н., старший научный сотрудник
лаборатории математической кибернетики

E-mail: stepanenkomatvei@yandex.ru

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
ул. Сурганова, д. 6, 220012, г. Минск, Республика Беларусь

Л. В. Можаровская, научный сотрудник лаборатории геномных
исследований и биоинформатики

E-mail: milamozh@yandex.ru

Институт леса НАН Беларуси, ул. Пролетарская, д. 71, 246001,
г. Гомель, Республика Беларусь

А. П. Кончиц, к. б. н., ведущий научный сотрудник лаборатории
лесной селекции и семеноводства

E-mail: konchits@yandex.ru

Институт леса НАН Беларуси, ул. Пролетарская, д. 71, 246001,
г. Гомель, Республика Беларусь

Л. П. Титов, д. м. н., профессор, член-корреспондент НАН
Беларуси, заведующий лабораторией клинической и эксперимен-
тальной микробиологии РНПЦ эпидемиологии и микробиологии
РНПЦ эпидемиологии и микробиологии, ул. Филимонова, д. 23,
220114, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Анализ биоинформатических данных является актуальной проблемой современной вычислительной биологии и прикладной математики. С развитием биотехнологий, а также инструментальных средств получения и обработки информации о биологических объектах и системах, появились нерешенные вопросы разработки и применения новых алгоритмов и программного обеспечения. Авторы предлагают практические алгоритмы и методы обработки транскриптомных данных для эффективных результатов аннотирования, визуализации и интерпретации биоинформатических данных.

Ключевые слова: транскриптом, геномика, биоинформатика, анализ данных, программное обеспечение, алгоритмы

Для цитирования: Спринджук, М. В. Современные алгоритмы обработки данных транскриптомов: обзор методов и результаты апробации / М. В. Спринджук, Л. В. Можаровская, А. П. Кончиц, Л. П. Титов // Цифровая трансформация. – 2021. – № 1 (14). – С. 53–64.



© Цифровая трансформация, 2021

Modern Transcriptome Data Processing Algorithms: a Review of Methods and Results of Approbation

M. V. Sprindzuk, Candidate of Science (Technical), Senior Researcher,
Laboratory of Mathematical Cybernetics

E-mail: stepanenkomatvei@yandex.ru

United Institute for Informatics Problems of the NAS of Belarus,
6 Surganova Str., 220012 Minsk, Republic of Belarus

L. V. Mozharovskaya, Researcher, Laboratory of Genomics Research
and Bioinformatics

E-mail: milamozh@yandex.r

Forest Research Institute of the NAS of Belarus, 71 Proletarskaya Str.,
246001 Gomel, Republic of Belarus

A. P. Konchits, Candidate of Science (Biological), Leading Researcher, Forest Tree Breeding and Seed Production Laboratory

E-mail: konchits@yandex.ru

Forest Research Institute of the NAS of Belarus, 71 Proletarskaya Str., 246001 Gomel, Republic of Belarus

L. P. Titov, Doctor of Sciences (Medical), Professor, Corresponding Member of the NAS of Belarus, Head of the Laboratory for Clinical and Experimental Microbiology

RRPC for Epidemiology and Microbiology, Republic of Belarus, 23 Filimonova Str., 220114 Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Analysis of bioinformatics data is an actual problem in modern computational biology and applied mathematics. With the development of biotechnology, as well as tools for obtaining and processing information derived from biological objects and systems, unresolved issues of the development and application of new algorithms and software have emerged. The authors propose practical algorithms and methods for processing transcriptome data for effective results of annotation, visualization and interpretation of data.

Key words: transcriptome, genomics, bioinformatics, data analysis, software, algorithms

For citation: Sprindzuk M. V., Mozharovskaya L. V., Konchits A. P., Titov L. P. Modern Transcriptome Data Processing Algorithms: a Review of Methods and Results of Approbation. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 1 (14), pp. 53–64 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

Введение. С развитием технологий высокопроизводительного секвенирования геномов и транскриптомов, появилась актуальная проблема оптимизации обработки и анализа полученной информации. Известен ряд рекомендаций «лучшей практики» для обработки данных транскриптомов [1 – 4]. В реальных условиях практики необходимо адаптировать известные алгоритмы обработки данных, комбинировать и отбирать эффективные компоненты и параметры исполнения программных модулей с целью получения информации наилучшего качества и оптимального объема. На рисунках 1-6 схематически представлены авторские алгоритмы обработки транскриптомных данных, успешно апробированные на транскриптомах, полученных в лаборатории геномных исследований и биоинформатики Института леса НАН Беларуси (Гомель, Беларусь) [5 – 9]. Алгоритмы были разработаны с целью сохранения информации об исходных данных и для конечного результата лучшего аннотирования. Более подробная информация о конкретных элементах каждого из предлагаемых алгоритмов представлена в соответствующей документации программного обеспечения (<https://github.com/>).

Разработка эффективных алгоритмов анализа данных транскриптомов представляется междисциплинарной задачей, требующей знаний объектно-ориентированного программирования, биоинформатики, биологической и технической терминологии.

Транскриптомный анализ. Транскриптом – совокупность всех РНК-транскриптов одной клет-

ки или группы клеток. Тип и количество транскрибированных генов зависит от вида клеток и от изменений окружающей среды, влияющих на регуляцию транскрипции. Нарушение транскрипции часто приводит к патологическим процессам или заболеваниям [10].

За последние 20 лет накопился значительный опыт получения и анализа транскриптомных данных для бактерий, грибов, растений и животных. Транскриптомные технологии особенно востребованы для эффективного выполнения новых задач в экологии, биотехнологии и молекулярной биологии, ветеринарии, судебной генетике и медицине.

Ряд зарубежных публикаций содержит подробные практические рекомендации по сборке и анализу транскриптомов для различных научных целей [11; 12]. В русскоязычных источниках также приводится методология обработки транскриптомных данных [13 – 15].

Операция по обработке данных транскриптомов, как правило, состоит из нескольких последовательных шагов, которые составляют общий алгоритм.

Контроль качества данных. Контроль качества (с англ. quality control, QC) исходных данных секвенирования основывается на подсчете числа прочтений и бальной оценке качества каждого прочтения в отдельности (показатель качества Phred) [16]. FastQC [17] и NGSQC [18] – наиболее распространенные программные инструменты для оценки качества первичных данных секвенирования. Также для оценки качества исходных

данных транскриптомов применяют метрики результатов оценки картирования/выравнивания и аннотирования (определения местоположения и функциональной принадлежности) на референсный транскриптом. В таком случае выполняется анализ вариантов с последующим аннотированием по направлению транскрипции, а для сборки транскриптома отбираются прочтения более высокого качества, которые распознаются в референсном транскриптоме или геноме. На этом этапе обработки данных выполняют вычисление оптимального размера *k-меров* (фрагментов подстрок геномного текста длины *k*) для эффективной *de novo* (от лат. *de novo* – заново, впервые) сборки – без картирования на референсный геном. Качество собранного генома оценивается по количеству контигов – строк из нуклеотидов, представляющих консенсусную последовательность ДНК; числу ошибок сборки и объему достоверного аннотирования генов – определения их местоположения и функциональной принадлежности [19].

Картирование/выравнивание прочтений *u de novo* сборки. Прочтения транскриптома могут быть прокартированы/выравнены (с англ. alignment – выравнивание) на референсный геном или известный по структуре проаннотированный транскриптом. Процедура картирования на референс выполняется в том случае, когда целью эксперимента является идентификация генных изоформ. Для данного типа анализа используют как программные комплексы свободного доступа (Bowtie [20] и Bowtie2 [21], STAR [22], TopHat2 [23]), так и коммерческого: OmicsBox (стоимость лицензии на месяц стоит ≈ 100 \$), NextGene, Converge, CLC Genomics, JMP Genomics (стоимость лицензии ≈ 16 000 €). В случае отсутствия референсного транскриптома, в качестве эталона можно использовать родственный вид (как, например, *Arabidopsis thaliana* для растений, отмечен символом «*» на рисунке 2) или выполнить *de novo* сборку. Для этой цели в биоинформатике применяют программное обеспечение rnaSPADes [24], Trinity [25-28], Oases [29; 30], SOAPdenovo-trans, Abyss [31-33], NextGeneFloton и другие. Более длинные прочтения или прочтения с парными концами (как при секвенировании обеих цепей ДНК) способствуют получению лучших результатов *de novo* сборки. С целью формирования множества эталонных консенсусных последовательностей рекомендуется комбинировать множество транскриптомов для получения единой комбинированной сборки. В дальнейшем эталонные консенсусные последо-

вательности можно использовать для картирования, подсчета экспрессии и сравнения между группами образцов транскриптомов.

Аннотирование собранного транскриптома. Аннотирование (в литературе встречается также термин *аннотация*) транскриптома – наиболее важный этап в алгоритме анализа полученных данных, так как его результат – информация, имеющая научное значение в области биологии. Программное обеспечение TransDecoder идентифицирует локусы, кодирующие белки-кандидаты, на основе их нуклеотидного состава, длины открытой рамки считывания и наличия функциональных доменов в соответствии с базой данных семейств белковых доменов Pfam (<https://pfam.xfam.org/>). Ресурс [34] анализирует транскрипты, полученные с помощью *de novo* сборки транскриптома, с использованием ряда компьютерных программ (Trinity, rnaSPADes, MIRA, Oases, Abyss, SOAPdenovo, NextGene и пр.) или сконструированные на основе выравнивания исследуемого транскриптома с референсом с использованием инструментов Tophat, Cufflinks и других аналогичных программ. Веб-сервис FastAnnotator позволяет установить потенциальные функции исследуемых транскриптов на основе GO-аннотации (с англ. gene ontology – генная онтология, GO), идентифицируя в базах данных соответственные функциональные домены, кодируемые ими белков. Аннотирование в FastAnnotator состоит из четырех основных частей: поиск лучших совпадений в базе данных NCBItr, назначение идентификационных номеров согласно GO-классификации, EC (классификации ферментов; с англ. enzyme commission – комиссия по ферментам, EC) и присвоение номеров в соответствии с доменным поиском. Онлайн сервис свободного доступа TRAPID (<http://bioinformatics.psb.ugent.be/webtools/trapid/>) выполняет функциональный, сравнительный и филогенетический анализ транскриптомных данных на основе использования 175 эталонных протеомов. GO-аннотация, выполняемая веб-сервисом ShinyGO (<http://ge-lab.org/go/>) [35], характеризуется следующими функциями: (1) большой базой данных GO-аннотаций – более чем для 200 видов растений и животных; (2) возможностью графической визуализации результатов обогащения и характеристик генов; (3) наличием интерфейса API (с англ. application programming interface, API – интерфейс прикладного программирования) для доступа к веб-ресурсам баз данных KEGG и STRING с целью поиска метаболических сетей и белок-белковых взаимодействий.

Таблица 1. Технические характеристики программного обеспечения, предназначенного для вычисления экспрессии генов транскриптома [36]. МП – максимальное правдоподобие, ВБ – вариационный метод Байеса
 Table 1. Technical characteristics of the software tool designed to calculate transcriptome gene expression [36]. Maximum Likelihood, Variational Bayesian Method.

Название	Оперативная память (ГБ)	Время затрат	Алгоритм	Мультипоточность
Cufflinks	3,5	117	МП	Да
RSEM	5,6	154	МП	Да
eXpress	0,55	30	МП	Нет
TIGAR2	28,3	1045	ВБ	Да
Kallisto	3,8	7	МП	Да
Salmon	6,6	6	ВБ/МП	Да
Salmon_aln	3	7	ВБ/МП	Да
Sailfish	6,3	5	ВБ/МП	Да

Количественный анализ экспрессии генов. Программные пакеты HTSeq и featuresCount вычисляют уровень экспрессии генов путем агрегации числа проаннотированных прочтений для каждого транскрипта. Результат сохраняется в файле формата GTF. При этом в программах заложены различные варианты определения пересечения фрагмента прочтения с той или иной консенсусной последовательностью ДНК, несущей информацию о гене. Помимо способа агрегации исходного количества прочтений генов, широко применяются различные методы на основе нормализации данных транскриптомных образцов. В таком случае учитывают размеры библиотек прочтений и их длины. Метрики таких методов: количество прочтений на 1 тысячу нуклеотидных оснований на миллион картированных прочтений, RPKM (с англ. reads per kilobase per million mapped reads); число фрагментов на тысячу нуклеотидных оснований на миллион картированных прочтений и число транскриптов на миллион картированных прочтений, FRKM и TPM соответственно (с англ., fragments или transcripts per million reads). Перечисленные вычислительные методы реализованы в алгоритмах бесплатного программного обеспечения CuffLinks, RSEM, eXpress, Kallisto и представлены в таблице 1.

Метрика FRKM используется для прочтений с парными концами, а RPKM для одноконцевых прочтений. TPM, в отличие от RPKM, не учитывает длину генов после нормализации показателя глубины секвенирования, что делает сумму показателей всех TPM во всех образцах одинаковыми и помогает в сравнении профиля экспрессии между различными транскриптомами. Избыточность прочтений транскриптома вычисляется как среднее от нормализованных данных.

Наиболее эффективными программами для количественной оценки полученных данных и качественного аннотирования являются веб-сервисы FastAnnotator [37], EggNog [38], TRAPID [39], InterProScan [42-45] с генерацией HTML отчета.

Объединение данных, оценка полученных результатов и формирование выводов. На последнем этапе полученные данные можно объединить и структурировать для кластеризации, применить методы машинного обучения и построения онтологических сетей с формированием заключений о биологическом значении полученных результатов исследования.

Так, с целью сохранения информации об исходных данных и для конечного результата лучшего аннотирования, нами были разработаны и успешно апробированы [5-9] алгоритмы и методологические основы обработки данных транскриптомов растений, авторские алгоритмы схематически представлены на рисунках 1-6.

Как видно из рисунка 1, в разработанном общем алгоритме обработки данных транскриптомов растений представлены необходимые программные инструменты и основные шаги обработки данных: от *de novo* сборки полученных коротких непарных чтений до их картирования и аннотации.

Практический алгоритм обработки данных транскриптомов растений представлен на рисунке 2. Для реализации каждого этапа данного алгоритма рекомендуется использование следующих программных компонентов: (1) FastQC, Trimmomatic; (2) Kmergenie, NextGene, выбор k-меров эмпирически или автоматически; (3) rnaSPADes, MIRA, NextGene Floton, DeBruijn; (4) Quast; (5) TransDecoder, CD-HIT-EST, NextGene; (6) Genix, Augustus, tRNAScan, Glimmer, BLAST; (7) FastAnnotator, TRAPID;



Рис. 1. Разработанный общий алгоритм обработки данных транскриптомов растений
 Fig. 1. Developed general algorithm for processing plant transcriptome data

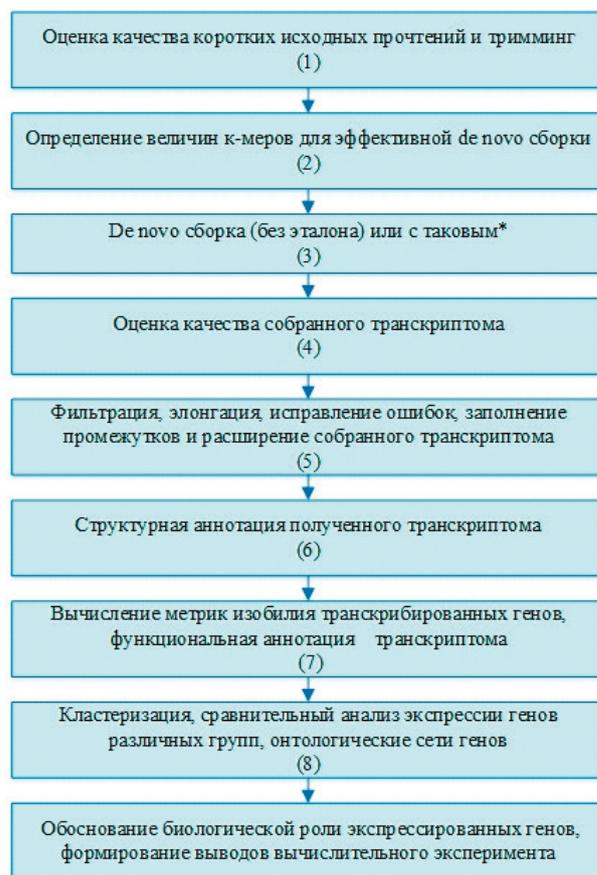


Рис. 2. Практический алгоритм обработки данных транскриптомов растений
 Fig. 2. Practical algorithm for processing plant transcriptome data

InterProScan, EggNOG-mapper; (8) TRAPID, ShinyGO, Sailfish, Cufflinks, Kallisto.

Алгоритм сборки и постобработки транскриптомных данных (рисунок 3), включает следующие шаги: de novo сборку транскриптома; слияние полученных контигов – строк из нуклеотидов, представляющих консенсусную последовательность ДНК, с удалением повторов; оценку структуры и качества супертранс-

криптома; выделение кодирующей (участка последовательности ДНК несущего информацию о белке) и некодирующей части; кластеризацию супертранскриптома; постобработку, включающую закрытие промежутков последовательностей, консолидацию, элонгацию и удаление ошибок; оценку состава и качества; структурную, функциональную и онтологическую аннотацию супертранскриптома.

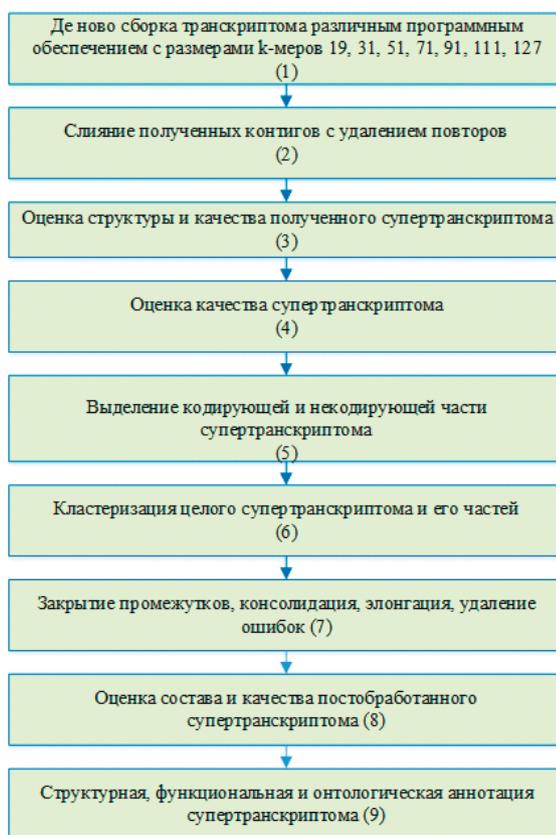


Рис. 3. Схема разработанного алгоритма сборки и постобработки транскриптомных данных
 Fig. 3. Scheme of the developed algorithm for collection and post-processing of transcriptomic data

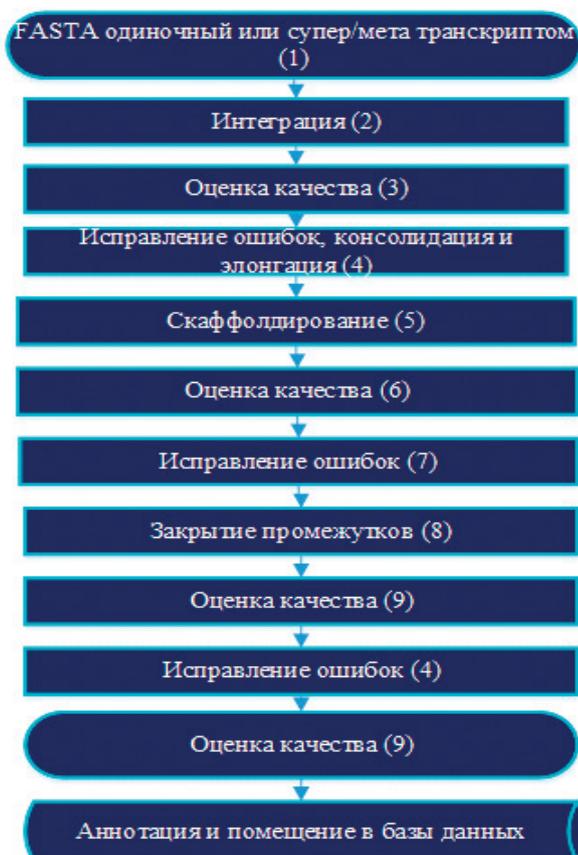


Рис. 4. Концептуальный алгоритм для улучшения качества собранных de novo транскриптомов
 Fig. 4. Conceptual algorithm for improving the quality of assembled de novo transcriptomes



Рис. 5. Концептуальный алгоритм обработки данных, предназначенный для извлечения и анализа информации экспрессии генов исследуемого транскриптома

Fig. 5. Conceptual data processing algorithm designed to extract and analyze gene expression information of the transcriptome under study



Рис. 6. Алгоритм обработки данных транскриптомов растений, позволяющий максимизировать эффективность аннотации и улучшить объем и качество биологически интерпретируемой информации

Fig. 6. Algorithm for processing plant transcriptome data that maximizes annotation efficiency and improves the amount and quality of biologically interpreted information

Алгоритмы для улучшения качества собранных de novo транскриптомов и обработки данных для извлечения и анализа информации экспрессии генов исследуемого транскриптома представлены на рисунках 4 и 5.

Разработанный алгоритм обработки данных транскриптомов растений (рисунок 6), в отличие от аналогов, позволяет максимизировать эффективность аннотирования и улучшить объем и качество биологически интерпретируемой ин-

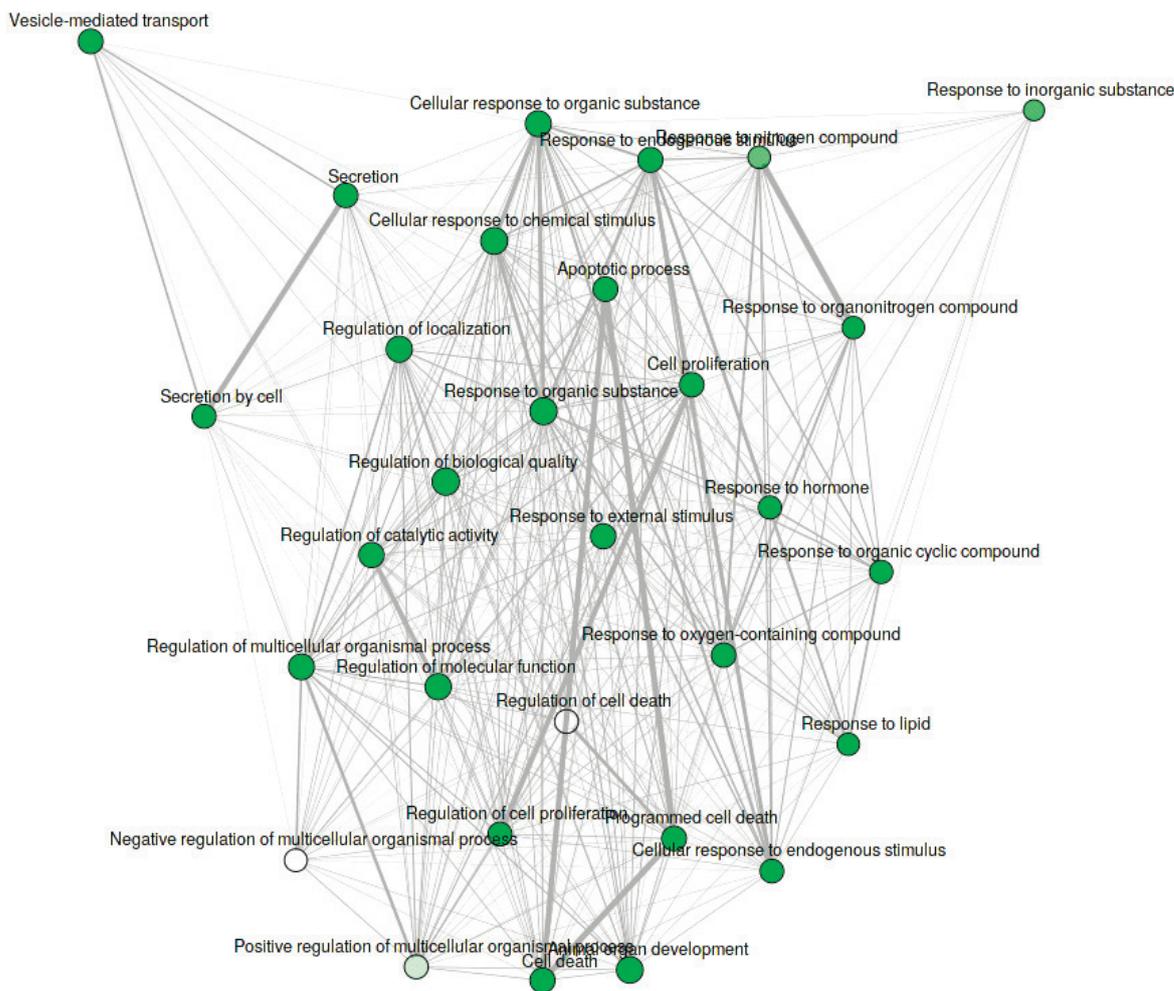


Рис. 7. Метаболическая сеть на основе генной онтологии с использованием инструментов ShinyGo.
Патосистема сосна – фитоплазма
Fig. 7. Gene ontology-based metabolic network using ShinyGo tools.
Pathosystem - pine-phytoplasma

формации. На этапе оценки структуры и качества данных, включает фильтрацию, деконтаминацию и тримминг – удаление прочтений с низким качеством и малой длиной.

На основе проведенного ранее исследования патосистемы сосна обыкновенная – фитоплазма [46], с использованием разработанных алгоритмов (рисунок 1-6) был проведен транскриптомный анализ, с построением метаболической сети на основе генной онтологии и с применением инструментов ShinyGo. Визуализация полученных данных представлена на рисунке 7.

Заключение. Исследования, направленные на развитие биоинформатических методов оценки уровня экспрессии генов транскриптомов, актуальны и нуждаются в дальнейшем изучении. Уровень экспрессии генов при изучении транскриптомов лучше оценивать по отдельным компонентам. При этом необходимо отбирать

прочтения генов с одинаковым аннотированием и проследить их метрики в отчетных таблицах программ, с последующим выполнением статистических расчетов по вычислению значимой разницы между группами образцов.

Представленные алгоритмы и методологические основы обработки данных транскриптомов растений позволяют максимизировать эффективность аннотации и улучшить объем и качество биологически интерпретируемой информации.

Дальнейшими перспективами исследований методологии и алгоритмики обработки данных транскриптомов растений являются: освоение и применение новых программных инструментов для de novo сборки и постобработки, in silico выделение и изучение некодирующей РНК, улучшение и оптимизация автоматизации и организации обработки данных транскриптомов.

Список литературы

1. Conesa, A. A survey of best practices for RNA-seq data analysis / A. Conesa, P. Madrigal, S. Tarazona, D. Gomez-Cabrero, A. Cervera et al. // *Genome biology*.– 2016.– V. 17, № 1.– P. 13.
2. Eldem, V. Transcriptome Analysis for Non-Model Organism: Current Status and Best-Practices / V. Eldem, G. Zararsiz, T. Taşçi, I. P. Duru, Y. Bakir, et al.// *Applications of RNA-Seq and Omics Strategies-From Microorganisms to Human Health*.– 2017.– V. 1, № 2.– Pp. 1-19.
3. Liu, X. Normalization Methods for the Analysis of Unbalanced Transcriptome Data: A Review / X. Liu, N. Li, S. Liu, J. Wang, N. Zhang et al. // *Front BioengBiotechnol*.– 2019.– V. 7. – P. 358.
4. Mutz, K.-O. Transcriptome analysis using next-generation sequencing / K.-O. Mutz, A. Heilkenbrinker, M. Lönne, J.-G. Walter, F. Stahl // *Current opinion in biotechnology*.– 2013.– V. 24, № 1.– P. 22-30.
5. Можаровская, Л. В. Идентификация и функциональная аннотация патоген-индуцированных генов проростков сосны обыкновенной. Л. В. Можаровская, С. В. Пантеле-ев, О.Ю. Баранов, В.Е. Падутов// Молекулярная и прикладная генетика: сб.науч.тр./ Ин-ститут генетики и цитологии НАН Беларуси; редкол. А.В. Кильчевский (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, 2019. – Т. 26. – С. 69-78.
6. Можаровская, Л. В. Сравнительный анализ транскрипционных профилей проростков сосны обыкновенной (*Pinussylvestris L.*) различающихся температурными условиями выращивания / Л. В. Можаровская // Проблемы лесоведения и лесоводства: Сб. науч. Трудов ИЛ НАН Беларуси. – Вып. 78. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2018. – С. 70-78.
7. Можаровская, Л. В. Выявление сайтов редактирования мРНК в хлоропластном геноме сосны обыкновенной (*Pinussylvestris L.*)// Л. В. Можаровская, С. В. Пантелеев, О. А. Разумова, О. Ю. Баранов, // Сборник научных трудов [Институт леса Национальной академии наук Беларуси]/ Национальная академия наук Беларуси, Институт леса. – Гомель, 2019. – Вып. 79: Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 54-61.
8. Кирьянов, П. С. Выявление генетических особенностей среди форм березы повислой, различающихся по признаку узорчатости древесины/ П. С. Кирьянов, О. Ю. Баранов, В. Е. Падутов // Лесное хозяйство : материалы 84-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 03–14 февраля 2020 г. / отв. за издание И. В. Войтов; УО БГТУ. – Минск: БГТУ, 2020. – С. 106-107.
9. Падутов, В. Е. Сравнительный анализ транскрипционных профилей каллусных культур лиственницы сибирской с различным эмбрионным потенциалом / В. Е. Падутов, И. Н.Третьякова, Л. В. Можаровская, А. В. Константинов, Д. В. Кулагин, М. П. Кусенкова // Лесное хозяйство : материалы 84-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 03–14 февраля 2020 г. / отв. за издание И. В. Войтов; УО БГТУ. – Минск: БГТУ, 2020. – С. 131.
10. Wang, Z. RNA-Seq: a revolutionary tool for transcriptomics / Z. Wang, M. Gerstein, M. Snyder // *Nature reviews genetics*. – 2009. – V. 10. – №. 1. – Pp. 57-63.
11. Haas, B.J. De novo transcript sequence reconstruction from RNA-seq using the Trinity platform for reference generation and analysis / B. J. Haas, A. Papanicolaou, M. Yassour, M. Grabherr, P. D. Blood et al. // *Nat Protoc*.– 2013.– V. 8, № 8.– Pp. 1494-512.
12. Wang, Y., Sun, M.-a. Transcriptome Data Analysis: Methods and Protocols. Springer, 2018.
13. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://bioinformaticsinstitute.ru/sites/default/files/07-28-04-kasyanov.pdf>. – Дата доступа: 04.09.2020.
14. Касьянов, А. С. Новые методы обработки данных, полученных с помощью современных технологий секвенирования, для решения задач анализа экспрессии генов:автореф. дисс. канд. физ.-мат. наук. – 2012.
15. Водясова, Е. А.Новейшие технологии высокопроиз-водительного секвенированиятранскриптома отдельных клеток / Е. А. Водясова, Э. С. Челебиева, О. Н. Кулешова//Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2019. – Т. 23. – №. 5. – С. 508-518.
16. Ewing, B. Base-calling of automated sequencer traces using phred. II. Error proba-bilities / B. Ewing, P. Green, // *Genome research*. – 1998. – V. 8. – №. 3. – P. 186-194
17. Brown, J. FQC Dashboard: integrates FastQC results into a web-based, interactive, and extensible FASTQ quality control tool / J. Brown, M. Pirrung, L. A. McCue// *Bioinformatics*.– 2017.– V. 1, № 1.– P. 1-9.
18. Dai, M. NGSQC: cross-platform quality analysis pipeline for deep sequencing data / M. Dai, Thompson, R. C. Maher, R. Contreras-Galindo, M. H. Kaplan et al. // *BMC Genomics*.– 2010.– V. 11 Suppl 4, – P. S7.
19. Романенков, К. В. Метод оценки качества сборки генома на основе частот k-меров // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2017. № 11. 24 с. doi:10.20948/prepr-2017-11
20. Giannoulatou, E., Park, S.H., Humphreys, D.T., Ho, J.W. Verification and validation of bio-informatics software without a gold standard: a case study of BWA and Bowtie / E. Giannoulatou, S.H. Park, D. T. Humphreys, J. W. Ho // *BMC Bioin-formatics*.– 2014.– V. 15 Suppl 16, – P. S15.
21. Langdon, W. B. Performance of genetic programming optimised Bowtie2 on genome comparison and analytic testing (GCAT) benchmarks // *BioData Min*.– 2015.– V. 8, № 1.– P. 1.
22. Lu, R. Characterization of bHLH/HLH genes that are involved in brassinosteroid (BR) signaling in fiber development of cotton (*Gossypiumhirsutum*) / R. Lu, J. Zhang, D. Liu, Y. L. Wei, Y. Wang, et al. // *BMC Plant Biol*.– 2018.– V. 18, № 1.– P. 304.
23. Kim, D. TopHat2: accurate alignment of transcriptomes in the presence of insertions, deletions and gene fusions /Kim, D., Pertea, G., Trapnell, C., Pimentel, H., Kelley, R. et al. // *Genome Biol*.– 2013.– V. 14, № 4.– P. R36.

24. Bankevich, A. SPAdes: a new genome assembly algorithm and its applications to single-cell sequencing / Bankevich, A., Nurk, S., Antipov, D., Gurevich, A.A., Dvorkin, M. et al.// *J Comput Biol.*– 2012.– V. 19, № 5.– P. 455-77.
25. Bankar, K.G., Ameliorated de novo transcriptome assembly using Illumina paired end sequence data with Trinity Assembler / Todur, V.N., Shukla, R.N., Vasudevan, M.// *Genom Data.*– 2015.– V. 5. – P. 352-9.
26. Cabau, C. Compacting and correcting Trinity and Oases RNA-Seq de novo assemblies / Cabau, C., Escudie, F., Djari, A., Guiguen, Y., Bobe, J. et al.// *PeerJ.*– 2017.– V. 5. – P. e2988.
27. Haas, B. J. De novo transcript sequence reconstruction from RNA-seq using the Trinity platform for reference generation and analysis / Haas, B.J., Papanicolaou, A., Yassour, M., Grabherr, M., Blood, P.D. et al.// *Nat Protoc.*– 2013.– V. 8, № 8.– P. 1494-512.
28. Kim, C.S. K-mer clustering algorithm using a MapReduce framework: application to the parallelization of the Inchworm module of Trinity / Kim, C.S., Winn, M.D., Sachdeva, V., Jordan, K.E.// *BMC Bioinformatics.*– 2017.– V. 18, № 1.– P. 467.
29. Cabau, C. Compacting and correcting Trinity and Oases RNA-Seq de novo assemblies / Cabau, C., Escudie, F., Djari, A., Guiguen, Y., Bobe, J. et al.// *PeerJ.*– 2017.– V. 5, – P. e2988.
30. Schulz, M. H. Oases: robust de novo RNA-seq assembly across the dynamic range of expression levels / Schulz, M.H., Zerbino, D.R., Vingron, M., Birney, E.// *Bioinformatics.*– 2012.– V. 28, № 8.– P. 1086-92.
31. Birol, I. De novo transcriptome assembly with ABySS / Birol, I., Jackman, S.D., Nielsen, C. B., Qian, J. Q., Varhol, R. et al.// *Bioinformatics.*– 2009.– V. 25, № 21.– P. 2872-7.
32. Jackman, S.D. ABySS 2.0: resource-efficient assembly of large genomes using a Bloom filter / Jackman, S.D., Vandervalk, B.P., Mohamadi, H., Chu, J., Yeo, S. et al.// *Genome Res.*– 2017.– V. 27, № 5.– P. 768-777.
33. Simpson, J.T. ABySS: a parallel assembler for short read sequence data / Simpson, J.T., Wong, K., Jackman, S.D., Schein, J.E., Jones, S.J.// *Genome Res.*– 2009.– V. 19, № 6.– P. 1117-23.
34. Boerner, S. Computational Analysis of LncRNA from cDNA Sequences /Boerner, S., McGinnis, K.M. // *Methods In Molecular Biology (Clifton, N.J.)*.– 2016.– V. 1402, – P. 255-269.
35. Ge, S., Jung, D. ShinyGO: a graphical enrichment tool for animals and plants. 2018.
36. Zhang C. et al. Evaluation and comparison of computational tools for RNA-seq isoform quantification // *BMC genomics.* – 2017. – V. 18. – № 1. – P. 583.
37. Chen, T.W., Gan, R.C., Wu, T.H., Huang, P.J., Lee, C.Y. et al. FastAnnotator—an efficient transcript annotation web tool // *BMC Genomics.*– 2012.– V. 13 Suppl 7, – P. S9.
38. Huerta-Cepas, J. eggNOG 4.5: a hierarchical orthology framework with improved functional annotations for eukaryotic, prokaryotic and viral sequences /Huerta-Cepas, J., Szklarczyk, D., Forslund, K., Cook, H., Heller, D. et al. / *Nucleic Acids Research.*– 2016.– V. 44, № D1.– P. D286-D293.
39. Van Bel, M. TRAPID: an efficient online tool for the functional and comparative analysis of de novo RNA-Seq transcriptomes /Van Bel, M., Proost, S., Van Neste, C., Deforce, D., Van de Peer, Y. et al. // *Genome Biol.*– 2013.– V. 14, № 12.– P. R134.
40. Jones, P. InterProScan 5: genome-scale protein function classification / Jones, P., Binns, D., Chang, H.Y., Fraser, M., Li, W. et al.// *Bioinformatics.*– 2014.– V. 30, № 9.– P. 1236-40.
41. Kelly, R.J. IPRStats: visualization of the functional potential of an InterProScan run /Kelly, R.J., Vincent, D.E., Friedberg, I. // *BMC Bioinformatics.*– 2010.– V. 11 Suppl 12. – P. S13.
42. Mulder, N. InterPro and InterProScan: tools for protein sequence classification and comparison / Mulder, N., Apweiler, R.// *Methods Mol Biol.*– 2007.– V. 396, – P. 59-70.
43. Quevillon, E. InterProScan: protein domains identifier /Quevillon, E., Silventoinen, V., Pillai, S., Harte, N., Mulder, N. et al. / *Nucleic Acids Research.*– 2005.– V. 33. № Web Server issue.– P. W116-20.
44. Syed, A. Java GUI for InterProScan (JIPS): a tool to help process multiple InterProScans and perform ortholog analysis / Syed, A., Upton, C.// *BMC Bioinformatics.*– 2006.– V. 7, – P. 462.
45. Zdobnov, E.M. InterProScan—an integration platform for the signature-recognition methods in InterPro /Zdobnov, E.M., Apweiler, R. // *Bioinformatics.*– 2001.– V. 17, № 9.– P. 847-8.
46. Пантелеев, С. В. Молекулярно-генетическая диагностика инфекционных агентов по-бегов сосны обыкновенной с признаками «ведьминых метел» / С. В. Пантелеев, О. Ю. Баранов, И. Э. Рубель // *Сб. науч. тр. / НАН Беларуси, Институт леса.* – Гомель, 2016. – Вып. 76 : Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 242–249.

References

1. Conesa A., Madrigal P., Tarazona S., Gomez-Cabrero D., Cervera A. et al. A survey of best practices for RNA-seq data analysis. *Genome biology*, 2016, V. 17, № 1. 13 p.
2. Elden V., Zararsiz G., Taşçi T., Duru I.P., Bakir Y. et al. Transcriptome Analysis for Non-Model Organism: Current Status and Best-Practices. *Applications of RNA-Seq and Omics Strategies-From Microorganisms to Human Health*, 2017, V. 1, № 2. pp. 1-19.
3. Liu X., Li N., Liu S., Wang J., Zhang N. et al. Normalization Methods for the Analysis of Unbalanced Transcriptome Data: A Review. *Front BioengBiotechnol*, 2019, V. 7. 358 p.
4. Mutz, K.-O., Heilkenbrinker, A., Lönne, M., Walter, J.-G., Stahl, F. Transcriptome analysis using next-generation sequencing. *Current opinion in biotechnology*, 2013, V. 24, № 1. pp. 22-30.
5. Mozharovskaya L.V., Panteleev S.V., Baranov O.Yu., Padutov V.E. Identification and Functional Annotation of Pathogen-

- Induced Genes of the Scots Pine Seedlings. *Molecular and Applied Genetics*, Minsk, 2019, V. 26. pp.69-78. (in Russian).
6. Mozharovskaya, L.V. Comparative Analysis of the Transcription Profiles from Pine Seedlings (*Pinus Sylvestris* L.) Grown Under Various Temperature Conditions. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva, Gomel*, V. 78. pp. 70-78. (in Russian).
 7. Mozharovskaya L.V., Panteleev S. V., Razumova O.A., Baranov O. Yu. Identification of mRNA Editing Sites in the Chloroplast Genome Of Pine (*Pinus Sylvestris* L.). *Problemy lesovedeniya i lesovodstva, Gomel*, 2019, V. 79. pp. 54-61. (in Russian).
 8. Kiryanov P.S., Baranov O. Yu., Padutov V.E., Identification of Genetic Features Among the Forms of Silver Birch, Differing by the Characteristic of Wood Patterning // *Forestry: materials of the 84th scientific-technical. conferences of faculty, researchers and graduate students (with in-ternational participation)*, Minsk: BSTU, 2020. pp. 106-107. (in Russian).
 9. Padutov V.E., Tretyakova I.N., Mozharovskaya L.V. Konstantinov A.V., Kulagin D.V., Kus-enkova M.P. Comparative Analysis of Transcriptional Profiles of Callus Cultures of Siberian Larch with Different Embryogenic Potential // *Forestry: materials of the 84th scientific-technical. conferences of faculty, research staff and graduate students (with international participation)*, Minsk: BSTU, 2020. p. 131.
 10. Wang Z., Gerstein M., Snyder M. RNA-Seq: a revolutionary tool for transcriptomics. *Nature reviews genetics*, 2009, V. 10., № 1. pp. 57-63.
 11. Haas, B.J., Papanicolaou, A., Yassour, M., Grabherr, M., Blood, P.D. et al. De novo transcript sequence reconstruction from RNA-seq using the Trinity platform for reference generation and analysis. *Nat Protoc.*, 2013., V. 8, № 8. pp. 1494-512.
 12. Wang, Y., Sun, M.-a. *Transcriptome Data Analysis: Methods and Protocols*. Springer, 2018.
 13. Available at: <http://bioinformaticsinstitute.ru/sites/default/files/07-28-04-kasyanov.pdf>. (accessed: 04.09.2020) (in Russian).
 14. Kasyanov A. S. New methods of data processing obtained using modern sequencing technologies for solving problems of gene expression analysis: author. diss. Cand. physical-mat. sciences, 2012. (in Russian).
 15. Vodyasova E.A., Chelebieva E.S., Kuleshova O.N. The latest technologies for high-performance sequencing of the transcriptome of individual cells. *Vavilovskiy Zhurnal Genetics and Breeding*, 2019, V. 23, №5. - pp. 508-518.
 16. Ewing B., Green P. Base-calling of automated sequencer traces using phred. II. Error proba-bilities. *Genome research*, 1998, V. 8, № 3. pp. 186-194.
 17. Brown J., Pirrung M., McCue L.A. FQC Dashboard: integrates FastQC results into a web-based, interactive, and extensible FASTQ quality control tool. *Bioinformatics*, 2017, V. 1, № 1.– pp. 1-9.
 18. Dai M., Thompson R.C., Maher C., Contreras-Galindo R., Kaplan M.H. et al. NGSQC: cross-platform quality analysis pipeline for deep sequencing data. *BMC Genomics*, 2010, V. 11. p. S7.
 19. Romanenkov K.V. Method for assessing the quality of genome assembly based on frequen-cies of k-mers. Preprints M.V. Keldysh. 2017. No. 11. 24 p. doi: 10.20948 / prepr-2017-11
 20. Giannoulatou E., Park S.H., Humphreys D.T., Ho J.W. Verification and validation of bioin-formatics software without a gold standard: a case study of BWA and Bowtie. *BMC Bioinfor-matics*, 2014,V. 15 Suppl 16. pp. S15.
 21. Langdon W.B. Performance of genetic programming optimised Bowtie2 on genome comparison and analytic testing (GCAT) benchmarks. *BioData Min.*, 2015, V. 8, № 1. pp. 1.
 22. Lu R., Zhang J., Liu D., Wei Y.L., Wang Y. et al. Characterization of bHLH/HLH genes that are involved in brassinosteroid (BR) signaling in fiber development of cotton (*Gossypiumhirsutum*). *BMC Plant Biol.*, 2018, V. 18, № 1. pp. 304.
 23. Kim D., Pertea G., Trapnell C., Pimentel H., Kelley R. et al. TopHat2: accurate alignment of transcriptomes in the presence of insertions, deletions and gene fusions. *Genome Biol.*, 2013. V. 14, № 4. p. R36.
 24. Bankevich A., Nurk S., Antipov D., Gurevich A.A., Dvorkin M. et al. SPAdes: a new genome assembly algorithm and its applications to single-cell sequencing. *J Comput Biol.*, 2012., V. 19, № 5. pp. 455-477.
 25. Bankar K.G., Todur V.N., Shukla R.N., Vasudevan M. Ameliorated de novo transcriptome assembly using Illumina paired end sequence data with Trinity Assembler. *Genom Data*. 2015, V. 5. pp. 352-9.
 26. Cabau C., Escudie F., Djari A., Guiguen Y., Bobe J. et al. Compacting and correcting Trinity and Oases RNA-Seq de novo assemblies. *PeerJ.*, 2017, V. 5. p. e2988.
 27. Haas B.J., Papanicolaou A., Yassour M., Grabherr M., Blood P.D. et al. De novo transcript sequence reconstruction from RNA-seq using the Trinity platform for reference generation and analysis. *Nat Protoc.*, 2013., V. 8, № 8. pp. 1494-1512.
 28. Kim C.S., Winn M.D., Sachdeva V., Jordan, K.E. K-mer clustering algorithm using a MapReduce framework: application to the parallelization of the Inchworm module of Trinity. *BMC Bioinformatics*, 2017, V. 18, № 1. pp. 467.
 29. Cabau C., Escudie F., Djari A., Guiguen Y., Bobe J. et al. Compacting and correcting Trinity and Oases RNA-Seq de novo assemblies. *PeerJ*. 2017. V. 5. pp. e2988.
 30. Schulz M.H., Zerbino D.R., Vingron M., Birney E. Oases: robust de novo RNA-seq assembly across the dynamic range of expression levels. *Bioinformatics*, 2012, V. 28, № 8. pp. 1086-1092.
 31. Birol I., Jackman S.D., Nielsen C.B., Qian J.Q., Varhol R. et al. De novo transcriptome assembly with ABySS. *Bioinformatics*, 2009, V. 25, № 21. pp. 2872-2877.
 32. Jackman S.D., Vandervalk B.P., Mohamadi H., Chu J., Yeo S. et al. ABySS 2.0: resource-efficient assembly of large genomes using a Bloom filter. *Genome Res.*, 2017, V. 27, № 5. pp. 768-777.

33. Simpson J.T., Wong K., Jackman S.D., Schein J.E., Jones S.J. et al. ABySS: a parallel assembler for short read sequence data. *Genome Res.*, 2009, V. 19, № 6. pp. 1117-1123.
34. Boerner S., McGinnis K.M. Computational Analysis of LncRNA from cDNA Sequences. *Methods In Molecular Biology* (Clifton, N.J.), 2016, V. 1402. pp. 255-269.
35. Ge, S., Jung, D. ShinyGO: a graphical enrichment tool for animals and plants. 2018.
36. Zhang C. et al. Evaluation and comparison of computational tools for RNA-seq isoform quantification. *BMC genomics*, 2017, V. 18, № 1. pp. 583.
37. Chen, T.W., Gan, R.C., Wu, T.H., Huang, P.J., Lee, C.Y. et al. FastAnnotator--an efficient transcript annotation web tool. *BMC Genomics*, 2012, V. 13, Suppl 7. pp. S9.
38. Huerta-Cepas J., Szklarczyk D., Forslund K., Cook H., Heller D. et al. eggNOG 4.5: a hierarchical orthology framework with improved functional annotations for eukaryotic, prokaryotic and viral sequences. *Nucleic Acids Research*, 2016, V. 44, № D1. pp. D286-D293.
39. Van Bel M., Proost S., Van Neste C., Deforce D., Van de Peer Y. et al. TRAPID: an efficient online tool for the functional and comparative analysis of de novo RNA-Seq transcriptomes, *Genome Biol.*, 2013, V. 14, № 12. pp. R134.
40. Jones P., Binns D., Chang H.Y., Fraser M., Li W. et al. InterProScan 5: genome-scale protein function classification. *Bioinformatics*, 2014, V. 30, № 9. pp. 1236-40.
41. Kelly R.J., Vincent D.E., Friedberg I. IPRStats: visualization of the functional potential of an InterProScan run. *BMC Bioinformatics*, 2010, V. 11 Suppl 12. pp. S13.
42. Mulder N., Apweiler R. InterPro and InterProScan: tools for protein sequence classification and comparison. *Methods Mol Biol.*, 2007, V. 396. P. 59-70.
43. Quevillon E., Silventoinen V., Pillai S., Harte N., Mulder N. et al. InterProScan: protein domains identifier. *Nucleic Acids Research*, 2005, V. 33. № pp. W116-20.
44. Syed A., Upton C. Java GUI for InterProScan (JIPS): a tool to help process multiple InterProScans and perform ortholog analysis. *BMC Bioinformatics*, 2006, V. 7. p. 462.
45. Zdobnov E.M., Apweiler R. InterProScan--an integration platform for the signature-recognition methods in InterPro. *Bioinformatics*, 2001, V. 17, № 9. pp. 847-8.
46. Panteleev S. V., Baranov O. Yu., Rubel I. E. Molecular-genetic diagnostics of infectious agents of Scots pine shoots with signs of "witch`s brooms". *Problemy lesovedeniya i lesovodstva, Gomel*, 2016, V. 76. pp. 242-249. (in Russian).

Received: 30.09.2020

Поступила: 30.09.2020

Методы определения размеров трехмерных объектов на изображениях

Л. В. Серебряная, к. т. н., доцент, доцент кафедры программного обеспечения информационных технологий

E-mail: L_silver@mail.ru

ORCID ID: 0000-0001-7189-7378

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

В. Н. Брешко, студентка кафедры программного обеспечения информационных технологий

E-mail: breshko314@gmail.com

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

Аннотация. Использована технология компьютерного зрения, позволяющая получать необходимую информацию из изображений. На основе процесса реконструкции и особых точек двухмерное изображение было преобразовано в соответствующую ему трехмерную структуру. Выполнен обзор программных средств, предназначенных для сканирования объектов и измерения их габаритных размеров. Приведена математическая модель и алгоритм построения трехмерных структур объектов изображений. На основе шаблона проектирования разработана архитектура программного приложения, состоящего из модулей обработки изображений, вычисления размеров объектов, сохранения полученных данных. Использован наиболее быстрый алгоритм нахождения особых точек и их дескрипторов. В работе вычисляются как однородные, так и Евклидовы координаты характерных точек. Изложена методика использования мобильного приложения в автоматическом и ручном режимах. Приведены результаты сканирования объектов камерой мобильного устройства и определения их размеров в режиме реального времени.

Ключевые слова: изображение, трехмерная модель, компьютерное зрение, особые точки, однородные координаты, дескриптор

Для цитирования: Серебряная, Л. В. Методы определения размеров трехмерных объектов на изображениях / Л. В. Серебряная, В. Н. Брешко // Цифровая трансформация. – 2021. – № 1 (14). – С. 65–72.



© Цифровая трансформация, 2021

Methods for Determining the Size of three-Dimensional Objects in Images

L. V. Serebryanaya, Candidate of Science (Technical), Associate Professor, Associate Professor of Information Technologies Software Department

E-mail: L_silver@mail.ru

ORCID ID: 0000-0001-7189-7378

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

V. N. Breshko, Student of Information Technologies Software Department

E-mail: breshko314@gmail.com

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

Abstract. Computer vision technology is used to obtain the necessary information from images. The two-dimensional image was transformed into its corresponding three-dimensional structure based on the reconstruction process and

singular points. A review of software tools designed for scanning objects and measuring their dimensions is performed. A mathematical model and algorithm for constructing three-dimensional structures of objects in images are presented. Based on the design pattern, the architecture of the software application is developed. It consists of an image processing module, a module for calculating the size of objects, and a module for storing the received data. The fastest algorithm for finding singular points and their descriptors is used. In this paper, both homogeneous and Euclidean coordinates of characteristic points are calculated. The method of using the mobile application in automatic and manual modes is described. The results of scanning objects with the camera of a mobile device and determining their size in real time are presented.

Key words: image, three-dimensional model, computer vision, singular points, homogeneous coordinates, descriptor

For citation: Serebryanaya L. V., Breshko V. N. Methods for Determining the Size of three-Dimensional Objects in Images. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 1 (14), pp. 65–72 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

Введение. Вопрос автоматизации того или иного процесса появляется тогда, когда требуется ускорить выполнение заранее известных действий и минимизировать в этом участие человека. Работа посвящена одному из подобных процессов – измерению габаритных размеров объектов в пространстве. В данном случае удобно использовать мобильное устройство, так как в настоящее время такие гаджеты всегда под рукой у подавляющего большинства людей. В результате становится возможным сфотографировать камерой мобильного телефона или планшета нужный объект и быстро получить данные о его размерах через пользовательский интерфейс программного обеспечения (ПО).

Для решения названной задачи необходимо иметь систему, которая сможет выделять необходимый объект из визуального информационного ряда, а также определять его расположение относительно наблюдателя для вычисления габаритных размеров. Для этого удобно использовать технологию компьютерного зрения – теорию создания искусственных систем, получающих информацию из изображений. В настоящее время существует множество программных средств (ПС), умеющих находить, распознавать и идентифицировать объекты на изображениях. Однако программ, которые бы позволяли, помимо идентификации объекта, получить его размерные характеристики, немного.

Решение поставленной задачи связано с процессом реконструкции. Это восстановление трехмерной структуры из двухмерной [1]. Недостатком двухмерной проекции или плоского изображения является отсутствие явной информации о глубине сцены. Человеческий глаз в состоянии оценить глубину сцены на плоском изображении по некоторым косвенным признакам: затенению, текстуре, фокусу, движению.

В алгоритмах построения трехмерной структуры пространства используется понятие «особые точки» или «характерные точки». Осо-

бая точка – это точка изображения, обладающая высокой локальной информативностью. Обычно выделение характерных точек является начальным этапом работы любой системы компьютерного зрения. Основным преимуществом использования особых точек считается относительная простота и скорость их обнаружения. К характерным точкам предъявляют ряд требований в виде их свойств: инвариантности, стабильности, уникальности, интерпретируемости. Подходы к определению особых точек делятся на три категории: основанные на интенсивности изображения, использующие контуры изображения, основанные на использовании специальной модели.

Обзор ПС *EasyMeasure, Smart Tools, 123D Catch, Structure*, предназначенных для построения трехмерных моделей объектов из серии снимков и определения размеров объектов, позволил оценить их преимущества и недостатки, а также сделать соответствующие выводы. Ни один из перечисленных продуктов не предоставляет возможности сканирования и измерения объекта одновременно. Поэтому создание программного приложения, способного находить объект и вычислять его размеры, является актуальной и востребованной задачей.

Математическая модель построения 3-D структуры. Задача определения реальных характеристик пространства, исходя из смоделированного объема, решается только при условии, что известно хотя бы одно расстояние между двумя точками материального пространства и это же расстояние между двумя точками смоделированного пространства.

Создание трехмерной модели объектов выполняется на основе двухмерной модели и особых точек. Поэтому ставится задача нахождения координат таких точек в трехмерном пространстве. Для этого необходимо:

- 1) найти характерные точки на первом кадре;

2) определить точки-соответствия между первым и вторым кадром;

3) найти существенную (или фундаментальную) матрицу для рассматриваемой пары изображений;

4) из нескольких полученных матриц перехода рассчитать координаты точек в пространстве.

Системы компьютерного зрения строят математические модели различных процессов с помощью аналитической проективной геометрии.

Точки, которые на Евклидовой плоскости задаются парой координат (x, y) , на проективной плоскости описываются трехкомпонентным вектором (x, y, w) . При этом для любого ненулевого числа a , векторы (x, y, w) и (ax, ay, aw) соответствуют одной и той же точке. Прямая на проективной плоскости задается, подобно точке, трехкомпонентным вектором $l = (a, b, c)$. Точки трехмерного проективного пространства определяются четырехкомпонентным вектором однородных координат (x, y, z, w) . Модель проективной камеры представлена на рисунке 1, где C – центр камеры, Cp – главная ось камеры, X – точка в трехмерном пространстве, x – точка на плоскости изображения:

В случае построения трехмерной модели на основе нескольких двумерных проекций необходимо вычислить координаты некоторых важных точек в трехмерном пространстве. Для проективной камеры справедливо следующее тождество

$$x = K \cdot [R|t] \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

или более полное описание:

$$\begin{pmatrix} ix_x \cdot x_z \\ ix_y \cdot x_z \\ x_z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_x \\ X_y \\ X_z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Здесь x – это положение точки на изображении в однородных координатах и $x = (ix_x \cdot x_z, ix_y \cdot x_z, x_z)$, то есть в обычных координатах это будет выглядеть так: $x = (x_x/x_z, x_y/x_z)$. R – это матрица, отражающая положение камеры в пространстве, или матрица поворота (размером 3×3), t – трехмерный вектор смещения. Вместе они составляют матрицу перехода $[R|t]$. K – матрица внутренних параметров камеры, где f_x, f_y – фокальное расстояние в пикселях, c_x, c_y – оптический центр камеры (обычно это координаты центра изображения). Эти параметры называют внутренними параметрами камеры [2, 3].

Важным является тот факт, что в случае проективного подхода, точки, лежащие на одной прямой в пространстве, будут лежать на одной прямой и на изображении. Однако в реальных условиях возможно линзовое искажение (или дисторсия) из-за которого прямые линии становятся изогнутыми. Существуют методы исправления этих искажений. Поскольку дисторсия не влияет на глубину расположения точек, а лишь на координаты точек на двумерном изображении, можно сначала исправить изображение, а затем использовать ту же математическую модель для вычислений. С камерами мобильного устройства

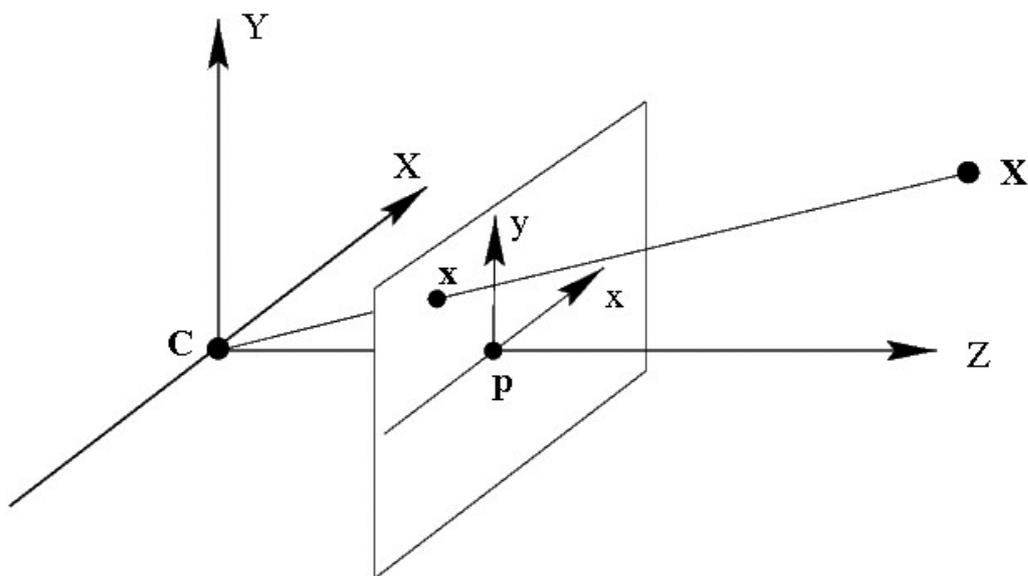


Рис. 1. Модель проективной камеры
Fig. 1. Projective camera model

подобная проблема случается довольно редко, поэтому в дальнейшем она не учитывалась при построении модели.

Далее необходимо найти фундаментальную и сущностную матрицы F и E . Для двух изображений A и B фундаментальная матрица выражается уравнением

$$(x_i^B)^T \cdot F \cdot x_i^A = 0, \quad (3)$$

где x_i^B и x_i^A точки в кадрах B и A соответственно.

Фундаментальная и сущностная матрицы связаны таким образом:

$$E = K^T \cdot F \cdot K. \quad (4)$$

Чтобы найти трехмерные координаты точек по ее двумерным проекциям, необходимо применить сингулярное разложение к сущностной матрице E и найти матрицу камеры для второго изображения. Матрица камеры P имеет вид:

$$P = K \cdot [R | t]. \quad (5)$$

Таким образом, если для некоторой точки X на изображениях A и B обозначить однородные координаты x_A и x_B и матрицы камер P_A и P_B , соответственно, то можно составить следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} x_A = P_A \cdot X \\ x_B = P_B \cdot X \end{cases} \quad (6)$$

Решение системы уравнений (6) позволит получить однородные координаты точки X в трехмерном пространстве [3].

Проектирование приложения. С учетом поставленной задачи можно выделить основные черты, присущие создаваемому программному приложению, а также требования, предъявляемые к техническим и программным средствам, на котором оно будет работать:

- мобильное устройство с процессором *Apple A7* и мощнее, гироскоп, акселерометр;
- операционная система *iOS* версии 7 и выше;
- возможность сохранения в память устройства заданную пользователем высоту расположения камеры, при этом не предусматривается хранение большого количества пользовательских данных;
- возможность получения данных с сенсора камеры мобильного устройства.

Средствами пользовательского интерфейса должна выполняться отрисовка нового кадра не

более чем за одну секунду, а также отображение введенных данных. Моделирование пространства и расчет выбранных расстояний будут происходить в режиме реального времени.

Учитывая особенности платформы устройства с операционной системой *iOS* и специфику работы проектируемого ПС был выбран классический шаблон проектирования *Cocoa Model-View-Controller (MVC)* [4].

Приложение имеет модульную структуру. Основная логика работы программы возложена на модуль обработки изображений. Он отвечает за манипуляции с изображениями, построение трехмерной модели объекта. Модуль вычисления размеров объектов содержит в себе компоненты для расчета габаритов различными способами. Вся пользовательская информация и информация о изображениях хранится в соответствующих моделях. За сохранение пользовательских настроек и результатов работы программы отвечает модуль сохранения данных. Получение данных с сенсора камеры выполняется модулем обработки видеопотока.

Рассмотрим работу основных алгоритмов программного приложения. Алгоритм определения размеров в автоматическом режиме можно разбить на следующие этапы:

1. Построение трехмерной структуры пространства по набору изображений.
2. Получение данных о высоте расположения камеры и пары крайних точек.
3. Определение расстояния между парами точек.
4. Графическое отображение результатов.

В случае определения размеров в ручном режиме выполняются следующие действия:

1. Получение данных о высоте расположения камеры и паре крайних точек.
2. Расчет длины необходимого отрезка.
3. Графическое отображение результатов.

Как уже отмечалось, характерные точки – это исходные данные для любой системы обработки изображений. В случае построения трехмерной структуры по серии снимков особые точки необходимы для осуществления связывания кадров и формирования трехмерных координат характерных точек. Существует ряд алгоритмов нахождения особых точек и построения их дескрипторов, в работе выбран наиболее быстрый из них – *ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF)* [5]. Высокая скорость работы алгоритма является главным требованием в системах обработки изображений в реальном времени.

В основу алгоритма *ORB* положен алгоритм *FAST*. В нем выбирается точка-кандидат P , вокруг которой рассматривается окружность из 16 пикселей. Точка является угловой, если для текущей точки P существуют N смежных пикселей на окружности, интенсивности которых больше интенсивности точки P или интенсивности всех N пикселей меньше интенсивности данной точки. Если число N превышает некоторое заранее заданное пороговое значение (для 16 пиксельной окружности пороговое значение равно 12), то точка считается особой. Такая проверка выполняется для каждого пикселя изображения. Однако точки, найденные с помощью алгоритма *FAST*, не удовлетворяют свойству инвариантности. В связи с этим применяются следующие улучшения. Для инвариантности к масштабированию использован алгоритм, основанный на пирамиде Гаусса. Введен параметр угловой ориентации, позволяющий добиться устойчивости детектирования при вращении. Он основан на направлениях градиента яркости относительно рассматриваемой точки. Направление с наибольшей интенсивностью назначается ориентацией особой точки θ .

Далее для найденных точек строится *BRIEF*-дескриптор. Он представляется в виде вектора длиной 256 элементов, состоящего из результатов бинарных тестов вокруг особой точки. В окрестности 31×31 пиксель сравниваются средние значения яркостей между x и y , где x, y – области 5×5 пикселей

$$\tau(I; x; y) := \begin{cases} 1 : I_x < I_y \\ 0 : I_x \geq I_y \end{cases}, \quad (7)$$

где I – средняя яркость выбранной области.

Для достижения инвариантности к вращению область вычисления дескриптора ориентируется по ранее найденной ориентации характерной точки θ . Все 256 наборов x_i и y_i формируют матрицу S размерностью $2 \times n$, где $n = 256$. Матрица S с помощью матрицы поворота R_θ ориентируется в соответствии с углом θ :

$$S_\theta = R_\theta S. \quad (8)$$

Сам вектор дескриптора описывается как

$$g_n(I, \theta) := f_n(I) | (x_i, y_i) \in S_\theta, \quad (9)$$

где $f_n(I) := \sum_{1 \leq i \leq n} 2^{i-1} \tau(I; x_i, y_i)$.

В алгоритме нахождения особых точек на изображении сначала задается радиус окрест-

ности исследуемого пикселя. Затем в выбранной окрестности анализируется каждый пиксель изображения и устанавливается, является ли он особым. На следующем шаге выполняется уточнение ориентации каждой особой точки, чтобы в дальнейшем с помощью серии бинарных тестов установить направление дескриптора каждого пикселя. Последним шагом алгоритма является формирование результирующих векторов дескрипторов.

Хотя в задачах стереозрения принято оперировать однородными координатами точек, но, чтобы иметь возможность рассчитывать какие-либо расстояния в трехмерном пространстве, необходимо также располагать координатами этих же точек в Евклидовом пространстве. Входными данными для алгоритма, определяющего координаты точек в Евклидовом пространстве, является пара изображений и наборы особых точек для каждого из них в однородных координатах. Сначала методом триангуляции рассчитываются трехмерные координаты точек пространства, затем координаты найденных точек переводятся из особых координат в Евклидовы.

Учитывая специфику работы с изображениями, снятыми на камеру, нужно принимать во внимание возможную дисторсию камеры и вероятность существования лишних особых точек. В связи с этим к нахождению координат добавляются еще два действия:

- 1) коррекция координат точек с учетом дисторсии;
- 2) проверка погрешности повторного проецирования найденных в трехмерном пространстве точек на исходные изображения.

Последнее действие подразумевает оценку расстояния между особой точкой на изображении и ее повторной проекцией. Это расстояние не должно превышать некоторой заранее заданной величины.

Результатом работы алгоритма построения модели объекта является облако точек в трехмерных координатах, которое в дальнейшем может быть использовано для расчета расстояний между этими точками.

Методика работы с мобильным приложением. Входными данными для работы программного приложения являются данные, получаемые с камеры устройства, а также высота расположения камеры, введенная пользователем. В случае измерения размеров вручную необходимы данные о калибровке устройства относительно измеряемого объекта. Калибровка выполняется по

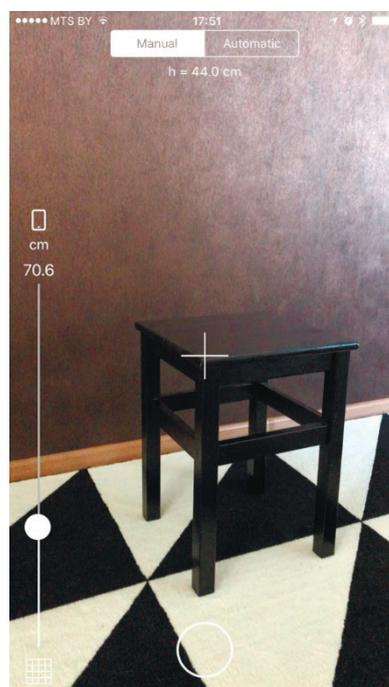
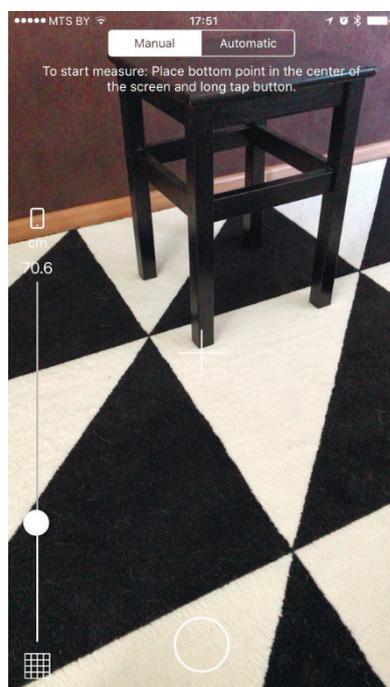


Рис. 2, 3. Выделение нижней и верхней точек объекта
Fig. 2, 3. Selection of the bottom and top points of the object

двум ключевым точкам, выбранным пользователем. Эти точки должны располагаться на равном расстоянии от объектива камеры.

Выходные данные при работе ПС в автоматическом режиме:

- отображение ключевых точек моделируемого пространства;
- значения длин выбранных расстояний.

Выходные данные в ручном режиме:

- отображение длины измеренного отрезка;
- расстояние до измеряемого объекта.

При измерении высоты интересующего объекта вручную обязательными являются следующие действия:

- 1) установка высоты расположения устройства;
- 2) поочередное размещение маркера центра изображения в позиции нижней и верхней точек объекта.

Этапы ручного измерения высоты объекта показаны на рисунках 2 и 3.

Единицы измерения высоты объекта совпадают с единицами измерения заданной ранее высоты расположения устройства. Примеры результатов определения высоты различных объектов представлены на рисунках 4 и 5.

Для работы в автоматическом режиме пользователю необходимо выполнить следующие действия:

- 1) установить высоту расположения устройства;

- 2) поместить маркер центра изображения в позицию начальной точки измеряемого расстояния;

- 3) запустить построение трехмерной модели;

- 4) поместить маркер центра объекта в позицию конечной точки объекта.

Единицы измерения расстояний совпадают с единицами измерения заданной высоты расположения устройства. Результаты измерений в автоматическом режиме приведены на рисунке 6. Результаты моделирования объекта на рисунках 7, 8:

Единицы измерения высоты объекта совпадают с единицами измерения заданной ранее высоты расположения устройства. Примеры результатов определения высоты различных объектов представлены на рисунках 4 и 5.

Для работы в автоматическом режиме пользователю необходимо выполнить следующие действия:

- 1) установить высоту расположения устройства;

- 2) поместить маркер центра изображения в позицию начальной точки измеряемого расстояния;

- 3) запустить построение трехмерной модели;

- 4) поместить маркер центра объекта в позицию конечной точки объекта.

Единицы измерения расстояний совпадают с единицами измерения заданной высоты расположения устройства. Результаты измерений в ав-



Рис. 4, 5. Результаты измеренной высоты объектов
 Fig. 4, 5. Results of measured object heights

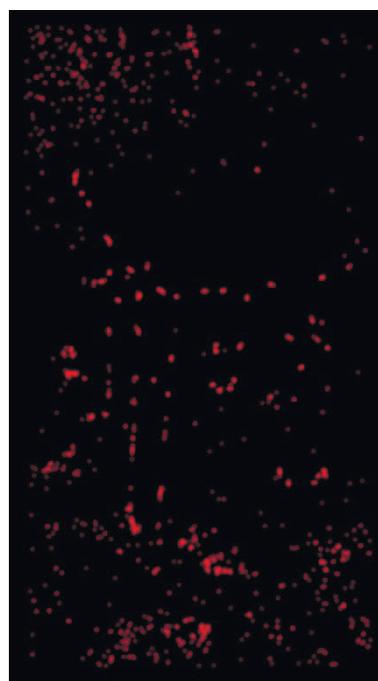
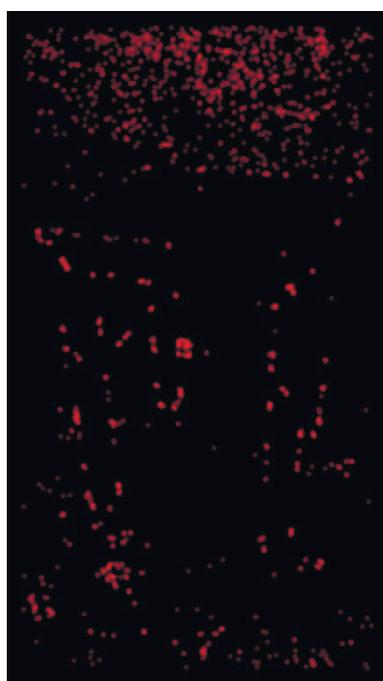
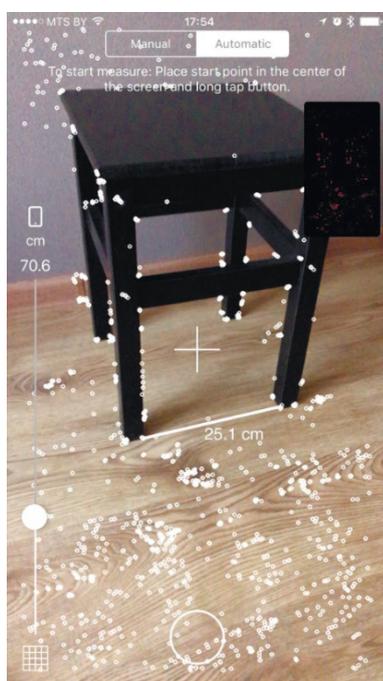


Рис. 6, 7, 8. Результаты измерений и моделирования объектов в автоматическом режиме
 Fig. 6, 7, 8. Results of measurements and modeling of objects in automatic mode

томатическом режиме приведены на рисунке 6. Результаты моделирования объекта на рисунке 6 представлены на рисунках 7, 8.

Заключение. Результаты данной работы носят научно-практический характер. Была предложена математическая модель построения трехмерных моделей объектов на основе их двухмерных изображений и особых точек. С учетом технических и программных особенностей класса

мобильных устройств, для которых создавалось программное приложение, была выбрана наиболее подходящая архитектура ПС.

Приложение имеет модульную структуру, в которой каждый модуль отвечает за выполнение определенных функций. Реализованы алгоритмы поиска характерных точек на изображении и определения трехмерных координат ключевых точек моделируемой структуры.

Созданное программное приложение способно в автоматическом и ручном режимах определять размеры объектов на изображениях, снятых камерой мобильного устройства. Данное ПС не яв-

ляется прибором точного измерения, однако может успешно применяться в тех случаях, когда в режиме реального времени выполняются измерения, не требующие очень высокой точности результатов.

Список литературы

1. Аленин, В. А. Трехмерная реконструкция объектов из последовательности изображений // Молодой ученый. – 2011. – № 3. Т. 1. – С. 33-36.
2. Основы стереозрения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/130300/>. – Дата доступа 11.12.2020 г.
3. Structure from motion [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/301522/>. – Дата доступа 11.12.2020 г.
4. CocoaCore MVC //Apple Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developer.apple.com/library/content/documentation/General/Conceptual/DevPedia-CocoaCore/MVC.html/>. – Дата доступа: 11.12.2020 г.
5. Ethan Rublee, Vincent Rabaud, ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/221111151_ORB_an_efficient_alternative_to_SIFT_or_SURF. – Дата доступа: 11.12.2020 г.

References

1. Alenin, V. A. Trekhmernaya rekonstruktsiya ob"yektov iz posledovatel'nosti izobrazheniy [3D reconstruction of objects from a images sequence] // Molodoy uchenyy. – 2011. №3. Vol. 1. – Pp. 33-36. (in Russian)
2. Osnovy stereozreniya. [Basics of stereo vision] Available at: <https://habr.com/ru/post/130300/> (accessed: 11.12.2020). (in Russian).
3. Structure from motion. Available at: <https://habr.com/ru/post/301522/> (accessed: 11.12.2020).
4. CocoaCore MVC //Apple Documentation. Available at: <https://developer.apple.com/library/content/documentation/General/Conceptual/DevPedia-CocoaCore/MVC.html/> (accessed: 11.12.2020).
5. Ethan Rublee, Vincent Rabaud, ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF. Available at: https://www.researchgate.net/publication/221111151_ORB_an_efficient_alternative_to_SIFT_or_SURF/ (accessed: 11.12.2020).

Received: 22.12.2020

Поступила: 22.12.2020

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) 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.

* in Russian (in Belarusian) and in English

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>.