



## Уважаемые читатели и авторы!

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.gias.by](http://dt.gias.by). Текст научной статьи для публикации можно подать с помощью специальной формы на сайте журнала или отправить его на электронный адрес [journal@unibel.by](mailto:journal@unibel.by). Получение бумажной версии 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) 250-12-00. E-mail: journal@unibel.by.  
<http://dt.giac.by>

Подписано в печать 12.07.2021. Бумага мелованная. Печать офсетная.

Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 8,84. Тираж 100 экз. Заказ № 6901

Отпечатано в унитарном предприятии «ИВЦ Минфина», ЛП 02330/54 от 12.08.2013 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, 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) 250-12-00.

E-mail: journal@unibel.by.

<http://dt.giac.by>

© Digital Transformation, 2021



# СОДЕРЖАНИЕ

№ 2 (15), июнь, 2021

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

- 5** Информационно-образовательное пространство экономического вуза в условиях цифровизации  
**Автор:** О. В. Гулина
- 13** Экономическая интеграция в рамках концепции устойчивого развития  
**Авторы:** Н. М. Кейно, А. Н. Сасинович
- 21** Этапы жизненного цикла стартапа: сущность, признаки, проблемы и пути их предотвращения  
**Автор:** И. В. Марахина
- 32** Оценка изменчивости параметров финансового состояния Республики Беларусь в 2000-2020 годах  
**Автор:** В. В. Скрундь

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- 45** Анализ и синтез маршевых тестов запоминающих устройств  
**Авторы:** В. Н. Ярмолик, В. А. Леванцевич, Д. В. Деменковец
- 56** Оценка состояния технических объектов по параметрам вибрационного сигнала  
**Авторы:** П. Ю. Бранцевич, Н. В. Лапицкая, В. А. Леванцевич, Д. В. Деменковец
- 64** Готовность учреждений высшего образования к цифровой трансформации процессов  
**Авторы:** А. Н. Марков, С. А. Мигалевич

# CONTENTS

No 2 (15), June, 2021

## ECONOMIC SCIENCES

- 5** Information and Educational Space of an Economic University under the Digitalization  
**Author:** O. V. Gulina
- 13** Economic Integration Within the Concept of Sustainable Development  
**Authors:** N. M. Keino, A. N. Sasinovich
- 21** Stages of a Startup Lifecycle: Essence, Signs, Problems and Ways to Prevent Them  
**Author:** I. V. Marakhina
- 32** Evaluation of the Variability of Parameters of the Financial Status of the Republic of Belarus in 2000-2020  
**Автор:** V. V. Skrund

## TECHNICAL SCIENCES

- 45** Analysis and Synthesis March Memory Tests  
**Authors:** V. N. Yarmolik, V.A. Levantsevich, D. V. Demenkovets
- 56** Assessment of the Technical Objects State by the Parameters of the Vibration Signal  
**Authors:** P. J. Brancevich, N. V. Lapitskaya, V. A. Levantsevich, D. V. Demenkovets
- 64** Readiness of Higher Education Institutions for Digital Transformation Processes  
**Authors:** A. N. Markov, S. A. Migalevich

## Информационно-образовательное пространство экономического вуза в условиях цифровизации\*

**О. В. Гулина**, к. ф.-м. н., доцент, заместитель декана факультета экономики и менеджмента

E-mail: gulina@bseu.by

ORCID ID: 0000-0002-8262-9392

УО «Белорусский государственный экономический университет», пр-т Партизанский, д. 26, 220070, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В статье обобщены представления об информационно-образовательном пространстве, сформулированы его особенности для экономического вуза в условиях цифровой трансформации экономики, приведены ожидаемые положительные эффекты и перспективы создания и развития информационно-образовательного пространства на основе информационно-коммуникационных и цифровых технологий, а также возможные риски и угрозы цифровизации для участников образовательного процесса.

**Ключевые слова:** информационно-образовательное пространство вуза, цифровая экономика, цифровизация вуза

**Для цитирования:** Гулина, О. В. Информационно-образовательное пространство экономического вуза в условиях цифровизации / О. В. Гулина // Цифровая трансформация. – 2021. – № 2 (15). – С. 5–12.



© Цифровая трансформация, 2021

## Information and Educational Space of an Economic University under the Digitalization

**O. V. Gulina**, Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Associate Professor, Vice Dean of the Faculty of Economy and Management

E-mail: gulina@bseu.by

ORCID ID: 0000-0002-8262-9392

Belarus State Economic University, 26 Partizanski Ave., 220070 Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The paper summarizes the ideas about the educational information space, formulates its features for an economic university under the digital transformation of the economy, presents the expected positive effects and prospects for the creation and development of information and educational space based on information, communication and digital technologies, as well as possible risks and threats of digitalization for participants in the educational process.

**Key words:** information and educational space of the university, digital economy, digitalization of the university

**For citation:** Gulina O. V. Information and Educational Space of an Economic University under the Digitalization. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 2 (15), pp. 5–12 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

**Введение.** Наряду с технологическими аспектами, оказывающими непосредственное влияние на становление и развитие цифровой экономики, особое внимание уделяется человеческому капиталу. Так, например, при оценке уровня развития цифровой экономики на основе индекса международной цифровой конкурентоспособности, среди прочих показателей, формирующих фундамент циф-

ровой экономики, учитываются образование и профессиональная подготовка [1]. Как отмечается в статье Косенкова А. [2], «отсутствие достаточного количества квалифицированных кадров и недооценка роли развития цифровых компетенций среди населения» является одним из сдерживающих факторов развития цифровизации, устранить который призвана система образования [3].

\* Статья подготовлена при финансовой поддержке БРФФИ, грант Г20МС-020 от 4 мая 2020 г.

Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года [4] предусматривает цифровизацию системы образования в контексте повышения уровня цифровой грамотности населения с целью удовлетворения потребностей цифровой экономики в кадрах, владеющих навыками и профессиональными цифровыми компетенциями, которые относятся к определяющим компетенциям современных специалистов, на основе внедрения обучающих практик с использованием цифровых технологий как в системе основного, так и дополнительного образования, создания новых форматов обучения, актуализации содержания образовательных программ и методов обучения на I и II ступенях получения высшего образования.

Развитию процессов цифровизации образования, в том числе в экономическом вузе, будет способствовать подписанное 23 июня 2020 г. Соглашение о займе между Республикой Беларусь и Международным банком реконструкции и развития (проект «Модернизация высшего образования Республики Беларусь»), предполагающее создание и модернизацию современной учебно-образовательной среды в вузах, внедрение инновационных подходов и технологий обучения и преподавания, а также расширение преобразований в сфере управления и обеспечения качества образования, в том числе, посредством создания Национального агентства по обеспечению качества образования. Реализация мероприятий проекта позволит сформировать в белорусских университетах интегрированную инновационную среду обучения для подготовки конкурентоспособных специалистов цифровой экономики.

Практическое внедрение цифровых технологий, в том числе, и в образовательный процесс при подготовке будущих специалистов экономической сферы, является неотъемлемой частью реализации Государственной программы развития цифровой экономики и информационного общества на 2016–2020 годы, разработанной в соответствии со Стратегией развития информатизации в Республике Беларусь на 2016–2022 годы, согласно которой необходимо создать условия, содействующие трансформации сфер человеческой деятельности под воздействием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ).

В современных экономических условиях представители бизнеса и реального сектора экономики отмечают низкую эффективность традиционной системы обучения в вузе, в том числе и из-за специфики контингента студентов (поко-

ления Z) [5], и необходимость перевода образовательного процесса на «электронные рельсы», что в свою очередь, обусловило необходимость создания особого информационно-образовательного пространства (ИОП) в учреждениях высшего образования экономического профиля.

Кроме того, практическое внедрение цифровых технологий в образовательный процесс при подготовке будущих специалистов экономической сферы поможет обеспечить в будущем конкурентоспособность учреждений высшего образования экономического профиля Республики Беларусь на глобальном рынке образовательных услуг, позволит повысить его привлекательность, будет способствовать интеграции национальных вузов в международное научно-образовательное пространство и, как следствие, увеличению доли экспорта образовательных услуг.

**Основная часть.** Развитие цифровой экономики и информационного общества порождает необходимость своевременных и адекватных изменений в образовательном процессе при подготовке специалистов экономического профиля, которые подразумевают не только создание необходимой для реализации образовательной деятельности вуза ИТ-инфраструктуры, но и изменение содержания, а также внедрение альтернативных традиционным форм и методов обучения [6] с целью подготовки востребованных на рынке труда конкурентоспособных специалистов экономической сферы, обладающих не только фундаментальными знаниями в области экономики, но и необходимыми компетенциями в области практического применения ИКТ и специального программного обеспечения для решения прикладных задач и осуществления исследовательской деятельности, через развитие интеллектуального потенциала обучающегося.

Недостатки традиционных форм обучения ярко проявились в период пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19, под воздействием которой учреждения образования вынуждены были активно переходить к дистанционным формам работы, не имея времени на тщательную подготовку к новому формату образовательного процесса.

Следует отметить, что содержание образовательных программ экономических вузов сегодня формируется также под влиянием требований потенциальных работодателей будущих специалистов в области экономики, поскольку в настоящий момент времени происходит трансформация модели университета, возлагающая

на вуз не только образовательную и исследовательскую функции (согласно моделям «Университет 1.0» и «Университет 2.0» соответственно), но и функции по созданию инновационной продукции и коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности, предусмотренные моделью «Университет 3.0» – моделью «предпринимательского университета» (в частности, выполнение исследований по заказу организаций (предприятий), в том числе, в рамках подготовки дипломных работ и магистерских диссертаций). Дальнейшие преобразования университетов, в том числе и экономического профиля, предполагают возложение на вузы функций генератора новых знаний с максимальной капитализацией интеллектуального потенциала (модель «Университет 4.0»). Подробнее с моделями университетов и их роли в цифровой экономике можно ознакомиться, например, в исследовании Барабанова М.И., Трофимова В.В. и Трофимовой Е. В. – Цифровая экономика и «Университет 4.0» [7].

Таким образом, ИОП современного учреждения высшего образования должно обеспечивать необходимые условия для комплексного развития и полноценной реализации научно-исследовательской, инновационной и предпринимательской деятельности, а также качественной реализации учебной, методической, организационной, воспитательной и иных традиционных для университетов видов деятельности в соответствии с требованиями цифровой трансформации экономики, учитывая особенности поколения Z [8].

При этом ИКТ наряду с цифровыми технологиями представляют собой необходимые для эффективной реализации образовательных целей и задач вуза в условиях цифровой трансформации общества инструменты. Например, экономический вуз, деятельность которого осуществляется в соответствии с моделью «Университет 3.0» (или «Университет 4.0»), не может качественно реализовать свой потенциал без использования ИКТ и цифровых технологий. Вместе с тем, следует отметить, что ИКТ, как и цифровые технологии сами по себе не повышают качество образовательных продуктов и услуг. Более того, их внедрение влечет дополнительные финансовые затраты. Иными словами, современные технологии являются необходимым, но не достаточным условием цифровизации высшего экономического образования.

Поскольку модель «Университет 3.0» (или «Университет 4.0»), предполагает создание бизнес-среды, включающей такие субъекты инно-

вационной инфраструктуры, как например, научно-технологические парки, центры трансфера технологий, отраслевые лаборатории, бизнес-инкубаторы и т.п., а также командное выполнение высокотехнологичных проектов, то к университету, осуществляющую свою деятельность в соответствии с упомянутыми моделями, как к предприятию, может быть применен архитектурный подход, обеспечивающий согласованное управление развитием учреждения высшего образования в эпоху цифровой трансформации экономики на основе внедрения ИКТ [9]. Вместе с тем, в работе [10] справедливо отмечается, что в этом случае высшее учебное заведение интерпретируется как «объект рыночных реформ», высшее образование при этом приобретает статус услуги, а обучающийся становится потребителем этой услуги. В борьбе за экономическую эффективность образовательной деятельности высшее образование приобретает массовый характер, что отрицательным образом сказывается на качестве подготовки специалистов. Кроме того, под угрозой могут оказаться и фундаментальные исследования, результаты которых не окупаются «здесь и сейчас». Как показали исследования [10], «излишняя коммерциализация знаний приводит к нивелированию значимости тех областей подготовки, которые не имеют коммерческого успеха» в настоящий момент времени. Но, как известно, ряд научных открытий и достижений могут начать приносить прибыль спустя десятилетия.

Таким образом, формируя ИОП, необходимо учитывать как перспективы, так и угрозы процесса цифровизации для каждого экономического вуза.

Единого подхода к определению понятия «информационно-образовательное пространство» не существует. ИОП рассматривается как педагогическая система [11], как многоаспектная целостная, социально-психологическая реальность [12], как единое пространство для интеграции основных направлений деятельности вуза на основе ИКТ [13], как набор баз данных и баз знаний [14], как составляющая часть «цифрового университета» [15], как отрасль с доступными преимуществами цифровизации и др. Вместе с тем, в интерпретации данного понятия разными авторами выделяются схожие компоненты и функциональные характеристики ИОП:

– основу ИОП в условиях цифровой трансформации общества составляют современные ИКТ, обеспечивающие организацию, хранение, обработку, передачу данных, информации, зна-

ний и информационных ресурсов, зафиксированных как на традиционных, так и на электронных носителях, а также взаимодействие всех субъектов образовательного процесса в режиме реального времени;

– ИОП – единая интеллектуальная система, интегрирующая образовательные ресурсы, технологии обучения, средства управления образовательным процессом, создавая условия для полноценной реализации личности, ее всестороннего развития, формирования общекультурных, цифровых и профессиональных компетенций, мотивацию для самосовершенствования с целью адаптации к изменяющимся условиям информационного общества в условиях цифровой трансформации экономики.

Иными словами, ИОП вуза призвано обеспечивать образовательную, научно-исследовательскую, воспитательную, учебно-методическую, организационную, управленческую и иные виды деятельности учреждения высшего экономического образования, а также осуществлять информационную функцию для всех субъектов образовательного процесса.

Необходимость создания и развития ИОП экономического вуза в период становления информационного общества и цифровой трансформации экономики обусловлена следующими ожидаемыми положительными эффектами:

– ИОП выступает открытой интеграционной интеллектуальной площадкой доступных информационных образовательных ресурсов, предоставляющей возможность совместной работы преподавателей и студентов над реализацией как учебных, так и реальных проектов, активно развивая тем самым практическую направленность обучения;

– ИОП позволит частично решить проблему отбора качественной, достоверной и объективной информации, необходимой студенту в процессе учебной деятельности, а также минимизировать информационную перегрузку обучающихся, связанную с избыточностью информационных потоков в силу возрастающей доступности информационных ресурсов глобальной сети;

– ИОП будет содействовать формированию «цифрового профиля компетенций» обучающегося и преодолению проблемы «цифрового неравенства» [10], благодаря построению «индивидуальной траектории обучения» [16], в том числе в контексте приобретения знаний, умений и навыков применения ИКТ для общеобразовательных, воспитательных и профессионально-

ориентированных целей и задач, позволяющей в полной мере реализовать личностно-ориентированный подход;

– ИОП позволит преподавателям-предметникам оперативно создавать персональную среду обучения дисциплине (подробнее с её возможностями и способами реализации можно ознакомиться, например, в работе [17]);

– ИОП может рассматриваться как пространство межличностного взаимодействия с особой корпоративной информационной культурой, формирующей информационную культуру будущего специалиста экономической сферы как одной из приоритетных задач системы высшего экономического образования;

– ИОП будет способствовать адаптации будущих специалистов экономической сферы к использованию «бесшовных» информационных систем на базе цифровых платформ, как следствию внедрения цифровых технологий в экономику и бизнес;

– ИОП позволит автоматизировать процесс самооценки обучающихся и наладить обратную связь, в том числе с позиции всесторонней оценки качества образовательных услуг, с последующей корректировкой образовательного процесса;

– ИОП упростит реализацию вузом дистанционного обучения и дополнительного образования;

– благодаря созданию ИОП учреждение высшего экономического образования упростит процессы взаимодействия как на внутреннем уровне, так и с внешним окружением вуза (актуальными и релевантными источниками информационных ресурсов – библиотеками и медиатеками, обновленными линейками соответствующих программных решений, используемых специалистами экономической сферы в профессиональной деятельности, что особенно востребовано при подготовке специалистов экономического профиля, межвузовское взаимодействие, коммуникации с ведомствами, взаимодействие с потенциальными работодателями – организациями-заказчиками кадров, родителями обучающихся и др.);

– обратная связь, реализуемая в ИОП, упростит процессы системы менеджмента качества вуза;

– фиксация результатов обучения каждого студента (оценки промежуточной, текущих и итоговой аттестаций, а также результаты выполнения контрольных работ по учебным дисциплинам, результаты управляемой самостоятельной



работы студента и т.п.), вовлеченности в образовательный процесс (посещение занятий) посредством ИОП позволит оперативно получать аналитическую информацию в разрезе учебных курсов, образовательных программ, специальностей (специализаций, направлений специальностей) для принятия грамотных управленческих решений на уровне кафедр, деканатов и иных структурных подразделений вуза;

– благодаря технологиям сетевого взаимодействия, реализованным в ИОП, к учебному процессу можно привлекать представителей реального сектора экономики, а также осуществлять взаимодействие с «корпоративными университетами» – учебными центрами, функционирующими на базе организаций и крупными провайдерами онлайн курсов;

– создание ИОП в перспективе упростит внедрение «умной кампусной карты» вуза;

– ИОП позволит формировать цифровую «копилку лучших практик» (в том числе, управленческих, образовательных, воспитательных, учебных и др.);

– ИОП содействует высвобождению аудиторного фонда вуза;

– ИОП вуза потенциально будет способствовать интеграции учреждения высшего образования в мировое информационно-образовательное пространство, что продиктовано присоединением Республики Беларусь к Болонскому процессу и иными процессами глобализации.

При этом в условиях текущего уровня развития информационного общества в Республике Беларусь при создании ИОП вузы могут столкнуться со следующими возможными проблемами:

– недостаточное погружение субъектов учреждения образования (в первую очередь, студентов, ППС, а также учебно-вспомогательного персонала) в ИОП, вследствие отсутствия потенциальных навыков работы с цифровыми технологиями, а также особенностей восприятия информации Z-поколением;

– отсутствие личностной заинтересованности обучающегося в информационных ресурсах ИОП в силу низкой мотивации (использование ИКТ само по себе не побуждает студентов к личностному росту и саморазвитию) или недостаточного уровня навыков использования ИКТ, препятствующей осмыслению информации с ее последующим преобразованием в неявные знания;

– недостаточная мотивация ППС для своевременной актуализации контента в соответствии

с динамикой развития технологий и цифровой экономики в целом;

– неготовность студентов к систематическому самосовершенствованию и развитию, основанному на самостоятельном поиске новых знаний с использованием ИОП;

– проблемы социализации студентов;

– затруднительна оценка качества приобретаемых студентами профессиональных компетенций (особенно в случае дистанционной формы контроля) без внедрения технологий искусственного интеллекта;

– возможное снижение качества образовательных услуг;

– недостаточная материально-техническая база вуза для дальнейшего развития сформированного ИОП;

– недостаточная нормативно-правовая база вуза для осуществления основных видов деятельности в условиях цифровизации высшего образования;

– возрастание расходов на создание ИТ-инфраструктуры вуза, в том числе, на приобретение необходимых программно-аппаратных комплексов, внедрение ИКТ, и обучение персонала по осуществлению профессиональной деятельности с применением новых технологий;

– сложности в обеспечении информационной безопасности ИОП.

Иные возможные риски цифровизации образования, связанные, прежде всего, с внедрением цифровых технологий, отражены, например, в работе [18].

В крупнейшем высшем учебном заведении экономического профиля Республики Беларусь УО «Белорусский государственный экономический университет» уже сделаны первые шаги по формированию ИОП. К ним относится действующая система дистанционного обучения, представление вуза в глобальной сети посредством сайта, аккаунтов в социальных сетях, развитая электронная библиотека, предоставляющая доступ к международным информационным ресурсам соответствующего содержания, внедренная система электронного документооборота, автоматизированная система управления «АСУ БГЭУ», разработанная под нужды университета, которая частично автоматизирует управленческую деятельность структурных подразделений (деканатов, студенческого отдела кадров и др. с формированием необходимой отчетности для руководителей). Вместе с тем, следует отметить локальную автоматизацию процессов управления, которая пока

ещё не в полной мере сопряжена с учебной деятельностью, планами работ кафедр, учебной нагрузкой преподавателей, взаимодействием с обучающимися и т.п. Иными словами, на данном этапе развития в УО «Белорусский государственный экономический университет» отсутствует единая цифровая платформа, обеспечивающая интеграцию всех направлений деятельности учреждения образования и всесторонне поддерживающая процессы цифровизации вуза.

Сегодня ближайшим перспективным направлением развития цифровизации высшего экономического образования видится развитие комбинированного (смешанного, гибридного) образования, соединяющего традиционные и онлайн-формы. По сути, апробация такого подхода частично была осуществлена в 2019-2020 учебном году в связи с распространением новой коронавирусной инфекции, и, в целом, подтвердила свою состоятельность.

На данный момент в мировой практике не существует единой универсальной системы цифровизации экономических университетов, доказавшей свою эффективность, вследствие чего процессы цифровизации образования должны осуществляться поэтапно в соответствии с Национальной стратегией развития Республики Беларусь и дорожной картой, индивидуально разработанной для отдельно взятого вуза, что позволит сохранить его уникальность и идентичность.

**Заключение.** ИОП вуза, функционирующее на основе современных технологий, является необходимым условием качественной подготовки

специалистов для цифровой экономики, открывающее новые перспективы и возможности как для вуза в целом, так и для отдельных участников образовательного процесса. Построение ИОП в условиях цифровой трансформации должно осуществляться в соответствии с особенностями отдельно взятого вуза.

С целью минимизации возможных рисков реализации проекта по созданию и эффективной эксплуатации ИОП следует оценить готовность административно-управленческого персонала вуза, ППС и учебно-вспомогательного персонала к активному использованию ИКТ в повседневной профессиональной деятельности. Руководство вуза должно быть готово к инновационным методам управления, а ППС, как минимум, – к формированию контента ИОП, включая методические и дидактические материалы, с учетом специфики вуза.

Важная роль в создании ИОП на основе современных технологий, его эффективной эксплуатации и сопровождении отводится ИТ-отделу вуза, вследствие чего целесообразно также оценить готовность ИТ-подразделения учреждения образования к реализации этих процессов.

Включая в себя информационный, технический, учебно-методический, организационный, коммуникативный и др. аспекты в системной совокупности, ИОП позволяет построить в вузе «цифровую образовательную систему», способную вывести подготовку специалистов экономического профиля на новый уровень в соответствии с требованиями цифровой экономики.

## Список литературы

1. Bris, A. The IMD World Digital Competitiveness Ranking / A. Bris, J. Caballero, Ch. Cabolis // IMD [Electronic resource]. – 2019. – Mode of Access: <https://www.imd.org/research-knowledge/articles/the-imd-world-digital-competitiveness-ranking>. – Date of access: 10.08.2020.
2. Косенков, А. «IT-страна»: обратная сторона цифровизации Беларуси // Евразия эксперт [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа <https://eurasia.expert/it-strana-obratnaya-storona-tsifrovizatsii-belarusi>. – Дата доступа: 10.08.2020.
3. Дивина, Т.В. Возможности и перспективы использования цифровой трансформации образовании / Т.В. Дивина, Э.В. Маймина // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. – 2020. – № 55. – С. 38–48.
4. Концепция Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года // Официальный сайт Министерства экономики Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/Kontseptsija-na-sajt.pdf>. – Дата доступа: 10.08.2020.

5. Ковалев, М.М. Цифровая экономика – шанс для Беларуси : моногр. / М.М. Ковалев, Г.Г. Головенчик. – Минск : Изд. центр БГУ, 2018. – 327 с.
6. Король, А. Цифровая трансформация изменит содержание, формы и методы образования – ректор БГУ // Официальный сайт Белорусского телеграфного агентства [Электронный ресурс]. – 2018.– Режим доступа: <https://www.belta.by/opinions/view/tsifrovaja-transformatsija-izmenit-soderzhanie-formy-i-metody-obrazovanija-ректор-bgu-6463>. – Дата доступа: 11.08.2020.
7. Барабанова, М.И., Цифровая экономика и «Университет 4.0» / М.И. Барабанова, В.В. Трофимов, Е.В. Трофимова // Журнал правовых и экономических исследований. – 2018. – № 1. – С. 178–184.
8. Ковалев, М.М. Образование для цифровой экономики / М. М. Ковалев // Цифровая трансформация. – 2018. – № 1. – С. 37–42.
9. Долганова, О.И. Многокритериальная оценка готовности вуза к цифровой трансформации / О.И. Долганова, М.В. Мирзоян // Креативная экономика. – 2019. – Т. 13, № 4. – С. 811–826.
10. Абрамова, М.А. Цифровизация образования в условиях цифрового неравенства / М.А. Абрамова, М. Фарника // Профессиональное образование в современном мире. – 2019. – Т. 9, № 4. – С. 3167–3175.
11. Назаров, С.А. Педагогические условия проектирования личностно-развивающей информационно-образовательной среды технического вуза: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08 / С.А. Назаров. – Ростов-н/Д.: ГОУ ВПО «Ростовский государственный педагогический университет», 2006. – 182 с.
12. Федоров, А.В. Словарь терминов по медиаобразованию, медиапедагогике, медиаграмотности, медиакомпетентности / А.В. Федоров. – Таганрог: Изд-во Таганрог. гос. пед. ин-та, 2010. – 64 с.
13. Никитина, Е.Ю. Информационно-образовательное пространство вуза как фактор подготовки компетентного выпускника / Е.Ю. Никитина, С.А. Курносова // Вестник ЧГПУ. – 2012. – № 4. – С. 148–163.
14. Борулава, Г.А. Внутривузовское электронное пространство на основе новых образовательных технологий / Г.А. Борулава // Высшее образование в России. – 2014. – № 12. – С. 83–89.
15. Богуш, В.А. Три компонента цифрового университета / В.А. Богуш [и др.] // Цифровая трансформация образования : сб. материалов 2-й Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 27 марта 2019 г. / А. Б. Бельский (отв. ред.). – Минск : ГИАЦ М-ва образования, 2019. – С. 72–75.
16. Гунина, И.А. Применение инновационных технологий обучения персонала в условиях цифровизации экономики / И.А. Гунина, И.В. Логунова, В.Ю. Пестов // Управление инновационно-инвестиционной деятельностью: к 80-летию юбилею профессора Ю.П. Анисимова : сб. мат. Всероссийской юбилейной науч.-практ. конф. – Воронеж: из-во Воронежского государственного технического университета, 2019. – С. 58–61.
17. Стариченко, Б.Е. ИКТ в образовании / Б.Е. Стариченко, Л.В. Сардак, Е.Б. Стариченко // Педагогическое образование в России. – 2017. – № 6. – С. 130–139.
18. Стрекалова, Н.Б. Риски внедрения цифровых технологий в образование / Н.Б. Стрекалова // Вестник Самарского университета. История, педагогика, филология. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 84–88.

## References

1. Bris A., Caballero J., Cabolis Ch. The IMD World Digital Competitiveness Ranking. IMD, 2019. Available at: <https://www.imd.org/research-knowledge/articles/the-imd-world-digital-competitiveness-ranking/> (accessed: 10.08.2020).
2. Kosenkov A. "IT-country": the reverse side of digitalization in Belarus. Evrazija jekspert [Eurasia expert], 2019. Available at: <https://eurasia.expert/it-strana-obratnaya-storona-tsifrovizatsii-belarusi/> (accessed: 10.08.2020) (In Russian).
3. Divina T.V., Majmina Je.V. Opportunities and prospects for using digital transformation in education. Aktual'nye problemy jekonomiki i menedzhmenta [Actual problems of economics and management], 2020, no. 55, pp. 38–48 (In Russian).
4. Konceptcija Nacional'noj strategii ustojchivogo razvitiya Respubliki Belarus' na period do 2035 goda [Concept of the National Strategy for Sustainable Development of the Republic of Belarus for the period up to 2035] Available at: <https://www.economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/Kontseptsija-na-sajt.pdf>. (accessed: 10.08.2020) (In Russian).
5. Kovalev M.M., Golovenchik G.G. Cifrovaja jekonomika – chans dlja Belarusi: monografija [Digital Economy – a Chance for Belarus: Monograph]. Minsk : Belarusian St. Univ. Publ., 2018. 327 p. (In Russian).
6. Korol' A. Cifrovaja transformacija izmenit sodержanie, formy i metody obrazovanija – rektor BGU [Digital transformation will change the content, forms and methods of education - rector of BSU], 2018. Available at: <https://www.belta.by/opinions/view/tsifrovaja-transformatsija-izmenit-soderzhanie-formy-i-metody-obrazovanija-ректор-bgu-6463/> (accessed: 11.08.2020) (In Russian).
7. Barabanova M.I., Trofimov V.V., Trofimova E.V. Digital Economy and "University 4.0". Zhurnal pravovyh i jekonomicheskijh issledovanij [Journal of Legal and Economic Research], 2018, no. 1, pp. 178–184 (In Russian).
8. Kovalev M.M. Education for the digital economy. Cifrovaja transformacija [Digital transformation], 2018, no. 1, pp. 37–42 (In Russian).
9. Dolganova O.I., Mirzozan M.V. Multi-criteria assessment of the university's readiness for digital transformation. Kreativnaja jekonomika [Creative economy], 2019, Vol. 13, no. 4, pp. 811–826 (In Russian).
10. Abramova M.A., Farnika M. Digitalization of education in the context of the digital divide. Professional'noe obrazovanie

- v sovremennom mire [Professional education in the modern world], 2019, Vol. 9, no. 4, pp. 3167–3175 (In Russian).
11. Nazarov S.A. Pedagogicheskie uslovija proektirovanija lichnostno-razvivajushhej informacionno-obrazovatel'noj sredy tehničeskogo vuza: avtoreferat dissertacii kandidata pedagogičeskix nauk: 13.00.08 [Pedagogical conditions for the design of a personality-developing informational and educational environment of a technical university: abstract of the dissertation of the candidate of pedagogical sciences: 13.00.08]. Rostov-on-Don: St. ed. Inst. of Higher Prof. Ed. "Rostov State Pedagogical University", 2006. 182 p. (In Russian).
  12. Fedorov A.V. Slovar' terminov po mediaobrazovaniju, mediapedagogike, mediagramotnosti, mediakompetentnosti [Glossary of terms on media education, media pedagogy, media literacy, media competence]. Taganrog: Publ. house of the Taganrog St. Pedagog. Inst., 2010. 64 p.
  13. Nikitina E.Ju., Kurnosova S.A. Information and educational space of a university as a factor in the preparation of a competent graduate. Vestnik CGPU [Bulletin of the Chelyabinsk State Pedagogical University], 2012, no. 4, pp. 148–163 (In Russian).
  14. Berulava G.A. Intra-university electronic space based on new educational technologies. Vysshee obrazovanie v Rossii [Higher education in Russia], 2014, no. 12, pp. 83–89 (In Russian).
  15. Bogush V.A. Three components of a digital university. Cifrovaja transformacija obrazovanija : sbornik materialov 2-j Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii [Digital transformation of education: collection of articles. materials of the 2nd International Scientific and Practical Conference], – Minsk: GIAC Ministerstva obrazovanija Respubliki Belarus, 2019, pp. 72–75 (In Russian).
  16. Gunina I.A., Logunova I.V., Pestov V.Ju. Application of innovative technologies for personnel training in the context of digitalization of the economy. Upravlenie innovacionno-investicionnoj dejatel'nost'ju: k 80-letnemu jubileju professora Ju.P. Anisimova : sbornik materialov Vserossijskoj jubilejnoj nauchno-praktičeskoj konferencii [Management of innovation and investment activities: to the 80th anniversary of Professor Yu.P. Anisimova: collection of materials of the All-Russian jubilee scientific and practical conference]. – Voronezh: Voronezh State Technical University Publishing House, 2019, pp. 58–61 (In Russian).
  17. Starichenko B.E., Sardak L.V., Starichenko E.B. Information and communication technologies in education. Pedagogičeskoe obrazovanie v Rossii [Pedagogical education in Russia], 2017, no. 6, pp. 130–139 (In Russian).
  18. Strekalova N.B. Risks of introducing digital technologies into education. Vestnik Samarskogo universiteta. Istorija, pedagogika, filologija [Samara University Bulletin. History, pedagogy, philology], 2019, Vol. 25, no. 2, pp. 84–88 (In Russian).

*Received: 10.09.2020*

*Поступила: 10.09.2020*

## Экономическая интеграция в рамках концепции устойчивого развития

**Н. М. Кейно**, аспирант

E-mail: nkeyno@mail.ru

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

**А. Н. Сасинович**, аспирант

E-mail: anietta1@mail.ru

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

**Аннотация.** В статье анализируется экономическая интеграция, раскрывается ее экономическая, социальная и экологическая сущности в рамках концепции устойчивого развития, прослеживаются экономические отношения, возникающие в целях обеспечения экологической безопасности. Развитие устойчивых экономических связей между странами, углубление международного разделения труда является одним из основных вызовов экологической безопасности. Говоря о процессах экономической интеграции невозможно обойти стороной развитие информационных технологий, которое происходит все более быстрыми темпами и напрямую влияет на взаимоотношения между странами. Таким образом, цифровая трансформация оказывает влияние на интеграционное взаимодействие и позволяет его участникам совместно решать экономические, социальные и экологические проблемы вне зависимости от наличия государственных границ между странами.

**Ключевые слова:** устойчивое развитие, кластерная кооперация, экономическая интеграция, оценка ущерба, экологические императивы

**Для цитирования:** Кейно, Н. М. Экономическая интеграция в рамках концепции устойчивого развития / Н. М. Кейно, А. Н. Сасинович // Цифровая трансформация. – 2021. – № 2 (15). – С. 13–20.



© Цифровая трансформация, 2021

## Economic Integration Within the Concept of Sustainable Development

**N. M. Keino**, graduate student

E-mail: nkeyno@mail.ru

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

**A. N. Sasinovich**, graduate student

E-mail: anietta1@mail.ru

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

**Abstract.** In this paper, the author analyzes economic integration, reveals its economic, social and environmental matters in the realm of sustainable development paradigm, traces the economic relations that arise in order to ensure environmental safety. The development of sustainable economic relations among countries, the deepening of the international division of labor, as one of the main tasks of environmental security. It is shown that integration interaction allows its participants to jointly solve the most acute economic, social and environmental problems. The result of the analysis of integration cooperation strategies is the allocation of the EU as a standard for regional economic and political interaction processes.

**Key words:** sustainable development, cluster cooperation, economic integration, evaluation of damage, environmental imperatives

**For citation:** Keino N. M., Sasinovich A. N. Economic Integration Within the Concept of Sustainable Development. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 2 (15), pp. 13–20 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

**Введение.** В настоящее время разработка теоретических, методологических и практических представлений по формированию механизма влияния экономической интеграции на сбалансированное развитие экономики, общества и природы в контексте концепции устойчивого развития является особенно актуальным в условиях растущей глобализации мирового хозяйства. На современном этапе степень вовлеченности государств в процессы глобализации очень неравномерна, так как изначально государства не имеют экономического равенства и уровня индустриального развития. По сути, эта неравномерность и определяет глобальные экономические диспропорции, которые, в свою очередь, проявляются в виде целого ряда глобальных экологических проблем. В связи с обострением глобальной экологической проблемы, задачи, стоящие перед интеграционными объединениями стран в области окружающей среды, должны основываться на сбалансированной долгосрочной стратегии.

Экологизация международных отношений способствовала активному внедрению в политическую сферу общества экологического фактора, сделав его неотъемлемым атрибутом социально-политических институтов локального, регионального и глобального уровней. Система международных отношений – это динамическая система, и она всегда находится в развивающемся состоянии. Реализация стратегии выхода из экологического кризиса и перехода к устойчивому развитию всего мирового сообщества возможна лишь на основе единства природоохранных действий всех государств. Экологический фактор не знает государственных границ, он единый для всех стран. Все основные слагаемые глобального экологического кризиса (парниковый эффект, истощение озонового слоя, деградация почв, радиационная опасность, трансграничный перенос загрязнений, исчерпание энергетических и других ресурсов недр планеты, и т.п.) становятся экологическими императивами и определяют новые нормы и правила взаимодействия всех государств.

Целью исследования является анализ системы экономической интеграции как одного из инструментов предотвращения вредного воздействия на окружающую среду в мировом сообществе. Так как Европейский Союз – крупнейший регион, влияющий на глобальную экологическую политику, безопасная и надежная экологическая политика на его восточных границах имеет большое значение для ЕС. При анализе кластеров как одного из инструментов социально-экономи-

ческого и территориального развития стран использовались различные источники: материалы англоязычных и отечественных изданий. Для достижения поставленной цели авторы сформулировали следующие задачи:

- определить влияние экономической интеграции на эффективное экономическое развитие экономик, входящих в нее стран, а также развитие промышленных коопераций и производственных цепочек;

- определить влияние экономической интеграции на социальную и институционально-политическую устойчивость (устойчивое развитие национальных обществ, снижение внутрирегиональных конфликтов);

- определить роль экономической интеграции в сохранении природного капитала.

Объектом исследования является сфера экономической интеграции мирового сообщества и Европейского союза. Предметом исследования – совокупность международных экономических отношений и инструментов в форме экономической интеграции, определяющих долгосрочную стратегию устойчивого развития.

Научная новизна проводимого исследования заключается в наличии в мировом сообществе промышленных объектов, представляющих потенциальную экологическую опасность.

Авторы выдвигают гипотезу о том, что межстрановые кластеры, создаваемые внутри интеграционного объединения, способствуют созданию производств с учетом целей концепции устойчивого развития.

Высокая приоритетность экологического фактора в международных отношениях постоянно возрастает. В рамках проводимого исследования данной тематики, авторы отмечают различных ученых. Зарубежные ученые К.П. Балде и В. Форти рассматривали глобальное партнерство по статистике электронных отходов [10]. Знаменитый ирландский ученый Фрэнк МакДональд описал основы и базисы европейской экономической интеграции [4]. Российский ученый Ковалев Ю.Ю. затронул современные проблемы развития территориальных систем и обосновал необходимость перехода к концепции устойчивого развития [11]. Строганов И.А. выявил тенденции возникновения региональных объединений стран с целью обеспечения доступа к необходимым ресурсам, сделал попытку выстроить концепцию устойчивого управления региональной интеграцией стран [18]. Изучению влияния интеграции с ЕС на экологические интересы регулируемых от-

раслей посвящены работы Лилианы Андоновой. Она отмечает, что различия во внутренних интересах страны сильно влияют на ход реформ и принятие стандартов ЕС.

Международное разделение труда, которое явилось одной из причин стремительного развития современной мировой экономики, а также процессов, происходящих в ней, положило основу для начала процесса международной экономической интеграции. В настоящий момент наблюдается, что все большее влияние на мировую экономику оказывают не какие-то определенные страны, а их группы, функционирующие на базе межгосударственных договоров и соглашений, создавшие торгово-экономические союзы. Именно экономические интеграционные группировки становятся главными субъектами мировой экономики, которые контролируют все большую долю мировой экономики и создают сильные промышленные и производственные цепочки на базе международного разделения труда. Данные производственные цепочки позволяют увеличивать эффективность производства: уменьшать издержки, а также максимизировать производительность [16].

Международная экономическая интеграция представляет собой процесс сближения отдельных национальных хозяйственных систем, который является осознанным и направляемым, однако в то же время имеющим потенциал саморегулирования и развития. В базисе такого экономического процесса, как правило, лежит интерес каждого из хозяйствующих экономических субъектов, которые входят в определенную интеграционную группировку [14].

Однако, с развитием общества и мировой экономики, возникают новые проблемы и вызовы перед лицом человечества, которые ставят под угрозу его будущее. Экологические, экономические и социальные проблемы, а также возможные пути их решения находят свое отражение в концепции устойчивого развития. Данная концепция является реакцией общества на глобальные вызовы, которые ставят под вопрос эффективность и «безвредность» для будущих поколений существующую социально-экономическую систему, также она рассматривает современные подходы экономического и социального развития. Гру Харлем Брундтланд в докладе ООН по окружающей среде и развитию сформировала наиболее четкое определение целей устойчивого развития: «удовлетворять потребности нынешних поколений, не ставя под угрозу воз-

можности будущих поколений удовлетворить свои потребности» [2]. Устойчивость общественного развития достигается путем гармоничного развития человечества по трем взаимосвязанным направлениям: социальное, экологическое и экономическое [11].

Международное сотрудничество в области охраны окружающей среды регулируется международным экологическим правом, в основе которого лежат общепризнанные принципы и нормы. Важнейший вклад в становление принципов устойчивого развития внесли Стокгольмская конференция ООН по проблемам окружающей человека среды (1972 г.), провозгласившая 5 июня Всемирным днем окружающей среды. На этом международном форуме впервые обсуждалась концепция устойчивого развития, которая в настоящее время является наиболее популярной концепцией развития человечества [9]. На конференции была создана Стокгольмская декларация, установившая 26 принципов сохранения окружающей среды. Главным примером использования концепции устойчивого развития и внедрения ее в жизнь путем имплементации целей устойчивого развития в цели функционирования экономической интеграции является Европейская концепция устойчивого развития [18]. Она строится на основе глобальной концепции устойчивого развития, принятой в 1987 г. и выводах, к которым пришли на Конференции по окружающей среде и развитию в 1992 г. в Бразилии (г. Рио-де-Жанейро). Основой концепции является то, что любая экономическая деятельность имеет свои пределы, при выходе за рамки которых дальнейшее экономическое развитие находится под угрозой, а сама концепция призвана регулировать хозяйственную деятельность национальных государств с целью недопущения ее выхода за «пределы дозволяемого», что принесет больший вред, чем пользу для дальнейшего развития европейского общества и всего мира.

Договор о Европейском союзе от 13 декабря 2007 г. указывает о важности устойчивого развития европейской интеграции. Стоит отметить, что цели устойчивого развития ЕС находятся в экономическом разделе договора. Так, в пункте 3 статьи 3, говорится: «Европейский союз создает внутренний рынок. Он старается обеспечить устойчивое развитие Европы на основе сбалансированного экономического роста и стабильности цен, наличие в высокой степени конкурентоспособной социальной рыночной экономики, стремящейся к полной занятости и социальному прогрессу, а

также высокий уровень охраны и улучшения качества окружающей среды. Он способствует научно-техническому прогрессу» [8]. Одним из примеров объединения усилий стран для достижения целей устойчивого развития и предотвращения вредного воздействия на окружающую среду является Парижское соглашение в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Парижское соглашение регулирует меры по снижению содержания углекислого газа в атмосфере и включает в себя долгосрочный план по скорейшему снижению выбросов парниковых газов. Данное соглашение можно рассматривать как начальный этап внедрения энергосберегающих технологий.

Большое значение в контексте целей устойчивого развития, зеленой экономики, эффективности использования ресурсов, устойчивого потребления и производства, изменения климата и многих других политических инициатив имеет статистика отходов. Особое внимание уделяется переработке и использованию отходов и их утилизации, использование отходов для выработки энергии, а также вредным отходам. Отходы отличаются от других торгуемых товаров, поскольку цена отходов в международной торговле зависит от технологического прогресса их переработки, а также стоимости цен на природные сырьевые ресурсы. Так, стимулирующим фактором в торговле отходами выступают нехватка собственных природных ресурсов стран, недостаток мощностей по переработке отходов во вторичное сырье и узкость данного рынка вторичного сырья. Организация сбора и управления потоками отходов в странах ЕС является национальной целью, направленной на максимальное извлечение полезных фракций в качестве вторичных ресурсов и последующее их вовлечение в производственный цикл. Однако глобальная торговля отходами будет иметь положительный эффект только в случае безопасных процессов и объектов переработки, что предотвращает отравление окружающей среды. Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением является международным договором, регулирующим транснациональное перемещение опасных отходов [9].

После проведения Парижской Конференции по окружающей среде мировое сообщество всерьез задумалось над использованием возобновляемых источников энергии не только, как одного из способов минимизации ухудшения экологической ситуации в мире, но и как средства для развития энергоэффективного сотруд-

ничества между странами и создания «зеленых» цепочек стоимостей и кластерных коопераций. Так, инвестиции в развитие возобновляемых источников энергии в 2015 году, когда была проведена Конференция, достигли 323 млрд. долларов США [6]. В 2019 году данные инвестиции составили примерно 302 млрд. долларов США, что уступает показателю 2015 года, однако на 2 % превышает инвестиции 2018 года. Данные по странам, осуществляющих инвестирование в возобновляемые источники энергии представлены на Рисунке 1 [3].

Китай является лидером в инвестировании возобновляемых источников энергии, с суммой инвестиций в 83,4 млрд. долларов США. На втором и третьем месте по объему инвестиций находятся США (55,5 млрд. долларов США) и Япония (16,5 млрд. долларов США) соответственно. Остальные выбранные страны вместе инвестировали 219,2 миллиарда долларов США на альтернативные источники энергии. Таким образом, на долю трех лидирующих стран пришлось примерно 71% от общего объема инвестиций.

По разным данным, сегодня от 60% до 80% мировой торговли происходит в рамках глобальных цепочек стоимости, которые подразумевают осуществление различных фаз производства одного и того же товара на территории разных стран [12]. Торговля используется в качестве ключевой меры интеграции в ЕС. Доля внутрирегиональной торговли является показателем открытости и единения стран-участников в ЕС. Данный показатель в ЕС в 2018 г. составил почти 65% [13]. Таким образом, наличие интеграционной группировки, в которой отменены всевозможные барьеры в торговле между ее участниками: нет таможенных пошлин и внутренних процедур по таможенной очистке товара, отсутствуют нетарифные меры регулирования торговли, введены единые технические регламенты и стандарты к товарам – способствует снижению транзакционных издержек и эффективному международному разделению труда, где товар производится с наименьшими издержками и конкурентными преимуществами (так как процесс контроля качества осуществляется на каждом этапе производства). Так, более трех четвертых частей и компонентов экспорта ЕС поступают из европейских стран. ЕС является крупнейшим игроком на мировой торговой арене. Согласно статистической службе Европейского Союза, доля импорта в ЕС в 2010 году составляла 1471 млрд. евро, а экспорта 1436 млрд. евро. В 2019 году доля импорта уже



## Размер инвестиций (млрд. долларов США) в 2019 г.

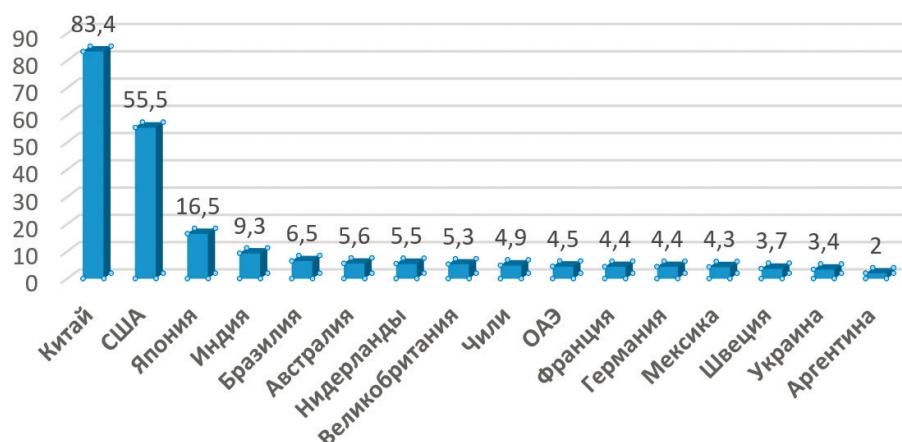


Рис. 1. Размер инвестиций в возобновляемые источники энергии по странам в 2019 г.

Источник: [3]

Fig. 1. Investment in renewable energy by country in 2019

Source: [3]

составила 1935 млрд. евро, а экспорта 2132 млрд. евро. Таким образом, наблюдается существенное изменение торгового баланса.

Германия является основным субъектом, который участвует в европейской цепочке создания добавленной стоимости. Это связано с тем, что Германия имеет достаточно высокий уровень импорта деталей и составных частей для своей автомобильной отрасли из стран Центральной и Восточной Европы, которые входят в ЕС. Так, экспорт из Венгрии, Польши, Словакии и Чехии в Германию составлял от 20 до 30% всего экспорта этих стран уже на момент вступления этих стран в ЕС, которое произошло в 2004 году. Также стоит отметить и большой процент импорта в эти страны из Германии и в другие страны ЕС, что говорит об эффективной производственной кооперации и создании производственных цепочек [7]. В 2019 году Германия была крупнейшим экспортером в ЕС пяти ведущих групп экспортных товаров: машин и оборудования, автомобилей, фармацевтических товаров, химических продуктов, а также компьютеров, электронных и оптических продуктов.

Важнейшей последней инициативой, которая направлена на достижение целей устойчивого развития, где цифровым технологиям отводится одно из центральных мест, является Зеленый пакт для Европы (EU Green Deal). Зеленый пакт охватывает все секторы экономики: транспорт, энергетику, сельское хозяйство, строительство и т. д., что открывает широкие возможности для применения новейших цифровых технологий. Данный

пакт подтверждает нацеленность Европейского Союза на решение климатических и экологических проблем на внутреннем и международном уровнях. Согласно п. 2.1.3 данного пакта: «Цифровые технологии являются решающим фактором для достижения целей устойчивого развития EU Green Deal во многих различных секторах. Цифровизация также открывает новые возможности для дистанционного мониторинга загрязнения воздуха и воды или для мониторинга и оптимизации использования энергии и природных ресурсов. В то же время Европе нужен цифровой сектор, в основе которого лежит устойчивость». [4].

Так, Зеленый пакт для Европы будет содействовать повышению энергоэффективности и показателей экономики замкнутого цикла. Цифровизация экономики, в свою очередь, сможет содействовать повышению данных показателей за счет лучшего доступа к информации.

В 1990-х годах ЕС начал активно продвигать кластерный подход регионального экономического развития, что означает активное внедрение инноваций в производственный процесс. Данный подход тесного сотрудничества производственных компаний и научной среды (университетов) позволил стимулировать инновационное развитие промышленного производства в ЕС, что приводит к повышенной конкурентоспособности европейских товаров из-за применения при производстве последних достижений науки и техники и, тем самым, улучшения качества товара при снижении его себестоимости. Однако, стоит отметить, что без государственного вмешательства

кластерная структура не могла бы иметь такой успех в своем развитии, так как именно оно выступало тем посредником, который способствует появлению кластеров путем создания благоприятных условий для их функционирования (прямое финансирование, облегчение налогообложения, целевые дотации и т.д.) [5].

В настоящий момент происходит новый этап развития кластерного производства в ЕС — межстрановая межкластерная кооперация, которая в большей степени нацелена на обмен опытом и знаниями, а также ставит своей целью стать площадкой для поиска новых рынков сбыта и новых надежных партнеров. Кластеры уделяют особое внимание устойчивости, а именно тому, что в себя «включает» добавленная стоимость и как она может быть создана с экологической, экономической и социальной сторон. Притом имеется в виду не создание устойчивых конкурентных преимуществ, а разрешение вопросов в социальной и экологической жизни общества путем использования бизнес-моделей, построенных на основе целей содействия устойчивому развитию (соблюдения баланса и взаимоинтеграции экономической, экологической и социальной составляющих продукта) [14]. Корпоративная социальная ответственность лежит в основе построения подобных бизнес-моделей, хоть она и рассматривает производство товаров (предоставление услуг) также с социальной (удовлетворение персонала), экономической (качество продукта) и экологической (снижение влияния бизнеса на окружающую среду) точек зрения. Ее отличием от концепции устойчивого развития является то, что корпоративная социальная ответственность направлена на краткосрочные потребности заинтересованных лиц, тогда как концепция устойчивого развития — это долгосрочные цели затрагивающие несколько поколений [17].

Европейские кластерные программы преимущественно финансируются национальными государствами и поэтому являются национальными кластерами, однако в последнее время усилилось финансирование трансграничных кластерных программ, и за счет средств ЕС финансируется каждая пятая кластерная инициатива ЕС. Важную роль в достижении экологической безопасности здесь играют экологические стандарты. Экологические стандарты, установленные Европейским законодательством, включают точные параметрические концентрации загрязняющих веществ и способствуют защите окружающей среды [5].

Стоит отметить, что наличие в ЕС сильных наднациональных органов благотворно влияет на развитие межстрановой кооперации производств. При этом наднациональные органы ЕС не ставят целью усиление процессов кооперации внутри Союза, однако Европейская Комиссия, проводя политику по устранению барьеров в торговле, получению равного доступа всех стран к инвестициям, инновациям и знаниям, тем самым подталкивает компании различных кластеров для усиления взаимодействия друг с другом, с университетами, научными центрами в разных частях Европейского Союза. Особенно повышается качество работы кластеров наименее развитых стран ЕС и их возможностям по доступу к инновациям и дальнейшему успешному развитию.

**Заключение.** Одной из стратегических задач Европейского Союза является повышение уровня безопасности, в том числе экологической, для всех его государств-участников в равной мере. ЕС усилил свою экологическую политику посредством программ действий по охране окружающей среды. В седьмой программе действий ЕС заявляет о своем намерении стать глобальным экологическим игроком и в будущем. Экологическая политика ЕС сосредоточена на всех аспектах экологических проблем, таких как загрязнение воздуха, загрязнение воды, изменение климата, рециркуляция, защита природных ресурсов, использование возобновляемых источников энергии. Такой подход к экологическим вопросам доказывает, что ЕС разрабатывает наиболее комплексную политику в этой области.

Сбалансированность системы экологической безопасности в целом означает определение долгосрочных стратегических приоритетов. Экологическая безопасность, что следует из определения данного понятия, помогает снизить экологический риск и повысить общую производительность в экономике, что способствует экономическому росту.

Создание межстрановых кластеров внутри ЕС помогает уменьшить различия в социально-экономическом развитии между странами-участниками интеграции, а также предоставляет доступ наименее развитым странам ЕС к инновациям, что в свою очередь благоприятно сказывается на «разумном» производстве (максимальное использование альтернативных преимуществ и снижение издержек при производстве), что делает цели концепции устойчивого развития более достижимыми.

Сильные институты ЕС позволяют прийти к единому видению будущего развития всех стран, которые входят в интеграцию и препятствуют возникновению конфликтов внутри ЕС.

Авторы делают следующие выводы:

- в разрезе влияния экономической интеграции существует потребность в дополнительных проектах в области экономической интеграции, последовательных нормах и стандартах, с тем, чтобы страны могли выходить на новый уровень развития в рамках достижения целей устойчивого развития путем создания мощных производственных цепочек и усиления промышленной кооперации между странами, входящих в интеграцию;

- целесообразна более глубокая экономическая интеграция стран-участниц Европейского Союза на пути достижения целей экологической безопасности для устойчивого развития национальных обществ, а также более слаженная и прозрачная работа наднациональных институтов для минимизации конфликтов между странами;

- надлежащее введение международной классификации статистики отходов, совершенствование данной статистики в странах ЕС в рамках кооперации усилий для достижения целей устойчивого развития с целью сохранения природного капитала для будущих поколений.

## Список литературы

1. Backer K., Yamano N. International Comparative Evidence on Global Value Chains [Electronic resource] / OECD Science, Technology and Industry Working Paper // Mode of access: [www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DSTI/DOC\(2012\)3&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DSTI/DOC(2012)3&docLanguage=En). – Date of access : 20.07.2020. – 2012. – N 3.
2. Barbier, E. B., 1987. The concept of sustainable economic development./ E. B. Barbier// Environmental conservation. – 14(2). – pp.101-110.
3. European Commission, The European Green Deal [Electronic resource] —Mode of access: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2>. — Date of access: 01.02.2021
4. McDonald, Frank, 1951-, Dearden, Stephen, 1950-, Frank. McDonald and Stephen. Dearden European economic integration Longman, 1999
5. Аналитическая справка «О кластерной кооперации – как основном инструменте стимулирования инновационного развития промышленности в ЕС» [Электронный ресурс] // Евразийская экономическая комиссия. Режим доступа: <https://is.gd/7CmcGA>. –Дата доступа: 14.06.2020).
6. Боркова, Е.А. «Зеленые» инвестиции как фактор устойчивого развития экономики стран мира / Е. А. Боркова, М. Р. Изусова, К. А. Гематдинова// Креативная экономика. – 2019. – Том 13. – № 12. – doi: 10.18334/ce.13.12.41522.
7. Гричик, М.В. «Цепочки создания стоимости в Европейском Союзе» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/104182/1/grichik\\_2014\\_EU\\_and\\_%20Republic\\_of\\_Belarus.pdf](https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/104182/1/grichik_2014_EU_and_%20Republic_of_Belarus.pdf). – Дата доступа 14.06.2020.
8. Договор о Европейском Союзе [Электронный ресурс] // Право Европейского Союза. URL: <https://eulaw.ru/treaties/teu/>. – Дата доступа: 30.05.2020.
9. Доклад Всемирной комиссии по вопросам окружающей среды и развитию [Электронный ресурс] // Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций. URL: <https://www.un.org/ru/ga/pdf/brundtland.pdf> (дата обращения: 20.03.2020).
10. Балде, К. П. Глобальный мониторинг электронных отходов / К. П. Балде, В. Форти, В. Грей, Р. Кюр, П. Стегманн// Университет Организации Объединенных Наций – 2017 г.
11. Ковалев, Ю. Ю., 2014. Концепция устойчивого развития и ее реализация в Европейском союзе. Известия Уральского федерального университета. – Серия 3. – Общественные науки. – 9(4). – pp.54-66.
12. Насколько важно участие в глобальных цепочках стоимости для успешной экономической стратегии в ЕС и России? [Электронный ресурс] // Представительство Европейского Союза в Российской Федерации. Режим доступа: <https://is.gd/kULTEA>. – Дата доступа: 14.06.2020.
13. Перспективы участия стран ЕАЭС в глобальных и региональных цепочках создания добавленной стоимости [Электронный ресурс] // Евразийские исследования. – Режим доступа: <http://eurasian-studies.org/archives/10229>. – Дата доступа: 14.06.2020.
14. Петренко, Е. С. Перспективы бизнес-моделей: «голубые океаны», менеджмент предпринимательской деятельности, инновации на стороне спроса и устойчивое развитие / Е.С. Петренко, И.В. Денисов, Г.К. Кошебаева, А.А. Королева/ Креативная экономика. – 2019. – Том 13. – № 12. – doi: 10.18334/ce.13.12.41358.
15. Раджабова, З. К. Международная экономическая интеграция-фактор устойчивого развития мирового хозяй-

ства/ З. К. Раджабова // – М.: ЗАО «Издательство «Экономика.– 2005.

16. Семак, А. В. «Промышленная политика ЕС» [Электронный ресурс]/ А. В. Семак / Дата доступа: [https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/170329/1/semakAV\\_ES\\_RB\\_2016.pdf](https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/170329/1/semakAV_ES_RB_2016.pdf). – Дата доступа: 14.06.2020.

17. Старикова, Е. А. Значение концепции устойчивого развития в деятельности транснациональных корпораций / Е. А. Старикова/ Экономика, предпринимательство и право. – 2017. – Том 7. – № 2. – с. 125-136. – doi: 10.18334/err.7.2.38043.

18. Строганов, И. А. Концепция устойчивого менеджмента для развития региональной экономической интеграции/ И. А. Строганов / Вестник Российского экономического университета им. ГВ Плеханова.– 2013 – (5 (59)).

## References

1. Andonova L. B. Transnational politics of the environment: The European Union and environmental policy in Central and Eastern Europe. MIT Press, 2003.
2. Backer K., Yamano N. International Comparative Evidence on Global Value Chains. OECD Science, Technology and Industry Working Paper. 2012. N 3. Available at: [www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DSTI/DOC\(2012\)3&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DSTI/DOC(2012)3&docLanguage=En)
3. Barbier, E.B., 1987. The concept of sustainable economic development. Environmental conservation, 14 (2), pp. 101-110.
4. European Commission. The European Green Deal. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2> (accessed: 02/01/2021).
5. International trade, by reporting country, total product. Eurostat. Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/tet00002> (accessed: 02/01/2021).
6. McDonald, Frank, 1951-, Dearden, Stephen, 1950-, Frank. McDonald and Stephen. Dearden European economic integration Longman, 1999
7. Analytical note "On cluster cooperation - as the main tool for stimulating the innovative development of industry in the EU" [Electronic resource] // Eurasian Economic Commission. Available at: <https://is.gd/7CmcGA> (accessed: 06/14/2020).
8. Borkova E.A., Izusova M.R., Gematdinova K.A. "Green" investments as a factor of sustainable development of the world's economies. Creative Economy. 2019. Volume 13. No. 12. doi: 10.18334 / ce.13.12.41522.
9. Grichik M.V. "Value chains in the European Union" [Electronic resource]. Available at: [https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/104182/1/grichik\\_2014\\_EU\\_and\\_%20Republic\\_of\\_Belarus.pdf](https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/104182/1/grichik_2014_EU_and_%20Republic_of_Belarus.pdf) (accessed: 06/14/2020).
10. Treaty on the European Union. European Union Law. Available at: <https://eulaw.ru/treaties/teu/> (accessed: 05/30/2020).
11. Report of the World Commission on Environment and Development. General Assembly of the United Nations. URL: <https://www.un.org/ru/ga/pdf/brundtland.pdf> (accessed: 03/20/2020).
12. K.P. Balde, W. Forti, W. Gray, R. Kure, P. Stegmann Global Monitoring of Electronic Waste. United Nations University - 2017.
13. Kovalev, Yu.Yu., 2014. The concept of sustainable development and its implementation in the European Union. Bulletin of the Ural Federal University. Series 3. Social Sciences, 9 (4), pp.54-66.
14. How important is participation in global value chains for a successful economic strategy in the EU and Russia? Delegation of the European Union in the Russian Federation. Available at: <https://is.gd/kULTEA>. (accessed: 14.06.2020).
15. Prospects for the participation of the EAEU countries in global and regional chains of added value creation. Eurasian studies. Available at: <http://eurasian-studies.org/archives/10229> (accessed: 06/14/2020).
16. Petrenko E.S., Denisov I.V., Koshebaeva G.K., Koroleva A.A. Business Model Perspectives: Blue Oceans, Business Management, Demand-Side Innovation and Sustainable Development. Creative Economy. - 2019. - Volume 13. - No. 12. - doi: 10.18334 / ce.13.12.41358.
17. Radjabova, ZK, 2005. International economic integration is a factor of sustainable development of the world economy. Moscow: ZAO Publishing House Economics.
18. Semak, A. B. "Industrial policy of the EU". Available at: [https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/170329/1/semakAV\\_ES\\_RB\\_2016.pdf](https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/170329/1/semakAV_ES_RB_2016.pdf) (accessed: 06/14/2020).
19. Starikova E.A. The value of the concept of sustainable development in the activities of transnational corporations // Economy, entrepreneurship and law. - 2017. - Volume 7. - No. 2. - p. 125-136. - doi: 10.18334 / err.7.2.38043.
20. Stroganov, IA, 2013. The concept of sustainable management for the development of regional economic integration. Bulletin of the Russian University of Economics. G.V. Plekhanov, (5 (59)).

*Received: 04.08.2020*

*Поступила: 04.08.2020*

## Этапы жизненного цикла стартапа: сущность, признаки, проблемы и пути их предотвращения

**И. В. Марахина**, к. э. н., доцент, доцент кафедры экономики

E-mail: ina\_marahina@tut.by

ORCID ID: 0000-0003-0154-0618

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

**Аннотация.** Понимание особенностей становления стартапа и процессов, происходящих на этапах его жизненного цикла, позволяет стартапам оперативно принимать тактические и стратегические решения в области управления развитием, а инвесторам, государству и другим субъектам стартап-экосистемы своевременно реализовывать меры по активизации формирования и поддержке стартапов. В статье используется несколько подходов к разделению жизненного цикла стартапа на этапы в соответствии с такими критериями, как стадии развития продукта, масштаб стартапа, раунды инвестирования. Для каждого из подходов приведены подробный анализ этапов жизненного цикла стартапа, их сущностные характеристики, признаки, потенциальные проблемы и пути предотвращения выделенных проблем. Автор отметила взаимосвязь этапов, выделенных на основе различных критериев, предложила таблицу соответствия этих этапов и указала на необходимость выявления асимметрии при их сопоставлении.

**Ключевые слова:** стартап, жизненный цикл стартапа, раунды инвестирования, инвестиции, критерий, этапы жизненного цикла, стадии развития продукта

**Для цитирования:** Марахина, И. В. Этапы жизненного цикла стартапа: сущность, признаки, проблемы и пути их предотвращения / И. В. Марахина // Цифровая трансформация. – 2021. – № 2 (15). – С. 21–31.



© Цифровая трансформация, 2021

## Stages of a Startup Lifecycle: Essence, Signs, Problems and Ways to Prevent Them

**I. V. Marakhina**, associate professor, associate professor of Economics

E-mail: ina\_marahina@tut.by

ORCID ID: 0000-0003-0154-0618

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 4 Brovki Str., 220013 Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Understanding the peculiarities of the formation of a startup and of the processes, occurring at the stages of its lifecycle, allows startups to make quickly tactical and strategic decisions in the field of development management, and investors, the state and other entities of the startup ecosystem to implement measures timely to activate the formation and support of startups. The paper uses several approaches to divide the startup lifecycle into stages in accordance with criteria such as product development stages, startup scale, investment rounds. A detailed analysis of the stages of the startup lifecycle, essential characteristics and signs of these stages, potential problems and ways to prevent the identified problems are described for each of the approaches. The author noted the correlation of the stages, identified on the basis of various criteria, proposed a table of correspondence between these stages and pointed out the need to identify asymmetries by comparing them.

**Key words:** startup, startup lifecycle, investment rounds, investment, criterion, lifecycle stages, product development stages

**For citation:** Marakhina I. V. Stages of a Startup Lifecycle: Essence, Signs, Problems and Ways to Prevent Them. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 2 (15), pp. 21–31 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

**Введение.** В настоящее время одной из актуальных возможностей инновационного развития экономики выступает активизация деятельности стартапов, которые являются точками роста инноваций, прорывных технологий и предпринимательской активности [1].

Согласно С. Бланку и Б. Дорфу стартап – это временная структура, которая занимается поисками масштабируемой, воспроизводимой, рентабельной бизнес-модели [2]. Следует отметить, что стартап имеет свою специфику, связанную с подходами к осуществлению деятельности, характеристиками продукта, высокими рисками и скоростями. Это в свою очередь определяет особенности жизненного цикла стартапа.

Под жизненным циклом стартапа понимается последовательность этапов от появления стартапа до его ликвидации в случае неудачи или перехода в новую форму (например, в форму отдельной компании или структурной единицы корпорации при поглощении) в случае успеха. Как отмечается в [3], хотя каждый стартап проходит собственный уникальный путь, однако существует классическое деление жизни проекта на этапы, базирующееся на закономерностях, которые в той или иной степени относятся к любой молодой компании.

Понимание сущности, особенностей развития, потенциальных проблем стартапа позволит быстро принять правильные управленческие решения его основателям (фаундерам), инвесторам, партнерам и государственным органам. Определение этапа развития и предвидение дальнейшего пути стартапа в соответствии с его жизненным циклом позволит эффективно принимать стратегические и такти-

ческие решения. Это особенно актуально с учетом высоких темпов роста и рисков стартапов. Такое понимание важно как самому стартапу, так и остальным субъектам стартап-экосистемы. Инвесторы и партнеры могут оценить возможность и целесообразность сотрудничества со стартапом в данный момент или в будущем. Государство может принимать решения, как наиболее эффективно поддержать стартап, оказывая помощь в критических для него точках. Это и определяет **актуальность и важность исследования**, изложенного в статье.

**Основная часть.** Анализ научных работ указывает на различия в представлении в них жизненного цикла стартапа, определяемые в первую очередь *критериями разделения его на этапы* [3]. К таким критериям можно отнести: **стадии развития продукта, стадии бизнеса, раунды инвестирования, а также комбинации предыдущих трех критериев** [3].

В представленной статье проведен анализ этапов жизненного цикла стартапов, выделенных в соответствии с первыми тремя критериями. Используя материалы научных исследований, этапы жизненного цикла стартапа были уточнены, систематизирована информация об их особенностях, проблемах и путях предотвращения выявленных проблем. Кроме того, автором предложены признаки этапов жизненного цикла стартапа, с их помощью можно определить текущее состояние стартапа.

**1. Стадии развития продукта (продуктовый подход).** Как правило стартап-проект создается для разработки и реализации продукта, и стадии этого развития продукта определяют этапы жизненного цикла всего стартап-проекта (таблица 1).

Таблица 1. Разделение этапов жизненного цикла стартапа в соответствии со стадиями развития продукта  
Table 1. Division of startup lifecycle stages according to product development stages.

Этап	Описание	Признаки	Проблемы / Решения по предотвращению проблемы со стороны стартапа
Идея, проектирование продукта	У основателей формируется общее понимание сущности проекта, готовится бизнес-план, начинается разрабатываться прототип продукта. Основатель пытается «продать» идею инвесторам, прессе, клиентам, партнерам,	Наличие идеи, результатов исследовательской работы, бизнес-плана. Презентация идеи на профессиональных мероприятиях, в профессиональных сообществах	<p><b>П.</b> Идея не соответствует потребностям рынка;</p> <p><b>Р.</b> Обосновать потребность рынка в продукте, используя подход «Экономичный стартап» (Lean StartUp) [4].</p> <p>Постоянная проверка гипотез о том, кто может быть целевым клиентским сегментом продукта и его реальных проблемах, которые может решить продукт (далее – Гипотезы роста).</p>

Продолжение таблицы 1  
Table 1 (continuation)

Этап	Описание	Признаки	Проблемы / Решения по предотвращению проблемы со стороны стартапа
	<p>посещает для этого профессиональные мероприятия.</p> <p>Изучаются возможности защиты прав интеллектуальной собственности, при возможности получают охранные документы.</p>		<p>Тестирование спроса (предварительные заказы, опросы, краудфандинговая компания); На основе проведенных исследований определить функционал продукта, который в первую очередь должен быть реализован – MVP (Minimum Viable Product – продукт с минимальным функционалом, позволяющим решать проблему).</p> <p><b>П.</b> Идея не масштабируема;</p> <p><b>Р.</b> Предварительно оценить масштабируемость идеи.</p> <p>Проводить проблемные и решенческие интервью.</p> <p><b>П.</b> Идея не реализуема или ее не выгодно реализовать;</p> <p><b>Р.</b> Предварительно оценить реализуемость и эффективность идеи</p>
<p>Прототип, первая версия продукта или MVP</p>	<p>Создается прототип, опытный образец продукта. Проводится тестирование продукта. С помощью MVP изучается клиент и подтверждается спрос. Проводятся маркетинговые исследования. Оценивается, в какой степени продукт удовлетворяет потребности целевой аудитории</p>	<p>Наличие прототипа, MVP или первой версии продукта.</p> <p>На продукт (при необходимости) оформлены охранные документы (в процессе оформления).</p> <p>Продукт начинают использовать первые клиенты</p>	<p><b>П.</b> Отсутствие пользовательской базы;</p> <p>Тестирование потенциального спроса на продукт затратно и сложно.</p> <p><b>Р.</b> Минимальное тестирование каналов привлечения (далее – Каналов), чтобы измерить коэффициент удержания пользователей и определить, из каких каналов приходят клиенты, которые реально регулярно пользуются продуктом.</p> <p><b>П.</b> Неправильное определение рынка;</p> <p><b>Р.</b> Найти рыночную нишу с максимальными доходами (перспективами). Достигнуть соответствия продукт/рынок, для чего подтвердить с помощью качественных и количественных показателей, что у продукта есть реальная пользовательская база.</p> <p><b>П.</b> Слабость идеи;</p> <p>Неправильное определение функций для рынка;</p> <p>Концентрация на технологических аспектах продукта.</p> <p><b>Р.</b> Переопределить набор функций продукта на основе результатов исследований потребностей рынка.</p> <p><b>П.</b> Сложность понимания менталитета населения другой страны (при выборе зарубежного рынка);</p> <p><b>Р.</b> При выборе зарубежного рынка привлечение иностранных экспертов, специалистов;</p>

Продолжение таблицы 1  
Table 1 (continuation)

Этап	Описание	Признаки	Проблемы / Решения по предотвращению проблемы со стороны стартапа
			<p>Углубленное исследование рынка с учетом его социально-культурных особенностей; Активная презентация прототипа зарубежным инвесторам, экспертам, субъектам инфраструктуры и отслеживание обратной связи.</p> <p><b>П.</b> Недооценка рынка; Конкуренция.</p> <p><b>Р.</b> Оптимизировать воронку привлечения потребителей, уточнить бизнес-модель, планы финансирования.</p> <p><b>П.</b> Технологические риски.</p> <p><b>Р.</b> Оценка технологических рисков, технологическое предвидение; Привлечение экспертов</p>
Доработка продукции	Выявленные замечания на предыдущем этапе устраняются. Создается версия продукта для широкого распространения	Доработка версии с учетом замечаний реальных пользователей (см. предыдущий этап)	<p><b>П.</b> Неготовность к масштабированию; <b>Р.</b> Уточнить бизнес-модель, планы финансирования.</p> <p><b>П.</b> Технологические риски; <b>Р.</b> Оценка технологических рисков, технологическое предвидение; Привлечение экспертов.</p> <p>При необходимости «пивот» – перезапуск, требующий переделки продукта.</p>
Начало масштабирования	Идет активное распространение копий продукта Тестируются бизнес-модели с целью найти постоянные способы получения дохода	Рост продаж (числа пользователей)	<p><b>П.</b> Проблемы поиска работающей модели монетизации; Высокая конкуренция со стороны аналогов.</p> <p><b>Р.</b> Тестировать различные варианты монетизации; Подтвердить, что у продукта есть рынок сбыта: подтвердить ценностное предложение, оптимизировать воронку привлечения потребителей, подтвердить канал продаж.</p> <p><b>П.</b> Длительность этапа, на протяжении которого требуется финансирование и поддержка; <b>Р.</b> Активный поиск инвесторов, менторов.</p> <p><b>П.</b> Неправильная бизнес-модель; <b>Р.</b> При необходимости «пивот».</p> <p><b>П.</b> Технологические риски; <b>Р.</b> Оценка технологических рисков, технологическое предвидение. Привлечение специалистов. При необходимости «пивот»</p>



Продолжение таблицы 1  
Table 1 (continuation)

Этап	Описание	Признаки	Проблемы / Решения по предотвращению проблемы со стороны стартапа
Востребованный продукт (масштабирование)	Монетизация и активный рост продаж. Бизнес-модель прошла проверку и происходит ее дальнейшее масштабирование	Серийное производство Рост объемов продаж Возможен выпуск новых вариантов продукта	<p><b>П.</b> Ошибки в технологической стратегии; <b>Р.</b> Оценка технологических рисков, технологическое предвидение.</p> <p><b>П.</b> Недостаточный темп роста; Высокая конкуренция.</p> <p><b>Р.</b> Стимулировать рост и масштабировать организационные возможности. Процесс проверки Гипотез роста преобразовать в «конвейер управляемого роста» [6]. Для достижения стабильного роста внедрить механизм, который позволит при исчерпании одних каналов переключится на другие каналы масштабирования, чтобы рост не останавливался.</p> <p><b>П.</b> Возможности роста исчерпаны, рынок насыщен; Низкий спрос. Высокая конкуренция.</p> <p><b>Р.</b> Искать новые рынки; Добавить экспертов в приоритетных каналах продвижения.</p> <p><b>П.</b> Отсутствие окупаемости; <b>Р.</b> Пересмотр бизнес-модели; Отслеживание окупаемости.</p>
Устойчивые показатели	Устойчивый выпуск продукта, его обновление (при необходимости)	Достигнуты темпы роста, акцент на модификации, новые версии, обновления	<p><b>П.</b> Достижение прибыльности, устойчивости, конкуренция; <b>Р.</b> Обеспечить конкурентоспособность продукта; Выпуск новых версий, моделей, релизов продукта.</p>

Примечание. П. – проблема (-ы); Р. – решение (-я) по предотвращению проблемы.

Источник. разработано на основе [3; 4; 5; 6<sup>1</sup>; 7].

Note. P. - problem(s); S - solution(s) to prevent the problem.

Source. developed on the basis of [3; 4; 5; 6<sup>1</sup>; 7].

**2. Стадии бизнеса (стартап-проекта), его масштаб (проектный подход).** При этом подходе развитие стартапа определяется масштабом бизнеса – размером команды и объемами продаж или объемом выпуска продукции (числом пользователей) (таблица 2).

**3. Раунды инвестирования (инвестиционный подход).** «Именно финансирование является одним из объективных факторов, которые помогают проектам рождаться и переходить из одного этапа на другой» [3]. На каждой из стадий деньги

привлекают под четко обозначенные задачи. Есть и лимиты финансирования. Почему еще финансирование делят на раунды? Это дает инвесторам четкое понимание того, на какой стадии находится определенный стартап, какие задачи решает сейчас [10].

При разделении на этапы жизненного цикла стартапа по третьему критерию (таблица 3), автор исходил из концепции: раунды инвестиций определяются задачами, **для решения которых вкладывают денежные средства инвесторы [10].**

Таблица 2. Разделение этапов жизненного цикла стартапа в соответствии со стадиями развития бизнеса  
 Table 2. Division of startup lifecycle stages according to business development stages

Этап	Описание	Признаки	Проблема / Решения по предотвращению проблемы со стороны стартапа
Зарождение (Идея)	Процессы образования стартапа. Команда стартапа состоит из основателей (фаундеров), которые работают с большим воодушевлением. Большинство решений принимается интуитивно. Основатели оценивают необходимость стартап-проекта: насколько продукт решает проблемы рынка	Наличие идеи, бизнес-план (или аналогичный документ). Над идеей работает команда основателей	<b>П.</b> Неготовность заниматься собственным бизнесом; Действия зачастую основаны на интуиции. <b>Р.</b> Самомотивация. Образование в области предпринимательства, управления бизнесом
Образование стартапа	Формируется команда, которая регулярно работает над проектом. Начинается работа с субъектами стартап-экосистемы: инкубаторами, акселераторами и т.д. Зачастую появляется ментор. Стартап как правило официально регистрируется как юридическое лицо	Команда, которая регулярно собирается и работает над конкретным стартап-проектом. Есть место работы – инкубатор, коворкинг, собственное помещение	<b>П.</b> Отсутствие команды; <b>Р.</b> Участвовать в хакатонах, конференциях и т.д. <b>П.</b> Недостаточная мотивация; <b>Р.</b> Искать ментора. Делегировать полномочия. Перераспределить доли компании, выдать опционы
Ранняя стадия	Стартап начинает активно расти и развиваться – команда увеличивается, привлекаются специалисты Такой этап может быть особенно продолжительным и длится год – полтора	Юридическое оформление стартапа. Показатели продаж (использований) растут быстрыми темпами. Происходит активное привлечение в команду специалистов.	<b>П.</b> Неправильная бизнес-модель; <b>Р.</b> Тестировать и пересматривать бизнес-модель. <b>П.</b> Непонимание общих принципов устройства бизнеса; Концентрация на технологичных аспектах продукта. Неумение стартапа зарабатывать деньги. <b>Р.</b> Привлечь менторов и консультантов; Постоянное обучение в области предпринимательства, бизнеса. <b>П.</b> Проблемы с командой; <b>Р.</b> Перераспределить доли компании, выдать опционы. <b>П.</b> Длительный этап требующей значительных ресурсов стартапа; <b>Р.</b> Активно искать инвесторов. Использовать поддержку субъектов инновационной инфраструктуры – бизнес-инкубаторов, акселераторов, коворкингов и т.д.

Продолжение таблицы 2  
Table 2 (continuation)

<p>Расширение</p>	<p>Зрелый стартап: имеются проверенная бизнес-модель, растет число клиентов, продажи. К работе команды привлекаются профессиональные консультанты</p>	<p>Стабильный рост показателей работы. Расширение команды.</p>	<p><b>П.</b> Ошибки в технологической стратегии; <b>Р.</b> Развитие технологического предвидения. Привлечение экспертов. <b>П.</b> Необоснованные расходы (маркетинг, операционные расходы); <b>Р.</b> Экономия, четкое обоснование расходов. Привлечение экспертов. <b>П.</b> Неопытность лидера как управленца; Ошибки в области предпринимательских и управленческих компетенций, в том числе неправильный баланс между расходами и заработком, неумение выйти на масштабирование, построить команду, управлять большим бизнесом, запускать новые продукты и услуги, найти и нанять сильных менеджеров. <b>Р.</b> Развивать управленческие компетенции.</p>
<p>Преобразование (продажа, IPO, становление компании)</p>	<p>Компания перестает быть классическим стартапом. Она может быть поглощена, приобретена более крупной компанией, сама стать полноценной эффективной компанией, в том числе выйти на IPO. Рост начинает замедляться</p>	<p>Экономическая эффективность. Темпы роста замедляются и соответствуют показателям в отрасли</p>	<p><b>П.</b> Замедление роста; <b>Р.</b> Продолжить тестировать гипотезы роста и осуществлять поиск новых точек роста. Инвестировать в свои команды роста. Рассматривать слияния и поглощения или локализацию продуктов на других рынках как следующую ступень роста. Искать возможности расширения за рубежом. Строить локальные команды для адаптации продуктового опыта к особенностям в каждом новом регионе. Искать возможности поглощений, которые прямо или косвенно связаны с продуктом. Возможно, поглощенный продукт даст доступ к новому, но очень похожему рынку пользователей или поможет увеличить ценность для текущих пользователей. Искать другие сегменты потенциальных целевых пользователей и способ получить к ним доступ</p>

Примечание. П. – проблема (-ы); Р. – решение (-я) по предотвращению проблемы.

Источник. разработано на основе [3; 4; 6<sup>2</sup>; 7].

Note. P. - problem(s); S - solution(s) to prevent the problem.

Source. developed on the basis of [3; 4; 5; 6<sup>2</sup>; 7].

Таблица 3. Разделение этапов жизненного цикла стартапа в соответствии с раундами инвестиций  
 Table 3. Division of startup lifecycle stages according to investment rounds

Этап	Описание		Признаки – задачи, для решения которых инвестируют
	Источник инвестиций (приоритетный)	Сумма инвестиций*	
Нулевая (идея)	Собственные средства, ЗФ, краудфандинг, гранты, финансирование в программах. Основатели стремятся привлечь максимум денег как можно быстрее. Внешнее финансирование крайне редко – исключение составляют случаи, когда основатель серийный предприниматель или профессиональный менеджер, квалификацию которого легко оценить	До 50 тыс. долларов.	Разработка бизнес-плана, аутсорсинг, развитие теоретических моделей, защита интеллектуальной собственности
Предпосевная (Pre-seed)	Собственные средства, ЗФ, краудфандинг, призы на конкурсах, бизнес-ангелы, ориентированные на высокорисковые вложения	До 50 (250) тыс. долларов.	Разработка прототипа, промежуточные релизы
Посевная (Seed)	Бизнес-ангелы, ранние венчурные фонды	От 50 (100) тыс. до 250 (1 000) тыс. долларов	Завершение разработки прототипа, финальный релиз программы или доведение его до требований рынка
Раунд А	Венчурные фонды	От 0,5 (1) до 1 (3) млн. долларов.	Организация серийного производства (постоянной работы сервиса); найм полноценной команды; реализация маркетинговых мероприятий
Раунд В	Венчурные фонды, крупные инвестиционные фонды, реже прямые инвестиции (private equity)	От 1 (3) – 7 млн. долларов	Рост объемов продаж, числа потребителей; завоевание новых рынков сбыта продукции; привлечение новых сотрудников; расширение охвата в занятой нише
Раунд С и выше* (сделки поздних стадий не обязательные)	Венчурные фонды, прямые инвестиции (private equity), реже стратеги	Свыше 1 (7) млн. долл. Верхняя граница условна, чаще всего она составляет 50 – 100 млн. долларов.	Налаживание процессов и достижение самокупаемости; Преобразование в стабильный и прогнозируемый бизнес-проект; Подготовка перед продажей стратегическому инвестору или перед выходом на IPO
IPO или продажа компании	Институциональные прямые инвестиции (private equity), IPO	Десятки, сотни миллионов долларов.	Дальнейшее развитие и монетизация

Примечание. \* – сумма инвестиций в различных источниках отличается; в скобках указано максимальное значение, которое встречалось в использованных источниках

Источник. разработано на основе [1; 3; 7; 8; 9; 10]

Note. \* – the amount of investment varies from source to source; the maximum value in parentheses indicates the highest amount that was encountered in the sources used for the paper

Source. developed on the basis of [1; 3; 7; 8; 9; 10]

И именно от них зависят уже такие показатели как вид инвестора и сумма инвестиций.

Следует отметить, что в таблице 3 в отличие от предыдущих не были приведены проблемы и пути решения. Исходя из разделения на этапы в соответствии с раундом инвестирования, основной проблемой видится привлечение подходящих инвесторов и поиск средств для обеспечения роста стартапа. Соответственно работа по такому привлечению будет проводиться исходя из типа инвестора, и в общем виде включать в себя поиск инвестора, презентацию стартапа, подготовку инвестиционных документов, повышение прозрачности и привлекательности бизнеса, работу в области юридической защиты стартапов и их продуктов т.д.

**4. Комбинации вышеперечисленных критериев (комбинационный подход).** Следует отметить, что в исследованиях зачастую присутствуют подходы к разделению на этапы с использованием комбинации критериев, рассмотренных выше. Так этапы, представленные в таблицах 1–3, можно сопоставить друг с другом (см. таблицу 4).

Как представлено в таблице 4, этап, выделенный в одной классификации, может охватывать несколько этапов, выделенных на основе применения другого критерия. Совместное применение нескольких критериев позволяет уточнить этапы жизненного цикла стартапов. Например, этапы, выделенные на основе продуктового подхода, уточняются раундами инвестиций.

**Выводы и полученные результаты.**

Представленное выше исследование этапов жизненного цикла стартапа позволяет сделать следующие **выводы**.

1. Можно отметить несколько подходов к представлению жизненного цикла стартап-проекта, определяемых критериями выделения его этапов. Используемые подходы к разделению на этапы жизненного цикла взаимодополняют друг друга и с разных сторон отражают работу стартапа.

2. Выделенные этапы не всегда присутствуют в реальном жизненном пути стартапа. Так, отдельные стадии могут быть объединены, пройдены очень быстро, пропущены [3; 10]. Например, украинский сервис по проверке правописания Grammarly получал первое публичное финансирование уже в раунде В (довольно позднем). Сумма составила внушительные 110 млн долларов [10].

3. Для определения этапа жизненного цикла конкретного стартапа автором были предложены показатели, представленные в таблицах 1–3.

4. Следует отметить, что выделенные на основе трех критериев этапы жизненного цикла стартапа взаимосвязаны и соотносятся друг с другом, как представлено в таблице 4. В тоже время такое соответствие не обязательно реализуется на практике. Случаи такого несоответствия – асимметрии – должны быть дополнительно исследованы, так как могут свидетельствовать о проблемах в развитии стартапов.

5. Анализ представленной в таблицах информации позволяет указать, что на стадии «Идея» («нулевая» стадия, «зарождение») стартап еще создается. Скорее всего именно со второго этапа («Прототип», «Предпосевная», «Стартап») можно говорить о существовании стартапа. А основными признаками создания стартапа тогда являются наличие прототипа и команды. До-

Таблица 4. Соответствие этапов жизненного цикла при разных подходах  
Table 4. Conformity of lifecycle stages under different approaches

Продукт	Инвестиции	Бизнес-единица
Идея	Нулевая	Зарождение
Прототип	Предпосевная	Стартап
Доработка продукции		
Начало масштабирования	Посевная	Ранняя стадия
Востребованный продукт	Раунд А	Расширение
	Раунд В	
Устойчивые показатели	Раунд С и выше* ( )	
	IPO	Преобразование

Примечание.\* – сделки поздних стадий не обязательны

Источник. Разработано с использованием [3; 7]

Note.\* – late stage transactions are not necessary

Source. Developed using [3; 7]

полнительным признаком будет выступать регистрация стартапа в форме юридического лица. Прекращением существования стартапа будут: раунды Б и выше, когда стартап замедляет темпы роста, становится крупной организацией и подчиняется законам организации; его поглощение на любой из стадий или приостановка его деятельности в связи с нецелесообразностью дальнейшего развития.

6. При характеристике жизненного цикла стартапа наряду с выделением этапов и их описанием, важно ввести такие ключевые показатели, характеризующие каждый этап, как **время** прохождения этапа и **результативность** (скорость достижения результата на каждом этапе или темпы роста). Для оценки темпов роста, как указывает П. Грэм, лучшее, что можно измерить, – это выручка. Следующим вариантом для стартапов, которые изначально не взимают плату, являются активные пользователи. Это разумный показатель роста доходов, потому что всякий раз, когда

стартап действительно пытается зарабатывать деньги, его доходы, вероятно, будут постоянно кратны активным пользователям [11].

7. Высокие риски не пройти этапы. Так смертность стартапов практически на большинстве этапов жизненного цикла стартапов превышает 90% [3]. Это определяет важность работы на каждом этапе как со стороны стартапа, так и со стороны государства. Анализ каждого этапа позволил выделить основные проблемы стартапа, а также пути их предотвращения. В статье в связи с ограничением объема описываются рекомендуемые действия непосредственно стартапов. Поддержка остальных субъектов стартап-экосистемы будет изучена в дальнейшем.

Таким образом, проведенное исследование позволило уточнить теоретические и методические основы развития стартапа в соответствии со стадиями его жизненного цикла и направлено на обеспечение гармоничного развития и роста выживаемости стартапов.

## Список литературы

1. Марахина, И. В. Инвестиционная инфраструктура белорусской стартап-экосистемы: субъекты, проблемы и направления развития / И. В. Марахина // Банковский вестник. – 2020. – №7. – С. 49–58.
2. Бланк, С. Стартап: Настольная книга основателя / С. Бланк, Б. Дорф. – М.: Альпина Паблишер, 2013. – 616 с.
3. Путь стартапа [Электронный ресурс] / Департамент исследований ФРИИ. – Режим доступа: [https://www.iidf.ru/upload/iblock/3b5/startup\\_way\\_2015.pdf](https://www.iidf.ru/upload/iblock/3b5/startup_way_2015.pdf). – Дата доступа: 17.09.2020.
4. Рис Э. Бизнес с нуля. Метод Lean Startup для быстрого тестирования идей и выбора бизнес-модели / Э. Рис. – «Альпина Диджитал», 2011. – 177 с.
5. Global Startup Ecosystem Report 2019 [Electronic resource]. Mode of access: <https://startupgenome.com/reports/global-startup-ecosystem-report-2019>. – Date of access : 20.07.2020.
6. Bass, L. 5 phases of the startup lifecycle: Morgan Brown on what it takes to grow a startup [Electronic resource] // L. Bass. Mode of access: <https://laurenrbass.com/blog/5-phases-of-the-startup-lifecycle-morgan-brown>. – Date of access : 20.08.2020.
7. Виссема, Йохан Г. Университет третьего поколения: Управление университетом в переходный период / Йохан Г. Виссема. – Москва: Олимп-Бизнес, 2016. – 422 с.
8. Чеботарев, М. Инвестиции по-американски: как работают венчурные фонды в США [Электронный ресурс] / М. Чеботарев // Forbes. – Режим доступа: <https://www.forbes.ru/tehnologii/360889-investicii-po-amerizkanski-kak-rabotayut-venchurnye-fondy-v-ssha>. – Дата доступа: 30.03.2020.
9. Брыль, Р. Экосистема для стартапов. Почему «единороги» рождаются не в Украине [Электронный ресурс] / Р. Брыль // Деловая столица. – Режим доступа: [https://www.dsnews.ua/vlast\\_deneg/pochemu-edinorogi-rozhdayutsya-ne-v-ukraine-est-li-ustrany-19122017220000](https://www.dsnews.ua/vlast_deneg/pochemu-edinorogi-rozhdayutsya-ne-v-ukraine-est-li-ustrany-19122017220000). – Дата доступа: 30.03.2020.
10. Ройтберг, И. Раунды привлечения инвестиций в стартап. Что это такое и в чем особенности? [Электронный ресурс] / И. Ройтберг. – Режим доступа: <https://vc.ru/flood/102180-raundy-privlecheniya-investiciy-v-startap-chto-eto-takoe-i-v-chem-osobennosti>. – Дата доступа: 10.09.2020.
11. Graham, P. Startup=Growth [Electronic resource] / P. Graham. – 2012. Mode of access: <http://www.paulgraham.com/growth.html>. – Date of access: 10.04.2020.

## References

1. Marakhina I. V. Investitsionnaya infrastruktura belorusskoy startap-ekosistemy: sub"yekty, problemy i napravleniya razvitiya. Bankovskiy vestnik. 2020. №7. PP. 49–58 (in Russian).
2. Blank S., Dorf B. Startap: Nastol'naya kniga osnovatelya. M.: Al'pina Pablisher, 2013. 616 p. (in Russian)
3. Put' startapa. Departament issledovaniy FRIL. Available at: [https://www.iidf.ru/upload/iblock/3b5/startup\\_way\\_2015.pdf](https://www.iidf.ru/upload/iblock/3b5/startup_way_2015.pdf) (accessed: 17.09.2020) (in Russian)
4. Ris E. Biznes s nulya. Metod Lean Startup dlya bystrogo testirovaniya i dey i vybora biznes-modeli. «Al'pina Didzhital», 2011. 177 p. (in Russian)
5. Global Startup Ecosystem Report 2019. Available at: <https://startupgenome.com/reports/global-startup-ecosystem-report-2019> (accessed: 20.07.2020) .
6. Bass L. 5 phases of the startup lifecycle: Morgan Brown on what it takes to grow a startup. Available at: <https://laurenrbass.com/blog/5-phases-of-the-startup-lifecycle-morgan-brown> (accessed: 20.08.2020) .
7. Vissema, Yokhan G. Universitet tret'yego pokoleniya: Upravleniye universitetom v perekhodnyy period / Yokhan G. Vissema. – Moskva: Olimp–Biznes, 2016. – 422 p. (in Russian).
8. Chebotarev M. Investments in the American way: how venture funds work in the USA. Forbes. Available at: <https://www.forbes.ru/tehnologii/360889-investicii-po-amerizkanski-kak-rabotayut-venchurnye-fondy-v-ssha> (accessed: 30.03.2020) (in Russian).
9. Bryl' R. Ekosistema dlya startapov. Pochemu «yedinorogi» rozhdayutsya ne v Ukraine. Delovaya stolitsa. Available at: [https://www.dsnews.ua/vlast\\_deneg/pochemu-edinorogi-rozhdayutsya-ne-v-ukraine-est-li-u-strany-19122017220000](https://www.dsnews.ua/vlast_deneg/pochemu-edinorogi-rozhdayutsya-ne-v-ukraine-est-li-u-strany-19122017220000) (accessed: 30.03.2020) (in Russian).
10. Roytberg I. Raundy privilecheniya investitsiy v startap. Chto eto takoye i v chem osobennosti? Available at: <https://vc.ru/flood/102180-raundy-privlecheniya-investitsiy-v-startap-chto-eto-takoe-i-v-chem-osobennosti> (accessed: 10.09.2020) (in Russian).
11. Graham P. Startup=Growth. 2012. Mode of access: <http://www.paulgraham.com/growth.html> (accessed: 10.04.2020).

*Received: 05.10.2020*

*Поступила: 05.10.2020*

## Оценка изменчивости параметров финансового состояния Республики Беларусь в 2000-2020 годах

**В. В. Скрундъ**, аспирант

E-mail: vallik@mail.ru

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

**Аннотация.** В статье на основе анализа отечественной и зарубежной научной литературы определены основные параметры финансовой стабильности на макроуровне с учетом особенностей экономики Республики Беларусь. Эти параметры включают уровень инфляции, валютные курсы, уровень долларизации экономики, процентных ставок, сбалансированность внешней торговли, состояния финансов субъектов хозяйствования, а также показатели финансовой устойчивости, разработанные Международным валютным фондом. Произведена количественная оценка взаимосвязей этих параметров: построена корреляционная матрица, регрессионные модели. В исследовании использована официальная статистическая информация, публикуемая Национальным банком и Национальным статистическим комитетом Республики Беларусь, в ежемесячном, поквартальном и годовом разрезах за 2000–2019 годы.

**Ключевые слова:** финансовое состояние, финансовая стабильность, инфляция, валютный курс, внешняя торговля, резервные активы, государственный долг, показатели финансовой устойчивости, финансовая система, индекс потребительских цен, денежная масса

**Для цитирования:** Скрундъ, В. В. Оценка изменчивости параметров финансового состояния Республики Беларусь в 2000-2020 годах / В. В. Скрундъ // Цифровая трансформация. – 2021. – № 2 (15). – С. 32–43.



© Цифровая трансформация, 2021

## Evaluation of the Variability of Parameters of the Financial Status of the Republic of Belarus in 2000-2020

**V. V. Skrund**, Postgraduate Student

E-mail: vallik@mail.ru

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

**Abstract.** Based on the analysis of national and foreign scientific literature, the paper determines the main parameters of financial stability at the macro level, taking into account the characteristics of the economy of the Republic of Belarus. These parameters include the level of inflation, exchange rates, the level of dollarization of the economy, interest rate, the balance of external trade, the state of the economic entities' finances, as well as financial soundness indicators developed by the International Monetary Fund. The quantitative assessment of the inter-linkages between these parameters was carried out: a correlation matrix and regression models are constructed. The study used official statistical information published by the National Bank and the National Statistical Committee of the Republic of Belarus on a monthly, quarterly and annual basis for 2000-2019.

**Key words:** financial status, financial stability, inflation, exchange rate, external trade, reserve asset, national debt, financial soundness indicators, financial system, consumer price index, money supply

**For citation:** Skrund V. V. Evaluation of the Variability of Parameters of the Financial Status of the Republic of Belarus in 2000-2020. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 2 (15), pp. 32–43 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

**Введение.** Не возникает сомнений, что стабильное состояние государственных финансов является не только необходимым, но и одним из наиболее важных условий устойчивого экономического роста, а также обеспечения достойного уровня жизни населения. В Беларуси влияние дисбаланса в финансовой сфере проявляется осо-

бенно остро, так как республика является государством с малой открытой экономикой, в которой значительная часть ВВП создается за счет экспорта, и которая нуждается в импорте большого количества критически важных для производственной деятельности ресурсов, равно как и товаров народного потребления. Так, по данным Белстата,



в 2019 г. экспорт товаров и услуг составил 66,4 % от ВВП республики, а их импорт – 66,9 % [7, с. 8].

Кроме того, негативное влияние проблем в сфере финансов, особенно вызванных внешними факторами, усугубляется высокой степенью зависимости белорусской экономики от российской (на Россию в 2019 г. пришлось 41,2 % белорусского экспорта товаров и 55,9 % импорта [19]) и, следовательно, сильной корреляцией курса национальных валют этих двух стран.

Крайне остро дисбаланс в финансах проявился во время кризиса 2011 и 2015 года, сопровождавшихся значительной девальвацией белорусского рубля и, в 2011–2012 гг., крайне высокими темпами инфляции. Кроме того, внешние факторы, такие как резкое снижение цен на нефть и пандемия коронавирусной инфекции, обусловили значимые колебания курса белорусского рубля в марте 2020 года, полные последствия которых для развития белорусской экономики на момент написания статьи пока остаются неизвестными. Еще одной особенностью экономики Беларуси, отражающейся в повышенной уязвимости национальной финансовой системы к внутренним и внешним неблагоприятным факторам экономической конъюнктуры, являются высокие инфляционные ожидания населения, сформированные в результате значительных темпов инфляции и обесценения национальной валюты, имевших место с момента образования независимого белорусского государства вплоть до второй половины 2010-х годов.

Все это обуславливает крайне высокую степень актуальности исследования устойчивости состояния государственных финансов и оценки ее влияния на другие элементы национальной экономики как для мировой, так и для белорусской экономической науки. Существует значительное количество работ как зарубежных, так и белорусских авторов, посвященных указанной тематике. Среди данных работ, написанных в относительно недавнее время, можно выделить труды Р.К. Ищановой [9], О.М. Карапетян [10], Т.С. Новашиной [16], Н.А. Поветкиной и Д.А. Мейтарджяна [20], Т.И. Леонович [13], С.С. Полоника, И.С. Полоник, М.А. Смоляровой и В.В. Полоника [22], М. Бисогно, Б. Куадрато-Баллестерос, И.М. Гарсиа-Санчес [1], Э. Гумуса [2], М.П. Родригеса Боливара, А. Наварро Галеры, Л. Алкаиде Мунос, М.Д. Лопес Сабрис [3] и др.

Кроме того, факторы финансового состояния, особенно на макроуровне, находятся под пристальным вниманием государственных орга-

нов и международных организаций, таких как, например, Международный валютный фонд (МВФ), которые разрабатывают и имплементируют методологию их оценки.

Следует отметить, что механизмы и степень влияния параметров финансового состояния на устойчивость экономического роста не только в значительной степени зависят от особенностей конкретной региональной и национальной экономики, но и изменяются с течением времени, так как на них оказывают влияние направления и эффективность государственной политики, а также изменения социально-экономических условий. Это обуславливает сохранение актуальности научных исследований в этой области, несмотря на широкую степень представленности данной темы в различных научных работах.

Целью данной статьи является выявление основных научно-методических подходов к оценке параметров устойчивости финансового состояния на макроуровне и их применение для комплексного анализа положения финансовой системы Беларуси на рубеже второго десятилетия XXI века.

**Ключевые параметры финансового состояния.** Главной характеристикой стабильности финансовой системы любого государства, имеющей непосредственное влияние на благосостояние населения и устойчивого развития субъектов хозяйствования, является ценовая стабильность, т. е. поддержание низкого уровня инфляции. Именно обеспечение ценовой стабильности рассматривается в качестве основной цели денежно-кредитной политики в Беларуси [18].

Таким образом, при анализе стабильности финансовой системы и формировании экономико-математических моделей в качестве результирующего, целевого показателя целесообразно использовать именно уровень инфляции, оцениваемый при помощи индекса потребительских цен. Остальные ее характеристики, такие как показатели развития и устойчивости финансовых учреждений, государственного бюджета, курсы валют, цены природных ресурсов на мировом рынке, в данных моделях следует рассматривать в качестве факторов, оказывающих прямое либо опосредованное влияние на уровень инфляции. При этом стоит отметить, что влияние некоторых факторов может проследиваться не в том же периоде, когда происходит их изменение, а с определенным лагом.

В Беларуси, как и во всем мире, одной из важнейших характеристик финансового состоя-

ния является разработанная МВФ система индикаторов, описывающих устойчивость депозитных учреждений страны во взаимосвязи с остальными секторами национальной экономики. Данная система индикаторов получила название показателей финансовой устойчивости (ПФУ).

Расчет ПФУ осуществляется по методологии, сопоставимой с рекомендациями МВФ, разработанными еще в 2007 году. В Беларуси эти показатели ежеквартально рассчитываются Нацбанком и публикуются в открытом доступе. Источником информации для них являются данные балансов действующих белорусских банков и их отчетности [18]. Отметим, что наша республика присоединилась к расчету ПФУ в 2010 г.

Перечень ПФУ, входящих в базовый и рекомендуемый набор показателей, подробно описан в издании МВФ «Показатели финансовой устойчивости. Руководство по составлению» [21]. Данные показатели по своей сути представляют собой характеристику условий функционирования финансового сектора страны, а также отдельных операций в смежных секторах, таких как домашние хозяйства, т. е. отражают внутренние факторы стабильности финансовой системы. Вместе с тем значительное количество внешних факторов устойчивости данной системы, а также последствия ее дисбаланса остаются за рамками ПФУ, в то время как комплексный анализ устойчивости государственной финансовой системы требует учета и постоянного мониторинга указанных факторов.

Анализ научной литературы и официальных публикаций государственных органов позволяет выделить следующие основные факторы финансовой устойчивости в Беларуси:

- уровень инфляционных ожиданий населения [15];
- результативность деятельности субъектов хозяйствования во всех секторах экономики (рентабельность, доля убыточных предприятий, уровень долговой нагрузки, доля просроченной задолженности в общем кредитном портфеле);
- динамика курсов основных иностранных валют;
- опережающий рост номинальной заработной платы относительно производительности труда;
- уровень процентных ставок (ставка рефинансирования, ставки по кредитам) [4];
- уровень долларизации экономики;
- ограничение конкуренции на отдельных рынках [5];

- объемы и сбалансированность внешней торговли товарами и услугами;

- прирост денежной массы (исследуется, как правило, широкая денежная масса – денежный агрегат М3) [6; 12];

- достаточность золотовалютных резервов;

- уровень бюджетного дефицита;

- импортируемая инфляция [15];

- изменение регулируемых цен;

- различные прочие внешние факторы (например, введение международных санкций против страны или основных ее стран-партнеров, эпидемии, стихийные бедствия).

Взаимосвязь инфляции и широкой денежной массы весьма подробно рассматривается в научной литературе. Согласно положениям современной теории монетаризма, именно количество денег в экономике является основным фактором, определяющим инфляцию в долгосрочном периоде. Именно поэтому денежный агрегат М3 выступает в качестве промежуточного ориентира при осуществлении монетарного таргетирования [12].

Инфляционные ожидания рассматриваются в качестве одного из важнейших, но в то же время трудно оцениваемых из-за своего субъективного характера факторов инфляции (а, следовательно, и параметров финансовой стабильности). Эти ожидания оказывают непосредственное влияние на экономическое поведение населения и субъектов хозяйствования, в частности, зарплатные требования, повышение отпускных цен [14]. Инфляционные ожидания характеризуются значительной инерционностью. В белорусских условиях стабильно высокие инфляционные и девальвационные ожидания значительной части населения повышают уязвимость финансовой системы к внешним шокам: возникает ажиотажный спрос на иностранную валюту, на товары с длительным сроком хранения, дорогостоящую технику, который может сформировать временный дефицит и усугубить влияние шока на динамику курса белорусского рубля и уровень цен. Кроме того, завышенные инфляционные ожидания повышают склонность части населения к использованию потребительских кредитов, что может привести к росту долговой нагрузки, снижающей устойчивость финансовой системы. Высокие инфляционные ожидания поддерживают процентные ставки в республике на более высоком уровне по сравнению с мировыми.

Финансовые результаты деятельности субъектов хозяйствования, такие как прибыль и рентабельность, а также уровень их долговой нагрузки,

не оказывают прямого влияния на ценовую стабильность, однако являются важными факторами устойчивого функционирования финансовой системы страны: от них зависит готовность предприятий своевременно выплачивать кредиты, налоги, заработную плату, возобновлять краткосрочные и долгосрочные активы.

Еще одним фактором, оказывающим давление на финансовую стабильность, является т. н. импортируемая инфляция – рост отпускных цен на импортируемые товары и, что крайне важно в условиях белорусской экономики, на импортные компоненты отечественных товаров. Отмечается [15], что импортируемая инфляция может быть обусловлена двумя причинами – внешней (непосредственный рост цен на импортируемые товары в иностранной валюте) и внутренней (девальвация национальной валюты при неизменной цене товара в иностранной валюте). Импортируемая инфляция, особенно вызываемая внешними причинами, является параметром, слабо поддающимся регулированию традиционными инструментами финансовой политики. Тем не менее она оказывает значительное влияние на развитие стран с малой открытой экономикой, таких как Беларусь. Наиболее действенным решением проблемы импортируемой инфляции считается импортозамещение и изменение структуры экономики (увеличение доли в ВВП отраслей, не требующих импортного сырья), однако данные меры не всегда являются возможными или целесообразными.

Более серьезной и широко обсуждаемой проблемой для финансовой стабильности в Беларуси является снижение курса белорусского рубля к иностранным валютам (девальвация национальной валюты). Помимо влияния на рост цен, девальвация снижает доверие населения и субъектов хозяйствования к национальной валюте, обесценивает рублевые сбережения, способствует необоснованному перераспределению благ между секторами экономики и отдельными ее сферами.

Как было отмечено выше, снижение курса белорусского рубля оказывает непосредственное влияние на цены импортных товаров и компонентов, туристических услуг. Кроме того, в связи с сохраняющейся несмотря на усилия Национального банка высокой степенью долларизации экономики, во многом обусловленной недоверием к устойчивости белорусского рубля, валютные курсы иногда оказывают влияние на цены товаров, работ и услуг, не имеющих пря-

мых импортных составляющих (например, аренда недвижимости).

Следует отметить, что снижение курса белорусского рубля не приводит к немедленному увеличению цен даже на импортные товары в том же размере. Это связано с несколькими причинами, такими как издержки меню (расходы на пересмотр цен) [11], жесткость цен на некоторые товары и услуги в связи с контрактными обязательствами, а также заработных плат в краткосрочном периоде, корректировка торговых надбавок и нормы прибыли субъектов хозяйствования в результате конкурентной борьбы [12]. Степень, в которой цены корректируются в результате изменения валютного курса, называется эффектом переноса. Данный эффект при этом не является постоянной величиной и отличается не только в разных странах, но и для разных периодов наблюдений в одной и той же стране.

Исследователи отмечают [12; 25], что изменчивость эффекта переноса обусловлена стабильностью деловых циклов, зависит от общего уровня инфляции, степени открытости экономики, режима курсообразования, а также макроэкономической политики государства. Кроме того, крупные валютные шоки характеризуются, как правило, более высокой степенью переноса курсовых изменений на инфляцию, чем небольшие колебания. По оценкам А. Харитончика [26], совокупный краткосрочный эффект переноса номинального эффективного курса белорусского рубля на базовую инфляцию в период с 2004 г. по I квартал 2018 г. составил 0,21, при этом в середине 2008 г. он достиг максимального значения (около 0,4), а после снижения темпов инфляции в республике в 2017 г. равнялся в среднем около 0,13.

Непосредственно с валютными курсами связаны такие факторы финансовой стабильности, как уровень долларизации экономики, а также объемы и сбалансированность внешней торговли, отражаемые в показателях платежного баланса страны. Такое явление, как долларизация экономики, которое косвенно может быть оценено при помощи доли депозитов и кредитов в иностранной валюте, отражает степень зависимости экономики от этой валюты. Высокий уровень долларизации создает предпосылки для дестабилизации национальной финансовой системы, так как, во-первых, наличие большого количества кредитов в иностранной валюте может значительно увеличить долговую нагрузку на население и субъекты хозяйствования в случае существенных колебаний валютных курсов, во-вто-

рых, привязка стоимости большого числа товаров и услуг к иностранной валюте способствует увеличению коэффициента переноса валютных курсов на инфляцию.

Что касается объемов внешней торговли, то очевидно, что именно она является, с одной стороны, важнейшим источником валютных поступлений, и, с другой стороны, одним из основных направлений затрат иностранной валюты. Следовательно, именно этот фактор определяет спрос и предложение иностранной валюты, которые, в свою очередь, определяют курсы иностранной валюты при рыночном курсообразовании, действующем в Беларуси после 2014 г.

Процентная ставка является одним из основных инструментов денежно-кредитной политики государства [24]. Понижение ключевой ставки (в Беларуси – ставки рефинансирования) активно используется для стимулирования экономического роста за счет повышения доступности кредитных ресурсов, а повышение, напротив, – для предотвращения перегрева экономики, сдерживания спроса и, следовательно, инфляции.

В качестве еще одного из возможных факторов роста инфляции и, следовательно, дестабилизации финансовой системы страны часто рассматривается опережающий рост реальной заработной платы по сравнению с производительностью труда. В экономической литературе отмечается, что такой дисбаланс становится причиной инфляции из-за нарушения соответствия между товарной и денежной массой [8]. О важности удержания роста реальных заработных плат в рамках темпов увеличения производительности труда в Беларуси неоднократно говорили в правительстве и Национальном банке, а также в МВФ [17; 23].

Объем золотовалютных резервов, уровень государственного долга и бюджетного дефицита следует рассматривать в качестве параметров финансовой устойчивости государства в силу того, что от них зависит возможность правительств и монетарных властей осуществлять стабилизационную макроэкономическую политику (например, совершать валютные интервенции для сглаживания наиболее резких колебаний валютных курсов), привлекать необходимые для развития экономики иностранные займы.

Влияние такого фактора, как ограничения конкуренции на отдельных рынках, связан с важностью конкурентной среды для установления справедливых цен на товары и услуги (для моно-

полий не имеется достаточных мотивов для снижения цен до минимально возможного уровня).

**Моделирование взаимосвязей параметров финансового состояния.** Основным методом исследования взаимосвязей инфляции и других параметров стабильности финансовой системы государства в научной литературе является экономико-математическое моделирование [4; 6; 12; 25]. При изучении инфляционных процессов достаточно часто используются модели авторегрессии, так как они более удобны для оперативного прогнозирования инфляции в краткосрочном периоде. Тем не менее для более глубокого анализа данного явления целесообразно использовать различные факторные модели регрессии.

Для этого могут быть использованы данные, публикуемые Национальным банком Республики Беларусь [18] и Национальным статистическим комитетом Республики Беларусь [19]. На первом этапе исследования следует оценить корреляцию между выявленными ранее параметрами финансового состояния, в том числе с учетом лагов различной длины. Отметим, что статистические данные о динамике параметров финансового состояния публикуются с различной периодичностью (месяц, квартал, год), что в некоторых случаях не позволяет сформировать сопоставимый с другими показателями массив данных.

Сперва с использованием пакета Statistica 6.0 был проведен корреляционный анализ по месячным данным за 2000–2019 гг. Набор данных включал базисные индексы потребительских цен (к декабрю 1999 г.); курсы белорусского рубля к доллару США, евро, российскому рублю, а также к корзине валют; базисные темпы роста широкой денежной массы (денежный агрегат М3); долю депозитов в иностранной валюте; экспорта и импорта товаров и услуг. Исходные данные были скорректированы на сезонность и, где необходимо, приведены в соответствие с деноминацией 2016 г.

Результаты анализа в виде корреляционной матрицы представлены на рис.1.

В данной матрице размещены коэффициенты парной линейной корреляции ( $r$ ). Как видно из рисунка, индекс потребительских цен (ИПЦ) имеет статистически значимую линейную связь со всеми исследуемыми переменными.

Наиболее сильную тесноту связи ИПЦ имеет с темпами роста широкой денежной массы ( $r = 0,99$ ), а также со всеми показателями валютных курсов. При этом связь темпов инфляции с курсом российского рубля, вопреки его высо-

Correlations (Spreadsheet23)												
Marked correlations are significant at $p < ,05000$												
N=237 (Casewise deletion of missing data)												
Variable	Деп	Рефин	Дол	Евро	Рос руб	Корзина	ИПЦ баз	МЗ баз	Ex/Im	Ex/Im -1	Ex/Im -2	Ex/Im -3
Деп	1,00	0,44	0,62	0,60	0,57	0,54	0,58	0,60	0,36	0,34	0,33	0,32
Рефин	0,44	1,00	-0,31	-0,33	-0,32	-0,40	-0,34	-0,31	0,06	0,06	0,05	0,02
Дол	0,62	-0,31	1,00	1,00	0,93	0,94	0,98	0,99	0,41	0,42	0,42	0,42
Евро	0,60	-0,33	1,00	1,00	0,95	0,96	0,99	0,99	0,42	0,42	0,42	0,42
Рос руб	0,57	-0,32	0,93	0,95	1,00	0,99	0,97	0,93	0,46	0,46	0,46	0,46
Корзина	0,54	-0,40	0,94	0,96	0,99	1,00	0,98	0,94	0,43	0,43	0,44	0,44
ИПЦ баз	0,58	-0,34	0,98	0,99	0,97	0,98	1,00	0,99	0,41	0,41	0,42	0,42
МЗ баз	0,60	-0,31	0,99	0,99	0,93	0,94	0,99	1,00	0,39	0,40	0,40	0,40
Ex/Im	0,36	0,06	0,41	0,42	0,46	0,43	0,41	0,39	1,00	0,71	0,59	0,53
Ex/Im -1	0,34	0,06	0,42	0,42	0,46	0,43	0,41	0,40	0,71	1,00	0,71	0,59
Ex/Im -2	0,33	0,05	0,42	0,42	0,46	0,44	0,42	0,40	0,59	0,71	1,00	0,71
Ex/Im -3	0,32	0,02	0,42	0,42	0,46	0,44	0,42	0,40	0,53	0,59	0,71	1,00

Рис. 1. Корреляционная матрица с данными по Республике Беларусь за 2000–2019 гг. по месяцам  
 Fig. 1. Correlation matrix with data on the Republic of Belarus for 2000-2019 by month

кому удельному весу во внешнеторговом обороте республики, незначительно ниже, чем с курсом доллара и евро. Это может быть связано, во-первых, с тем, что инфляционные ожидания населения и субъектов хозяйствования в большей степени связаны с курсом указанных мировых резервных валют и, во-вторых, с тем, что значительная часть потребительских товаров (например, техники), импортируемых Беларусью из России за российские рубли, имеет как минимум частично компоненты, производимые в третьих странах, стоимость которых зависит от курса доллара и евро к российскому рублю. Следует учитывать, что на основании одних только результатов корреляционного анализа, разумеется, невозможно сделать достоверные выводы о степени влияния курсов разных валют на темпы инфляции в Беларуси. Тем не менее, они могут быть использованы для выдвижения гипотез при дальнейших исследованиях данного вопроса.

Наблюдается также связь средней тесноты с долей депозитов в иностранной валюте ( $r = 0,54$ ), отражающей уровень долларизации экономики. Кроме того, в результате корреляционного анализа была выявлена статистически значимая обратная связь между ИПЦ и ставкой рефинансирования ( $r = -0,34$ ), что подтверждает сдерживающую роль этого инструмента денежно-кредитной политики в Беларуси.

Интересно, что отношение экспорта к импорту (Ex/Im на рис. 1), рост которого должен отражать улучшение торгового баланса, как в текущем периоде, так и с лагом от 1 до 3 месяцев имеет положительную корреляцию средней силы с ИПЦ, а также с курсом белорусского рубля

к каждой из анализируемых валют и валютной корзине в целом. По всей видимости, в относительно краткосрочном периоде улучшение торгового баланса не оказывает сдерживающего влияния на инфляцию. Наличие положительной корреляции может быть объяснено тем, что ослабление курса белорусского рубля к иностранным валютам (особенно к российскому рублю, коэффициент корреляции для которого несколько выше, чем для доллара США и евро) способствует росту экспорта белорусских товаров и услуг за счет снижения их стоимости, выраженной в иностранной валюте при одновременном увеличении стоимости импортных товаров и услуг, выраженной в белорусских рублях.

Использование поквартальных данных позволит вовлечь в анализ некоторые другие переменные, в том числе показатели финансовой устойчивости. При этом по объективным причинам число наблюдений будет уменьшено. Это уменьшение усугубляется также тем, что данные по ПФУ для Беларуси имеются только с 2011 года, в связи с чем в анализе используются данные за 2011–2019 гг. Результаты корреляционного анализа для поквартальных данных представлены на рисунке 2.

Как и в предыдущем случае, исходные данные были скорректированы на сезонность. В корреляционном анализе были использованы следующие переменные: курс белорусского рубля к доллару, евро, российскому рублю и корзине валют в целом; внешний государственный долг на душу населения (в долларах США); отношение государственного долга к ВВП; отношение резервных активов (т.е. золотовалютных резервов)

Correlations (Spreadsheet53)																					
Marked correlations are significant at $p < .05000$																					
N=35 (Casewise deletion of missing data)																					
Variable	USD_1	EUR_1	RUB_1	КОРЗИНА_1	Долг на душу_1	Долг/ВВП_1	Рез. Акт / ВВД_1	X8_1	X9_1	X10_1	X11_1	X21_1	X22_1	X23_1	X24_1	X25_1	X26_1	X27_1	ИПЦБАЗ_1	МЗБАЗ_1	
USD_1	1.00	0.99	0.77	0.92	0.73	0.84		-0.27	-0.25	-0.26	0.63	0.64	-0.65	-0.74	-0.17	0.52	-0.80	-0.03	-0.20	0.97	0.98
EUR_1	0.99	1.00	0.81	0.94	0.77	0.82		-0.22	-0.27	-0.29	0.62	0.64	-0.60	-0.71	-0.18	0.53	-0.80	-0.01	-0.19	0.98	0.98
RUB_1	0.77	0.81	1.00	0.95	0.68	0.64		0.20	-0.07	-0.12	0.52	0.58	-0.30	-0.37	-0.44	0.67	-0.50	-0.04	0.06	0.83	0.77
КОРЗИНА_1	0.92	0.94	0.95	1.00	0.78	0.74		-0.04	-0.19	-0.24	0.58	0.62	-0.48	-0.55	-0.42	0.70	-0.64	-0.05	0.01	0.95	0.91
Долг на душу_1	0.73	0.77	0.68	0.78	1.00	0.43		-0.32	-0.60	-0.64	0.33	0.37	-0.30	-0.49	-0.44	0.58	-0.61	-0.09	0.30	0.84	0.79
Долг/ВВП_1	0.84	0.82	0.64	0.74	0.43	1.00		-0.27	-0.07	-0.04	0.85	0.86	-0.77	-0.73	0.04	0.39	-0.63	-0.25	-0.47	0.75	0.75
Рез. Акт / ВВД_1	-0.27	-0.22	0.20	-0.04	-0.32	-0.27	1.00	0.68	0.68	0.63	-0.35	-0.26	0.65	0.61	0.04	-0.17	0.27	0.46	-0.06	-0.20	-0.21
X8_1	-0.25	-0.27	-0.07	-0.19	-0.60	-0.07	0.68	1.00	0.98	-0.18	-0.10	0.28	0.45	0.18	-0.20	0.41	0.20	-0.27	-0.33	-0.30	-0.30
X9_1	-0.26	-0.29	-0.12	-0.24	-0.64	-0.04	0.63	0.98	1.00	-0.17	-0.10	0.22	0.42	0.24	-0.24	0.40	0.23	-0.34	-0.36	-0.31	-0.31
X10_1	0.63	0.62	0.52	0.58	0.33	0.85	-0.35	-0.18	-0.17	1.00	0.97	-0.78	-0.74	-0.02	0.41	-0.41	-0.54	-0.29	0.57	0.53	0.53
X11_1	0.64	0.64	0.58	0.62	0.37	0.86	-0.26	-0.10	-0.10	0.97	1.00	-0.70	-0.67	-0.01	0.40	-0.39	-0.56	-0.27	0.59	0.56	0.56
X21_1	-0.65	-0.60	-0.30	-0.48	-0.30	-0.77	0.65	0.28	0.22	-0.78	-0.70	1.00	0.85	0.09	-0.44	0.42	0.42	0.27	-0.51	-0.53	-0.53
X22_1	-0.74	-0.71	-0.37	-0.55	-0.49	-0.73	0.61	0.45	0.42	-0.74	-0.67	0.85	1.00	-0.10	-0.25	0.71	0.33	0.25	-0.67	-0.70	-0.70
X23_1	-0.17	-0.18	-0.44	-0.42	-0.44	0.04	0.04	0.18	0.24	-0.02	-0.01	0.09	-0.10	1.00	-0.90	-0.21	0.16	-0.68	-0.25	-0.14	-0.14
X24_1	0.52	0.53	0.67	0.70	0.58	0.39	-0.17	-0.20	-0.24	0.41	0.40	-0.44	-0.25	-0.90	1.00	-0.08	-0.29	0.44	0.55	0.46	0.46
X25_1	-0.80	-0.80	-0.50	-0.64	-0.61	-0.63	0.27	0.41	0.40	-0.41	-0.39	0.42	0.71	-0.21	-0.08	1.00	-0.26	0.36	-0.80	-0.83	-0.83
X26_1	-0.03	-0.01	-0.04	-0.05	-0.09	-0.25	0.46	0.20	0.23	-0.54	-0.56	0.42	0.33	0.16	-0.29	-0.26	1.00	-0.24	-0.01	0.04	0.04
X27_1	-0.20	-0.19	0.06	0.01	0.30	-0.47	-0.06	-0.27	-0.34	-0.29	-0.27	0.27	0.25	-0.68	0.44	0.36	-0.24	1.00	-0.04	-0.13	-0.13
ИПЦБАЗ_1	0.97	0.98	0.83	0.95	0.84	0.75	-0.20	-0.33	-0.36	0.57	0.59	-0.51	-0.67	-0.25	0.55	-0.80	-0.01	-0.04	1.00	0.99	0.99
МЗБАЗ_1	0.98	0.98	0.77	0.91	0.79	0.75	-0.21	-0.30	-0.31	0.53	0.56	-0.53	-0.70	-0.14	0.46	-0.83	0.04	-0.13	0.99	1.00	1.00

Рис. 2. Корреляционная матрица с данными по Республике Беларусь за 2011–2019 гг. по кварталам  
 Fig. 2. Correlation matrix with data on the Republic of Belarus for 2011–2019 by quarters

к валовому внешнему долгу; ПФУ: отношение нормативного капитала к активам, взвешенным по риску (X8), отношение нормативного капитала первого уровня к активам, взвешенным по риску (X9), отношение необслуживаемых кредитов и займов за вычетом созданных резервов к капиталу (X10), отношение необслуживаемых кредитов и займов к совокупным валовым кредитам и займам (X11), норма прибыли на активы (X21), норма прибыли на собственный капитал (X22), отношение прибыли по процентам к валовому доходу (X23), отношение непроцентных расходов к валовому доходу (X24), коэффициент ликвидных активов (X25), отношение ликвидных активов к краткосрочным обязательствам (X26), отношение чистой открытой валютной позиции к капиталу (X27); базисный ИПЦ; динамика широкой денежной массы (агрегат М3).

Анализ данных по кварталам подтвердил наличие крайне тесной связи уровня инфляции с приростом широкой денежной массы, а также с курсами валют. При этом ранее отмеченный разрыв в тесноте связи инфляции с курсом доллара и евро (коэффициент корреляции составил 0,97 и 0,98 соответственно) с одной стороны и с курсом российского рубля ( $r = 0,83$ ) – с другой при использовании поквартальных данных становится более выраженным.

Также была выявлена тесная положительная связь ИПЦ с показателями внешнего долга – внешним государственным долгом на душу населения ( $r = 0,84$ ) и отношением государственного долга к ВВП ( $r = 0,75$ ). В то же время не удалось установить наличие статистически значимой связи ИПЦ с обеспеченностью резервными активами.

Коэффициенты корреляции, относящиеся к ПФУ, позволяют оценить, как инфляция и другие параметры финансовой стабильности влияют на устойчивость развития финансового сектора страны. Так, наиболее тесную отрицательную связь ( $r = -0,8$ ) ИПЦ имеет с отношением ликвидных активов к совокупным активам (коэффициентом ликвидных активов). По всей видимости, это связано с тем, что высокие темпы инфляции стимулируют финансовые учреждения к долгосрочным вложениям в менее ликвидные активы, т. к. это позволяет получить больший доход, который перекроет потери за счет обесценения денег.

Переход к данным в годовом выражении позволит проанализировать взаимосвязь превышения темпов роста реальной заработной платы над ростом производительности труда, рентабельности продаже и инфляции. Результаты корреляционного анализа представлены на рисунке 3.

Как видно из корреляционной матрицы на рис. 3, в результате анализа статистически значимая связь между этими тремя показателями выявлена не была.

В ходе корреляционного анализа был установлен ряд важных закономерностей в динамике параметров устойчивости финансовой системы в Беларуси. Вместе с тем необходимо отметить, что между большинством переменных, участвующих в этих взаимосвязях, имеется ярко выраженная мультиколлинеарность, что не позволяет построить надежные сложные многофакторные модели. По этой причине при дальнейшем осуществлении регрессионного анализа авторы сконцентрировались на однофакторных регрессионных моделях.

Correlations (Spreadsheet3)								
Marked correlations are significant at $p < ,05000$								
N=15 (Casewise deletion of missing data)								
Variable	Рент продаж	Ставка реф.	USD	EUR	RUB	Корзина	РЗП/ПТ	ИПЦ баз., %
Рент продаж	1,00	0,36	-0,00	0,00	0,09	0,06	0,08	-0,02
Ставка реф.	0,36	1,00	0,20	0,23	0,45	0,41	0,21	0,27
USD	-0,00	0,20	1,00	1,00	0,92	0,95	-0,14	0,98
EUR	0,00	0,23	1,00	1,00	0,94	0,97	-0,12	0,99
RUB	0,09	0,45	0,92	0,94	1,00	0,99	0,04	0,97
Корзина	0,06	0,41	0,95	0,97	0,99	1,00	-0,04	0,98
РЗП/ПТ	0,08	0,21	-0,14	-0,12	0,04	-0,04	1,00	-0,10
ИПЦ баз., %	-0,02	0,27	0,98	0,99	0,97	0,98	-0,10	1,00

Рис. 3. Корреляционная матрица с данными по Республике Беларусь за 2004–2019 гг. по годам  
Fig. 3. Correlation matrix with data on the Republic of Belarus for 2004–2019 by year

Традиционный эконометрический метод, такой как регрессионный анализ, использующий оценку по методу наименьших квадратов, однако, имеет и ряд иных существенных ограничений, в частности, требование к стационарности рядов исследуемых переменных, либо же их коинтеграции. Авторы провели ряд тестов (тест Энгла – Грейнджера) на наличие коинтеграции поквартальных и помесячных показателей ИПЦ с показателями валютных курсов (доллар США, евро, российский рубль, корзина валют), а также темпами роста широкой денежной массы. В результате этих тестов было выявлено отсутствие коинтеграции, что не позволяет построить по этим данным уравнения регрессии (возможно возникновение ложной регрессии).

Вместе с тем взаимосвязи данных параметров в Беларуси и без этого являются достаточно хорошо изученными: их моделирование осуществлено, в частности, в работах [4; 12; 25].

Авторами также были проведены тесты на наличие коинтеграции между ИПЦ и широкой денежной массой с одной стороны и некоторыми ПФУ, с которыми в результате корреляционного анализа была выявлена статистически значимая его корреляция, с другой. В результате этих тестов была выявлена коинтеграция между коэффициентом ликвидных активов и денежным агрегатом М3, а также между агрегатом М3 и нормой прибыли на собственный капитал. Наличие коинтеграции позволяет смоделировать указанные взаимосвязи при помощи уравнения регрессии.

На рисунке 4 представлена диаграмма рассеяния для широкой денежной массы (X) и коэффициента ликвидных активов (Y), на основании которой с определенной степенью допущения, учитывая также высокий уровень парного

линейного коэффициента корреляции Пирсона ( $r = -0,83$ ), принять возможность аппроксимации данной связи уравнением линейной регрессии.

Параметры уравнения регрессии были оценены в пакете Statistica 6.0, при этом выявленная положительная автокорреляция была устранена обобщенным методом наименьших квадратов, а гомоскедастичность остатков проверена с помощью критерия Парка. В результате уравнение регрессии, описывающее зависимость коэффициента ликвидных активов от роста широкой денежной массы, приняло следующий вид:

$$Y_t = 44,0 - 0,00029 \cdot X_t + u_t \quad (1)$$

t-статистика: 12,5    -5,2

$$F(1,32) = 27,1 \quad R^2 = 45,8 \%$$

Данная модель является статистически значимой по F-критерию Фишера, а все ее параметры – по t-критерию Стьюдента. Коэффициент детерминации, равный 45,8 %, позволяет сделать вывод, что рост широкой денежной массы в стране является достаточно существенной, пусть и далеко не единственной причиной снижения коэффициента ликвидных активов финансовых организаций. В соответствии с моделью, при ускорении темпов роста денежного агрегата М3 на 1 п. п. коэффициент ликвидных активов сокращается в среднем на 0,00029 п. п.

Наличие коинтеграции также позволяет смоделировать взаимосвязь темпов роста денежного агрегата М3 (X) и нормы прибыли на собственный капитал в финансовом секторе Республики Беларусь (Y). Диаграмма рассеяния для этой связи представлена на рисунке 5.

После устранения автокорреляции остатков уравнение регрессии приняло следующий вид:

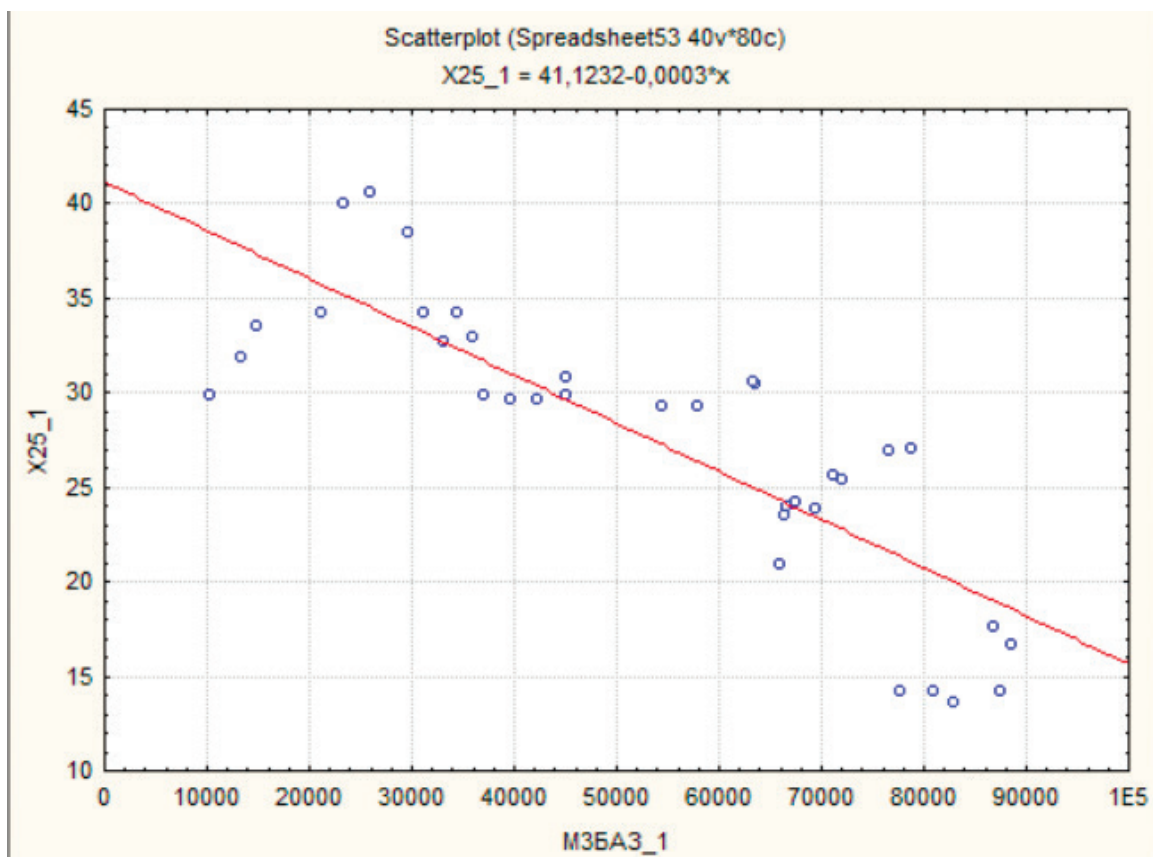


Рис. 4. Диаграмма рассеяния для темпов роста денежного агрегата М3 и коэффициента ликвидных активов в Республике Беларусь за 2011–2019 гг. (на основе поквартальных данных)

Fig. 4. Scatter plot for the growth rates of the monetary aggregate M3 and liquid assets ratio in the Republic of Belarus for 2011–2019 (based on quarterly data)

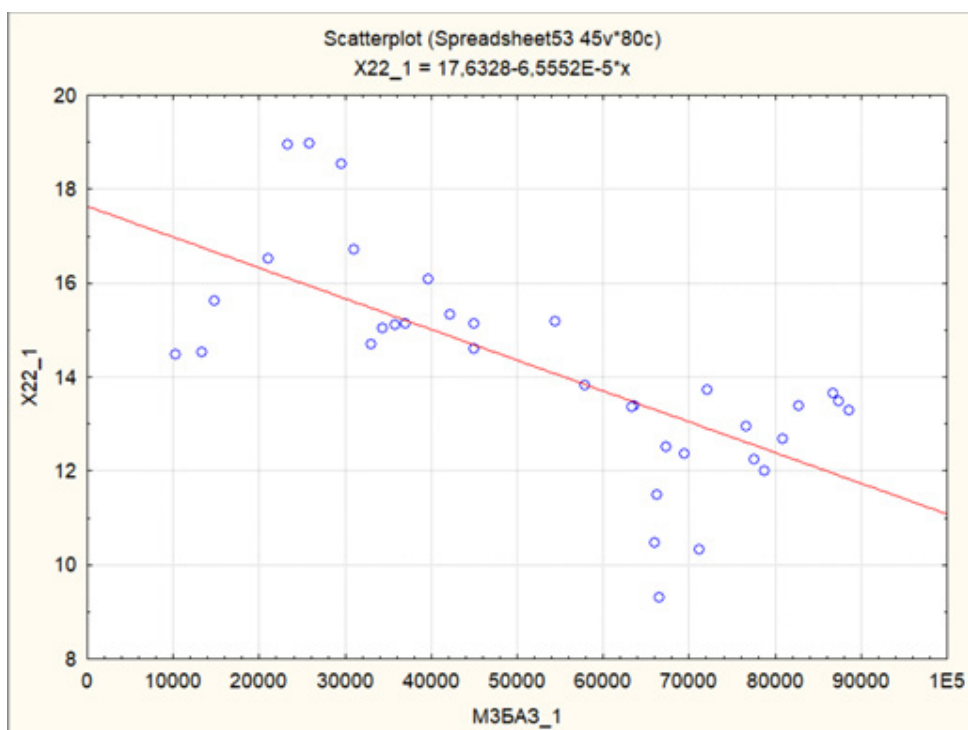


Рис. 5. Диаграмма рассеяния для темпов роста денежного агрегата М3 и нормы прибыли на собственный капитал в финансовом секторе Республики Беларусь за 2011–2019 гг. (на основе поквартальных данных)

Fig. 5. Scatter plot for the growth rates of the monetary aggregate M3 and the rate of return on equity in the financial sector of the Republic of Belarus for 2011–2019 (based on quarterly data)



$$Y_t = 19,184 - 0,000085 \cdot X_t + u_t. \quad (2)$$

*t*-статистика: 10,64      -3,04  
F (1,32) = 9,26      R<sup>2</sup> = 22,5 %

На основании данной модели можно сделать вывод, что более 20 % вариации нормы прибыли на капитал в финансовом секторе объясняется вариацией темпов роста широкой денежной массы в республике. При увеличении темпов роста денежного агрегата М3 на 1 п. п. норма прибыли на собственный капитал сокращается в среднем на 0,000085 п. п.

**Заключение.** Таким образом, в результате проведенного исследования были выявлены параметры финансового состояния Республики Беларусь, имеющие статистически значимое влияние на темпы инфляции в стране, сдерживание которых является основной целью денежно-кредитной политики. К этим параметрам относятся: темпы роста широкой денежной массы (денежный агрегат М3), курс белорусского рубля к доллару, евро, российскому рублю и валютной корзине в целом, уровень долларизации экономики, уровень долговой нагрузки.

В то же время проведенный анализ не позволил подтвердить гипотезу о наличии в краткосрочном периоде статистически значимого влияния на темпы инфляции опережающего роста реальной заработной платы по сравнению с

производительностью труда, а также колебаний соотношения экспорта и импорта товаров и услуг.

Определенный интерес для дальнейшего исследования представляет также определение степени влияния курсов отдельных валют на инфляцию в республике: результаты корреляционного анализа, в первую очередь проведенного на поквартальных данных, позволяют выдвинуть гипотезу о более значительном влиянии курсов доллара США и евро на рост цен в Республике Беларусь по сравнению с долей этих валют во внешне-торговых операциях страны.

Также была выявлена ограниченность применения традиционных эконометрических методов, таких как регрессионный анализ с использованием метода наименьших квадратов, для описания взаимосвязей параметров финансовой стабильности в Республике Беларусь в связи с отсутствием их коинтеграции.

Вместе с тем регрессионный анализ позволил смоделировать взаимосвязь темпов инфляции и вызывающего ее инфляционного роста широкой денежной массы с некоторыми из показателей финансовой устойчивости, разработанных МВФ для финансового сектора, в частности, нормой прибыли на собственный капитал и отношением ликвидных активов к совокупным активам (коэффициентом ликвидных активов).

## Список литературы

1. Bisogno, M. Financial Sustainability in Local Governments: Definition, Measurement and Determinants / M. Bisogno, B. Cuadrado-Ballesteros, I.M. García-Sánchez // *Financial Sustainability in Public Administration* / ed. M.P. Rodríguez Bolívar. – Cham, 2017: Palgrave Macmillan. – PP. 57–83. – [https://doi.org/10.1007/978-3-319-57962-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57962-7_3).
2. Gümüş, E. Examination of Financial Sustainability in Turkey (2002–2018) / E. Gümüş // *Journal of Finance and Bank Management*. – 2019. – Vol. 7. – No. 2. – PP. 37–46. – DOI: 10.15640/jfbm.v7n2a3.
3. Rodríguez Bolívar, M.P. Risk Factors and Drivers of Financial Sustainability in Local Government: An Empirical Study / M. P. Rodríguez Bolívar, A. Navarro Galera, L. Alcaide Muñoz, M. D. López Subirés // *Local Government Studies*. – 2016. – Vol. 42. – No. 1. – PP. 29–51. – DOI: 10.1080/03003930.2015.1061506.
4. Абакумова, Ю. Г. Моделирование и краткосрочное прогнозирование инфляции / Ю. Г. Абакумова, С. Ю. Бокова // *Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 5: Эканоміка. Сацыялогія. Біялогія*. – 2017. – Т. 7. – №2. – С. 104–114.
5. Авраменко, А.И. Инфляция как индикатор устойчивости социально-экономического развития и экономической безопасности страны / А.И. Авраменко // *Проблемы борьбы с преступностью и подготовки кадров для правоохранительных органов: тез. докл. Межд. науч.-практ. конф., Минск, 21 фев. 2019 г. / Академия МВД*. – Минск: Академия МВД, 2019. – С. 101–102.
6. Башлакова, О.С. Эконометрическая оценка денежного предложения и инфляции в Республике Беларусь / О.С. Башлакова, Л.Н. Марченко // *Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины*. – 2016. – № 6 (99). – С. 65–68.
7. Беларусь в цифрах, 2020: стат. справочник / Нац. стат. комитет Респ. Беларусь; [редкол.: И.В. Медведева (пред.) и др.]. – Минск, 2020. – 72 с.

8. Боровик, Л.С. Взаимосвязь производительности и оплаты труда: сравнительная динамика и проблемы оптимизации // Л.С. Боровик, Г.Л. Вардеванян // *Белорусский экономический журнал*. – 2008. – № 1. – С. 70–79.
9. Ищанова, Р. К. Устойчивость государственного бюджета как прочность финансовой основы государства / Р.К. Ищанова // *Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета*. – 2018. – Т. 18. – № 11. – С. 44–48.
10. Карапетян, О.М. Кредитный рейтинг как инструмент воздействия на индикаторы финансовой устойчивости государства / О.М. Карапетян // *Наука и экономика*. – 2013. – Т.1. – №4(32). – С. 75–79.
11. Картаев, Ф. С. Издержки меню, монетарная политика и долгосрочный экономический рост / Ф. С. Картаев // *Научные исследования экономического факультета. Электронный журнал экономического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова*. – 2012. – Т. 4. – № 2. – С. 37–48.
12. Картун, А. Эффект переноса обменного курса на инфляцию в Республике Беларусь и оценка его изменений / А. Картун, А. Харитончик // *Банкаўскі веснік*. – 2016. – № 9 (638). – С. 3–11.
13. Леонович, Т.И. Совершенствование методики анализа финансовой устойчивости банков Республики Беларусь в посткризисной экономике / Т.И. Леонович // *Российская экономика: взгляд в будущее: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 21 февр. 2018 г.* – Тамбов: Тамбов. гос. ун-т им. Г.Р. Державина, 2018. – С. 326–337.
14. Лолейт, А. Инфляционные ожидания экономических агентов в России / А. Лолейт // *Экономическая политика*. – 2011. – № 6. – С. 34–59.
15. Любан, В.В. Роль немонетарных факторов в управлении инфляционными процессами в Республике Беларусь / В. В. Любан // *Экономика и управление*. – 2015. – № 3(43). – С. 20–23.
16. Новашина, Т.С. Институциональная основа обеспечения устойчивости национальных финансовых систем государств – членов ЕврАзЭС в условиях финансовой глобализации / Т.С. Новашина // *Вестник Московского университета. Серия 27: Глобалистика и геополитика*. – 2014. – № 3–4. – С. 95–104.
17. Орешко, А. ЕАБР обращает внимание на увеличение потребительской активности в Беларуси / А. Орешко. – TUT.BY [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://news.tut.by/economics/593066.html>. – Дата доступа: 09.04.2020.
18. Официальный сайт Национального банка Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. банк Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://www.nbrb.by>. – Дата доступа: 09.04.2020.
19. Официальный сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by>. – Дата доступа: 09.04.2020.
20. Поветкина, Н.А. «Independent fiscal institution» в механизме обеспечения финансовой устойчивости государства / Н.А. Поветкина, Д.А. Мейтарджян // *Журнал зарубежного законодательства и сравнительного правоведения*. – 2018. – № 3(70). – С. 113–117.
21. Показатели финансовой устойчивости. Руководство по составлению [Электронный ресурс] / Межд. вал. фонд. – Режим доступа: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/fsi/guide/2006/pdf/rus/guide.pdf>. – Дата доступа: 09.04.2020.
22. Полоник, С.С. Методология разработки финансовой программы Республики Беларусь на среднесрочную перспективу / С.С. Полоник, И.С. Полоник, М.А. Смолярова, В.В. Полоник // *Новая экономика*. – 2017. – № 1(69). – С. 15–26.
23. Реальные зарплаты в 6 раз опережают производительность труда. В чем проблема и при чем тут бюджетники. – TUT.BY [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://finance.tut.by/news666863.html>. – Дата доступа: 09.04.2020.
24. Хамидова, С.Х. Ставка рефинансирования – главный инструмент денежно-кредитного регулирования / С.Х. Хамидова // *Вестник ТГУПБ*. – 2012. – № 2. – С. 146–155.
25. Харитончик, А. Нелинейность эффекта переноса обменного курса на инфляцию в Республике Беларусь / А. Харитончик, А. Картун // *Банкаўскі веснік*. – 2017. – № 3 (644). – С. 15–24.
26. Харитончик, А. Новые оценки эффекта переноса валютного курса на инфляцию в Республике Беларусь / А. Харитончик // *Банкаўскі веснік*. – 2019. – № 3. – С. 26–32.

## References

1. Bisogno M. Cuadrado-Ballesteros B., García-Sánchez I. M. Financial Sustainability in Local Governments: Definition, Measurement and Determinants. *Financial Sustainability in Public Administration*. Ed. M.P. Rodríguez Bolívar. Cham, 2017: Palgrave Macmillan. PP. 57–83. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-57962-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57962-7_3).
2. Gümüş E. Examination of Financial Sustainability in Turkey (2002–2018). *Journal of Finance and Bank Management*. 2019. Vol. 7. No. 2. PP. 37–46. DOI: 10.15640/jfbm.v7n2a3.
3. Rodríguez Bolívar M.P. Navarro Galera A., Alcaide Muñoz L., López Subirés M. D. Risk Factors and Drivers of Financial Sustainability in Local Government: An Empirical Study. *Local Government Studies*. 2016. Vol. 42. No. 1. PP. 29–51. DOI: 10.1080/03003930.2015.1061506.
4. Abakumova J. G., Bokova S. J. Modeling and short-term forecasting of inflation. *Vesnik Grodzenskaga dzyarzhavnaga universiteta imya Yanki Kupaly. Seruya 5: Ekanomika. Sacyjalogiya. Biyalogiya*. [Bulletin of the Yanka Kupala State University of Grodno. Series 5: Economics. Sociology. Biology.] 2017. T. 7. №2. pp. 104 – 114.
5. Avraamenka A. I. Inflation as an indicator of the sustainability of socio-economic development and economic security of the country. *Problems of Combating Crime and Training Personnel for Law Enforcement Agencies: thesis report of the*

international scientific and practical conference, Minsk, 21 Feb. 2019 y. Akademiya MVD. Minsk: Akademiya MVD [MIA Academy. – Minsk: MIA Academy], 2019. pp. 101-102.

6. Bashlakova O. S., Marchenko L. N. Econometric estimation of money supply and inflation in the Republic of Belarus. Izvestija Gomelskogo gosudarstvennogo universiteta imeni F. Skoriny. [Bulletin of F. Skorina Gomel State University]. 2016. № 6 (99). pp. 65-68.

7. Belarus in Figures, 2020: stat. directory. National Statistical Committee of the Republic of Belarus; [editorial board I. V. Medvedeva (chairman) and another]. Minsk, 2020. 72 p.

8. Borovik L. S., Vardevanyan G. L. The relationship between productivity and wages: comparative dynamics and optimization problems. Belorusskij ekonomicheskij zhurnal [Belarusian Economic Journal]. 2008. № 1. pp. 70-79.

9. Ishchanova R. K. The stability of the state budget as the strength of the financial basis of the state. Vestnik Kyrgyzsko-Rosijsskogo Slavjanskogo universitete [Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University]. 2018. T. 18. № 11. pp. 44-48.

10. Karapetyan O. M. Credit rating as a tool for influencing the indicators of state financial stability. Nayka i ekonomika [Science and economics]. 2013. T. 1. №4(32). pp. 75-79.

11. Karatayev F. S. Menu costs, monetary policy and long-term economic growthp. Nauchnyje issledovanija 'konomicheskogo fakulteta. Elektronnyj zhurnal ekonomicheskogo fakulteta MGU imeni M.V. Lomonosova [Scientific research of the Faculty of Economics. Electronic journal of the Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University]. 2012. T. 4. №2. pp. 37-48.

12. Kartun A., Haritonchik A. The effect of exchange rate pass-through on inflation in the Republic of Belarus and assessment of its changes. Bankauski vesnik [Banking Bulletin]. 2016. №9 (638). pp. 3-11.

13. Leonovich T. I. Improving the methodology for analyzing the financial stability of banks of the Republic of Belarus in the post-crisis economy. Rossijskaja ekonomika: vzglyad v budushcheje [Russian economy: a look into the future]: materials of the IV Int. scientific-practical conf., Tambov, 21 Feb. 2018 y. Tambov: Tambov. state University named after. G.R. Derzhavin, 2018. pp. 326-337.

14. Lolejt A. Inflationary expectations of economic agents in Russia. Ekonomicheskaja politika [Economic policy]. 2011. - №6. pp. 34-59.

15. Luban V. V. The role of non-monetary factors in the management of inflationary processes in the Republic of Belarus. Ekonomika i upralenije [Economics and Management]. 2015. №3(43). pp. 20-23.

16. Novashina T. S. Institutional framework for ensuring the sustainability of the national financial systems of the EurAsEC member states in the context of financial globalization. Vestnik Moskovskogo Universiteta. Serija 27: Globalistika i Geopolitika [Moscow University Bulletin. Episode 27: Global Studies and Geopolitics]. 2014. №3-4. pp. 95-104.

17. Oreshko A. EDB draws attention to increased consumer activity in Belarus. Available at: <https://news.tut.by/economics/593066.html>.(accessed: 09.04.2020).

18. Official site of the National Bank of the Republic of Belarus. Available at: <http://www.nbrb.by>.(accessed: 09.04.2020).

19. Official site of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus. Available at: <http://www.belstat.gov.by>.(accessed: 09.04.2020).

20. Povetkina N.A. Mejtardzhan D.A. «Independent fiscal institution» in the mechanism of ensuring the financial stability of the state. Zhurnal zarubezhnogo zakonodadstva i sravnitel'nogo pravovedenija. 2018. №3(70). pp. 113-117.

21. Indicators of financial stability. Compilation guide. Int. curr. fund. Available at: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/fsi/guide/2006/pdf/rus/guide.pdf>.(accessed: 09.04.2020).

22. Polonik S.S., Polonik I.S., Smolyarova M.A., Polonik V.V. Methodology for developing the financial program of the Republic of Belarus for the medium term. Novaja ekonomika [New Economy]. 2017. № 1(69).pp. 15-26.

23. Real wages are 6 times higher than labor productivity. What is the problem and what does the state employees have to do with it. Available at: <https://finance.tut.by/news666863.html>. (accessed: 09.04.2020).

24. Hamidova S.H. Refinancing rate is the main instrument of monetary regulation. Vestnik TGUPB [Bulletin of TSUPB]. 2012. №2. pp. 146-155.

25. Haritonchik, A., Kartun A. Nonlinearity of the exchange rate pass-through effect on inflation in the Republic of Belarus. Bankauski vesnik [Banking Bulletin]. 2017. № 3(644). pp. 15-24.

26. Haritonchik A. New estimates of the effect of exchange rate pass-through on inflation in the Republic of Belarus. Bankauski vesnik [Banking Bulletin]. 2019. № 3. pp. 26-32.

*Received: 25.03.2021*

*Поступила: 25.03.2021*

## ТИБО: Беларусь – страна цифровых возможностей



С 1 по 4 июня 2021 г. в Минске проходил XXVII Международный ИКТ-форум ТИБО-2021, включающий в себя выставку и обширную деловую программу. Организатором мероприятия традиционно выступило Министерство связи и информатизации Республики Беларусь при участии представителей государства, бизнеса, профессионального и научного сообщества, международных экспертов. Технический устроитель форума: ЗАО «Техника и коммуникации».

В структуре экспозиции ТИБО-2021 был выделен ряд тематических направлений: телекоммуникационная и сетевая инфраструктура; телевизионные, мультимедийные и игровые технологии; программные средства; цифровое издательство и полиграфия; интернет технологии и услуги; робототехника; технологии «умного города и региона»; системы и технологии безопасности; системы автоматизированного проектирования и управления; современные технологические тренды; IEM системы и ERP платформы; отраслевые решения.

В выставке ТИБО-2021 приняла участие 141 организация из 10 стран мира (Азербайджан, Беларусь, Германия, Казахстан, Китай, Латвия, Россия, Узбекистан, Франция, Япония).

На экспозиции ТИБО-2021 были представлены крупнейшие отечественные и зарубежные производители телекоммуникационного оборудования, аппаратных средств и программного обеспечения, компании-операторы мобильной и фиксированной связи, разработчики



и поставщики высокотехнологичных продуктов, систем безопасности, интеллектуальных решений и сервисов для массового и корпоративного сегмента.

Центральную экспозицию на выставке ТИБО-2021 занимал стенд «Беларусь – страна цифровых возможностей». Здесь были представлены инновационные разработки в сфере информационных технологий государственных органов и белорусских ИТ-компаний, а также возможности их эффективного применения в различных сферах деятельности.

Насыщенная деловая программа форума ТИБО-2021 включала 34 тематических мероприятия, среди которых III Евразийский цифровой форум, IV Белорусский ИКТ Саммит, форум «Цифровая экономика», региональный семинар-тренинг Международного союза электросвязи «Опыт внедрения и эксплуатации сетей подвижной электросвязи пятого поколения 5G» и другие.

В деловой программе форума ТИБО-2021 приняли участие 4 823 руководителей и специалистов из 17 стран мира.

В рамках форума ТИБО-2021 состоялось подведение итогов конкурса Интернет-премии ТИБО-2021, конкурса стартапов Belarus ICT Startup Award, а так же состоялся Белорусский Национальный отборочный этап V Международной Scratch-Олимпиады по креативному программированию среди школьников.

Видео и фотоматериалы можно найти на официальном сайте [tibo.by](http://tibo.by).



## Анализ и синтез маршевых тестов запоминающих устройств

**В. Н. Ярмолик**, д. т. н., профессор, профессор кафедры программного обеспечения информационных технологий  
E-mail: Yarmolik@bsuir.by

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

**В. А. Леванцевич**, м. т. н., старший преподаватель кафедры программного обеспечения информационных технологий  
E-mail: Lvn@bsuir.by

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

**Д. В. Деменковец**, м. т. н., старший преподаватель кафедры программного обеспечения информационных технологий  
E-mail: Demenkovets@bsuir.by

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

**Аннотация.** В статье показывается актуальность тестирования запоминающих устройств современных вычислительных систем. Представляются математические модели неисправностей запоминающих устройств и эффективность их обнаружения, в частности, сложных кодочувствительных неисправностей типа PNPSFk, на базе классических маршевых тестов. Приводятся предельные оценки полноты покрытия подобных неисправностей в зависимости от количества запоминающих ячеек, участвующих в неисправности. Обосновывается необходимость синтеза маршевых тестов, характеризующихся высокой эффективностью обнаружения PNPSFk неисправностей. Определяется понятие примитива, обеспечивающего условия активизации и обнаружения различных видов PNPSFk. Приводятся примеры анализа и синтеза маршевых тестов, имеющих различную полноту покрытия PNPSFk неисправностей. Синтезируется маршевый тест March OP, характеризующийся максимальной полнотой покрытия неисправностей PNPSFk и имеющий минимальную временную сложность по сравнению с известными маршевыми тестами, обеспечивающими такую же полноту покрытия сложных неисправностей запоминающих устройств.

**Ключевые слова:** тестирование вычислительных систем, неисправности памяти, кодочувствительные неисправности, маршевые тесты, псевдоисчерпывающие тесты

**Для цитирования:** Ярмолик, В. Н. Анализ и синтез маршевых тестов запоминающих устройств / В. Н. Ярмолик, В. А. Леванцевич, Д. В. Деменковец // Цифровая трансформация. – 2021. – № 2 (15). – С. 45–55.



© Цифровая трансформация, 2021

## Analysis and Synthesis March Memory Tests

**V. N. Yarmolik**, Doctor of Science (Technical), Professor,  
Professor of Information Technology Software Department  
E-mail: Yarmolik@bsuir.by

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

**V. A. Levantsevich**, Master of Science (Technology),  
Senior Lecturer of the Information Technology  
E-mail: Lvn@bsuir.by

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

**D. V. Demenkovets**, Master of Science (Technology),  
Senior Lecturer of the Information Technology

**Abstract.** The paper shows the relevance of testing storage devices in modern computing systems. Mathematical models of memory device faults and the efficiency of their detection, in particular, complex pattern sensitive faults of the PNPSFk type, based on classical march memory tests are presented. Limit estimates are given for the completeness of coverage of such faults depending on the number of memory cells involved in the fault. The necessity of synthesis of memory march tests characterized by high efficiency of PNPSFk failure detection is substantiated. The concept of a primitive providing conditions for activation and detection of various types of PNPSFk is defined. Examples of analysis and synthesis of memory march tests with different coverage of PNPSFk faults are given. The March OP memory test is synthesized, which is characterized by the maximum completeness of PNPSFk fault coverage and has the lowest time complexity compared to the known memory march tests, which provide the same comprehensiveness of coverage of complex memory device faults.

**Key words:** computer systems testing, memory faults, pattern sensitive faults, march tests, pseudo-exhaustive tests

**For citation:** Yarmolik V. N., Levantsevich V. A., Demenkovets D. V. Analysis and Synthesis March Memory Tests. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 2 (15), pp. 45–55 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

**Введение.** Проблема тестирования запоминающих устройств современных вычислительных систем, таких как *встроенные системы (embedded systems), системы на кристалле (systems-on-a-chip) и сети на кристалле (nets-on-a-chip)* является весьма актуальной задачей [1–3]. Для подобных вычислительных систем характерным является неуклонное увеличение емкости их запоминающих устройств, удельный вес которых достигает 94% занимаемой системой площади кристалла [4, 5]. Наряду с увеличением емкости запоминающих устройств (памяти) возрастают требования к их надежности, что достигается применением эффективных методов тестового диагностирования [6].

Тестирование запоминающих устройств с целью обнаружения различных их неисправностей предполагает запись в запоминающее устройство всевозможных его состояний и их считывание, что приводит к нереально большой сложности теста, так как сложность самой тестовой процедуры пропорциональна величине  $2^N$ , где  $N$  – емкость памяти в битах. Поэтому в настоящее время широко применяются на практике и по-прежнему разрабатываются тесты, которые имеют существенно меньшую сложность, как правило, линейно зависящую от емкости памяти  $N$  [6]. Подобные тесты имеют общее название *маршевые тесты (march tests)* и доминируют в практических приложениях [7, 8]. Подобные тесты наряду с приемлемым уровнем обнаружения неисправностей памяти характеризуются простотой реализации, как временной, так и аппаратурной, что весьма важно для *встроенных средств самотестирования (built-in self-test – BIST)* [8].

В общем случае маршевый тест состоит из конечного числа *маршевых элементов (march elements)* [6–11]. В свою очередь, каждый маршевый элемент содержит символ, определяющий порядок формирования *адресной последовательности (address sequence)* для тестируемого запоминающего устройства, где символ  $\uparrow$  определяет последовательный перебор адресов памяти по возрастанию, символ  $\downarrow$  определяет последовательный перебор адресов по убыванию и сочетание двух символов  $\uparrow\downarrow$  означает формирование адресов по убыванию либо по возрастанию. Следует отметить, что убывающая последовательность адресов ( $\downarrow$ ) представляет собой последовательность, которая формируется в обратном порядке по сравнению с возрастающей последовательностью ( $\uparrow$ ). Маршевый элемент содержит последовательность операций чтения (*read – r*) и записи (*write – w*), заключенных в круглые скобки и разделяемых точкой с запятой. Каждая операция представляет собой элемент из следующего набора:  $r0$  – операция чтения содержимого запоминающего элемента (ячейки) с ожидаемым значением 0,  $r1$  – операция чтения с ожидаемым значением 1,  $w0$  – операция записи 0 в ячейку памяти,  $w1$  – операция записи 1 в ячейку. Переход к следующей ячейке осуществляется только после выполнения всех операций в текущем маршевом элементе [6–11]. Тест *MATS* является простейшим примером семейства маршевых тестов и имеет следующий вид:  $\{\uparrow\downarrow(w0); \uparrow(r0,w1); \downarrow(r1)\}$ . Данный тест состоит из трех маршевых элементов и имеет сложность  $4N$ . Первый маршевый элемент  $\uparrow\downarrow(w0)$  называется *фазой инициализации (initialization phase)*, применяемой для записи *начального состояния*

(background) запоминающего устройства. Остальные две фазы теста  $\hat{\uparrow}(r0, w1)$  и  $\hat{\downarrow}(r1)$  являются основными фазами, обеспечивающими обнаруживающую способность данного теста. Таким образом, элементы маршевого теста, а именно, их вид, количество и порядок использования в тесте и определяют эффективность теста обнаруживать различные неисправности памяти.

Целью настоящей статьи является анализ эффективности маршевых тестов обнаруживать сложные кодочувствительные неисправности памяти, а также разработка новых маршевых тестов минимальной сложности.

**Математические модели неисправностей запоминающих устройств.** Существующие модели неисправностей запоминающих устройств можно представить двумя основными группами [6–11]: неисправности электронного обрамления запоминающего устройства, включающего дешифратор адреса, и неисправности массива элементов памяти. Неисправностям массива запоминающих элементов уделяется основное внимание, так как, показано, что тесты, обнаруживающие простейшие неисправности запоминающих ячеек, покрывают неисправности электронного обрамления памяти [6]. Все неисправности матрицы запоминающих ячеек памяти делятся на несколько подмножеств. Чаще всего используется деление неисправностей матрицы запоминающих ячеек в зависимости от их количества в описании конкретной неисправности. К таким неисправностям запоминающих устройств, в первую очередь, относят неисправности, включающие одну ячейку запоминающего устройства, две ячейки и несколько ячеек устройства, в общем случае более чем две, без ограничений на их количество [6].

К неисправностям, затрагивающим одну ячейку ЗУ, относят: константные неисправности (*stuck-at faults (SAF)*). Данные неисправности характеризуются тем, что состояние конкретной ячейки ЗУ (неисправной) постоянно находится в одном из возможных состояний, в состоянии нуля (0) (*stuck-at 0 (SAF0)*) или состоянии (1) (*stuck-at 1 (SAF1)*) независимо от выполненных ранее операций записи в данную ячейку противоположного значения [6, 8]. Переходные неисправности (*transition faults (TF)*) характеризуются невозможностью логического перехода состояния ячейки ЗУ (неисправной) из 0 в 1 (*transition up*)  $\langle \uparrow \rangle$  или из 1 в 0 (*transition down*)  $\langle \downarrow \rangle$  при выполнении соответствующих операций записи [6].

Среди неисправностей, в которых участвуют две ячейки ЗУ, выделяют инверсные неисправности взаимного влияния (*inversion coupling faults (CFin)*). В подобной неисправности участвует две ячейки ЗУ  $a_i$  и  $a_j$ ,  $i \neq j$ , одна из которых  $a_i$  называется агрессором (*aggressor*), а вторая  $a_j$  жертвой (*victim*). Расположение агрессора и жертвы в адресном пространстве ЗУ произвольно. При наличии данной неисправности переход из 1 в 0 или из 0 в 1 в агрессоре  $a_i$  приводит к инверсии логического значения жертвы  $a_j$  [3, 6, 8]. Таким образом, различают два вида инверсных неисправностей  $\langle \uparrow, a_j \rangle$  и  $\langle \downarrow, a_j \rangle$ . Для представления соотношения адресов агрессора ( $i$ ) и жертвы ( $j$ ), в адресном пространстве ЗУ, используют символы  $\wedge$  и  $\vee$ , причем символ  $\wedge$  означает факт того, что адрес агрессора меньше адреса жертвы  $i < j$ , а символ  $\vee$ , наоборот,  $i > j$ , больше. Тогда имеем четыре различных инверсных неисправности  $\wedge \langle \uparrow, a_j \rangle$ ,  $\wedge \langle \downarrow, a_j \rangle$ ,  $\vee \langle \uparrow, a_j \rangle$  и  $\vee \langle \downarrow, a_j \rangle$ .

При неисправности прямого действия (*idempotent coupling faults (CFid)*) во время логического перехода из 1 в 0 или из 0 в 1 во влияющей  $a_i$  ячейке происходит принудительная установка определенного логического значения 0 или 1 в ячейке жертвы  $a_j$ , на которую оказывается влияние агрессора [3, 6, 8]. Различают восемь неисправностей прямого действия  $\wedge \langle \uparrow, 0 \rangle$ ,  $\wedge \langle \uparrow, 1 \rangle$ ,  $\wedge \langle \downarrow, 0 \rangle$ ,  $\wedge \langle \downarrow, 1 \rangle$ ,  $\vee \langle \uparrow, 0 \rangle$ ,  $\vee \langle \uparrow, 1 \rangle$ ,  $\vee \langle \downarrow, 0 \rangle$  и  $\vee \langle \downarrow, 1 \rangle$ . При анализе эффективности тестов ЗУ анализируется их покрывающая способность для всех 12 неисправностей, в которых участвуют две ячейки (*2-coupling faults*) [12, 13].

Неисправности, затрагивающие несколько ячеек памяти, называются кодочувствительными неисправностями (*pattern sensitive faults (PSF)*) [6]. Для подобных неисправностей логическое состояние одной ячейки ЗУ, называемой базовой (*base cell*), может зависеть от содержимого (0 или 1) или от логических переходов из 1 в 0 или из 0 в 1 соседних ячеек (*neighborhood cells*) ЗУ. Различают два вида кодочувствительных неисправностей: неограниченные (*unrestricted*) и ограниченные (*restricted*), или граничные (*neighborhood (NPSF)*) кодочувствительные неисправности. При тестировании массива ячеек ЗУ обычно придерживаются последней более реальной модели кодочувствительных неисправностей, для которой рассматривается небольшое число  $k < 10$  ячеек ЗУ входящих в кодочувствительную неисправность [3, 6, 8, 14–17]. Среди их многообразия выделяют пассивные кодочувствительные неисправности (*passive NPSF (PNPSF)*), для которых состояние базовой ячейки

не может быть изменено для определенного кода в  $k - 1$  соседних ячейках [3, 6, 8]. Такие неисправности также называются  $k$ -coupling faults [18].

В качестве объекта исследования, чаще всего, рассматриваются пассивные кодочувствительные неисправности (PNPSFk), где  $k$  обозначает количество произвольных ячеек ЗУ емкостью  $N$  бит, участвующих в конкретной неисправности. Отметим, что результаты, полученные для PNPSFk, легко обобщаются и для других классов кодочувствительных неисправностей, в силу того, что PNPSFk является наиболее трудно обнаруживаемой моделью неисправностей ЗУ, покрывающей другие виды неисправностей [3, 6].

Выделяют  $k$  различных классов PNPSFk в зависимости от местоположения в адресном пространстве памяти базовой ячейки ( $b$ ) по отношению к соседним ячейкам ( $n$ ). Например, для  $k = 4$  существует четыре класса PNPSF4:  $b_{i0} n_{i1} n_{i2} ni3$ ;  $ni0 b_{i1} n_{i2} n_{i3}$ ;  $n_{i0} n_{i1} b_{i2} n_{i3}$ ;  $n_{i0} n_{i1} n_{i2} b_{i3}$ , где адреса ячеек в адресном пространстве имеют следующее соотношение  $i0 < i1 < i2 < i3$ . Каждый класс включает две PNPSFk в зависимости от состояния базового элемента, которое не может быть изменено. Например, классу  $n_{i0} b_{i1} n_{i2} n_{i3}$  неисправности PNPSF4, наряду с другими неисправностями, принадлежат следующие их конкретные виды:  $\langle 1, \uparrow, 0, 0 \rangle$ ,  $\langle 0, \uparrow, 1, 1 \rangle$ ,  $\langle 1, \downarrow, 0, 0 \rangle$ ,  $\langle 0, \downarrow, 1, 1 \rangle$ . В соседних ячейках возможны любые из  $2^{k-1}$  двоичных наборов, каждый из которых определяет конкретные два неисправных поведения базовой ячейки. В отличие от ранее описанных неисправностей взаимного влияния символы  $\uparrow$  и  $\downarrow$  в PNPSFk неисправности, так же как и в TF неисправности, означают невозможность выполнения соответствующего перехо-

да из нуля в единицу ( $\uparrow$ ) и наоборот ( $\downarrow$ ). Соответственно, общее количество PNPSFk относящихся к  $k$  ячейкам ЗУ равняется  $2k \times 2^{k-1} = k \times 2^k$ , а число всевозможных PNPSFk для памяти емкостью  $N$  бит определяется согласно выражению [3].

$$Q_T(PNPSFk) = 2k2^{k-1} \binom{N}{k} = k2^k \binom{N}{k} \quad (1)$$

Емкость современных запоминающих устройств, как правило, велика и является существенно большей по сравнению с количеством ячеек  $k$ , участвующих в рассматриваемых кодочувствительных неисправностях. Поэтому всегда справедливо следующее неравенство  $N \gg k$ , которое позволяет оценить количество PNPSFk, определяемое соотношением (1). Тогда, уже для  $k = 3$  получим, что  $Q_T(PNPSF3) \approx N^3$ . Для реальных значений  $N$  приведенная оценка принимает большие значения, показывающие сложность проблемы синтеза тестов запоминающих устройств для обнаружения кодочувствительных неисправностей.

**Оценка эффективности обнаружения кодочувствительных неисправностей маршевыми тестами.** Как правило, эффективность маршевых тестов оценивается для каждого вида неисправности независимо от эффективности по отношению к другим их разновидностям. При этом показывается только факт 100%-го их обнаружения конкретным тестом, либо невозможность 100%-го обнаружения, без оценки полноты покрытия теста для исследуемого вида неисправности [6].

В работах [6, 9–11] были проведены оценки обнаруживающих способностей маршевых тестов относительно одиночных неисправностей различных классов, приведенных в табл. 1.

Таблица 1. Эффективность обнаружения неисправностей  
Table 1. Fault detection efficiency

Название теста	Сложность теста	Обнаруживаемые неисправности								
		AF	SAF	TF	CFin	CFid	TF-CF	CFid-CFid	CFin-CFin	CFid-CFin
MATS	4N		+							
MATS+	5N	+	+							
MATS++	6N	+	+	+						
March X	6N	+	+	+	+					
March Y	8N	+	+	+	+		+			
Marching 1/0	14N	+	+	+	+		+			
March C	11N	+	+	+	+	+			+	
March C-	10N	+	+	+	+	+			+	
March A	15N	+	+	+	+	+		+		
March B	17N	+	+	+	+	+	+	+		
Algorithm B	17N	+	+	+	+	+	+	+		



Как показывает анализ покрывающих способностей, не все маршевые тесты способны в полной мере обнаруживать различные классы неисправностей. Из приведенной табл. 1 покрывающих способностей тестов видно, что, несмотря на различную структуру и сложность маршевых тестов, открытой проблемой остается обнаружение в полной мере неисправностей взаимного влияния, сложных связанных неисправностей, а также кодочувствительных неисправностей [6].

Развитие методов многократного применения маршевых тестов, с изменяемыми начальными состояниями ячеек памяти и адресной последовательностью, привели к появлению псевдо исчерпывающих тестов памяти [19]. Сущность подобных тестов заключается в формировании в произвольных  $k$  из  $N$  ячейках памяти всевозможных  $2^k$  двоичных комбинаций. Основой эффективности таких тестов является формирование различных видов орбит, представляющих собой набор двоичных комбинаций в произвольных  $k$  из  $N$  ячейках памяти. В [19] показано, что в рамках маршевых тестов возможным является формирование 8 видов орбит представленных в табл. 2 и 3.

При описании предыдущей и текущей фаз

теста, приведенных в табл. 2 и 3, показана последняя операция записи в фазе, после которой могут быть только операции чтения. В текущей фазе также показана первая операция записи, перед которой возможно использование только операций чтения. Отметим, что орбиты  $O_0$ ,  $O_1$ ,  $O_2$  и  $O_3$  формируются фазами, которые инвертируют содержимое запоминающего устройства. Представленные орбиты хорошо описывают основные свойства тестов и широко представлены в классических маршевых тестах [19]. Например, фаза  $\hat{\uparrow}(r0, w1, w0, w1)$  теста March A и фаза  $\hat{\uparrow}(r0, w1, w0, w1, r1)$  теста March LA, так же как и фаза  $\hat{\uparrow}(r0, w1)$  теста MATS ++, формируют орбиту  $O_0$  [19].

Формирование маршевыми тестами различного рода орбит обеспечивает условие активизации многообразных неисправных состояний памяти. Причем выполнение условия генерирования псевдоисчерпывающих комбинаций в произвольных  $k$  из  $N$  ячеек памяти, с последующей их проверкой, гарантирует 100%-ое обнаружение различных подмножеств неисправностей [3, 19]. Отметим, что для определения конкретной неисправности необходимо выполнение условия

Таблица 2. Орбиты, формируемые тестами типа MATS ++ и March C-  
Table 2. Orbits formed by march tests MATS ++ and March C-

Орбита	$O_0$	$O_1$	$O_2$	$O_3$
Предыдущая фаза теста	( ..., w0, ... )	( ..., w0, ... )	( ..., w1, ... )	( ..., w1, ... )
Фаза теста	$\hat{\uparrow}(\dots, w1, \dots)$	$\hat{\downarrow}(\dots, w1, \dots)$	$\hat{\uparrow}(\dots, w0, \dots)$	$\hat{\downarrow}(\dots, w0, \dots)$
$P_0$	000...00	000...00	111...11	111...11
$P_1$	000...01	100...00	111...10	011...11
$P_2$	000...11	110...00	111...00	001...11
...	...	...	...	...
$P_{k-1}$	011...11	111...10	100...00	000...01
$P_k$	111...11	111...11	000...0	000...00

Таблица 3. Орбиты, формируемые тестами типа March A  
Table 3. Orbits formed by march tests March A

Орбита	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$
Предыдущая фаза теста	( ..., w0, ... )	( ..., w0, ... )	( ..., w1, ... )	( ..., w1, ... )
Фаза теста	$\hat{\uparrow}(\dots, w1, \dots, w0, \dots)$	$\hat{\downarrow}(\dots, w1, \dots, w0, \dots)$	$\hat{\uparrow}(\dots, w0, \dots, w1, \dots)$	$\hat{\downarrow}(\dots, w0, \dots, w1, \dots)$
$P_0$	000...00	000...00	111...11	111...11
$P_1$	000...01	100...00	111...10	011...11
$P_2$	000...10	010...00	111...01	101...11
...	...	...	...	...
$P_{k-1}$	010...00	000...10	101...11	111...01
$P_k$	100...00	000...01	011...11	111...10

ее активизации (*sensitization*) и ее обнаружения (*detection*) [6].

В общем случае, для кодочувствительных неисправностей условие активизации будет состоять из операции записи 1 в базовую ячейку, выполняющую переход из 0 в 1, и, наоборот, записи 0, осуществляющей переход из 1 в 0, для всех возможных  $2^{k-1}$  состояний в  $k-1$  соседних ячеек. После выполнения каждого из переходов необходимо выполнение операции чтения из базовой ячейки, что и будет являться условием обнаружения конкретной неисправности. Причем операция чтения может быть как в текущей фазе, так и в последующей, важным является то, что между изменением содержимого базовой ячейки (выполнением перехода) и чтением ее содержимого не было промежуточных операций записи. При подобном тестировании базовой ячейки можно определить все пассивные и статические кодочувствительные неисправности. Для случая активных кодочувствительных неисправностей необходимо для базовой ячейки осуществить операции  $r0$  и  $r1$  при всевозможных изменениях состояний соседних ячеек. Более подробно рассмотрим эффективность обнаружения кодочувствительных неисправностей  $PNPSFk$  однократными маршевыми тестами.

Учитывая последовательное обращение к запоминающим ячейкам и единообразных операций записи для них, согласно структуре любого однократного маршевого теста памяти, можно выделить обнаруживаемые и необнаруживаемые подмножества  $PNPSFk$ . Обнаруживаемые неисправности определяются видом рассмотренных ранее орбит, генерируемых тестом. Например, формирование орбиты  $O_0$  фазой  $\hat{\uparrow}(r0, w1)$  в произвольных  $k$  ячейках реализует условие активизации  $k$  неисправностей  $PNPSFk$  следующего вида  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \uparrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$ . При наличии соответствующей операции чтения, обеспечивающей условие обнаружения, эти  $PNPSFk$  являются обнаруживаемыми. При условии, что тест формирует только одну орбиту  $O_0$  фазой  $\hat{\uparrow}(r0, w1)$ , остальные  $k2^k - k$   $PNPSFk$  будут относиться к множеству не обнаруживаемых данным тестом неисправностей. Отметим, что любой маршевый тест, по определению, формирует как минимум одну орбиту, которая обеспечивает условие активизации  $k$  неисправностей  $PNPSFk$ . Примером такого теста может быть тест MATS, генерирующий орбиту  $O_0$  фазой  $\hat{\uparrow}(r0, w1)$ .

Таким образом, минимальная полнота покрытия однократного маршевого теста, как процентное отношение количества  $Q_{MIN}(PNPSFk) =$

$k \times \binom{N}{k}$ , обнаруживаемых  $PNPSFk$  к их общему числу  $QT(PNPSFk)$ , принимает вид:

$$FC_{MIN}(PNPSFk) = \frac{Q_{MIN}(PNPSFk)}{Q_T(PNPSFk)} \times 100\% = 1/2^k \times 100\% \quad (2)$$

Маршевые тесты MATS+:  $\{\hat{\uparrow}\hat{\downarrow}(w0); \hat{\uparrow}(r0, w1); \hat{\downarrow}(r1, w0)\}$  и MATS++:  $\{\hat{\uparrow}\hat{\downarrow}(w0); \hat{\uparrow}(r0, w1); \hat{\downarrow}(r1, w0, r0)\}$  формируют по две одинаковые орбиты  $O_0$  и  $O_3$ , обеспечивающие активизацию  $k$  неисправностей  $PNPSFk$  вида  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \uparrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$  и  $k$  неисправностей вида  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \downarrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$ . Однако, только MATS++ обеспечивает обнаружение  $2k$  неисправностей  $PNPSFk$ , так как, в отличие от MATS+, в данном тесте обеспечены условия обнаружения активизированных неисправностей. Операция чтения  $r1$  в третьей фазе  $\hat{\downarrow}(r1, w0, r0)$  обеспечивает обнаружение неисправностей,  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \uparrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$  активизированных во второй фазе  $\hat{\uparrow}(r0, w1)$ , а операция  $r0$  в третьей фазе обнаруживает неисправности  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \downarrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$ , активизированные в этой же фазе. Тогда полнота покрытия теста MATS+ будет равняться минимальной полноте покрытия  $FC_{MATS+}(PNPSFk) = FC_{MIN}(PNPSFk) = 2^{-k} \times 100\%$ , а теста MATS++ будет в два раза выше, т.е.  $FC_{MATS++}(PNPSFk) = 2^{1-k} \times 100\%$ . Такую же полноту покрытия  $PNPSFk$  можно достичь, применяя следующий тест  $\{\hat{\uparrow}\hat{\downarrow}(w0); \hat{\uparrow}(r0, w1, r1, w0, r0, w1)\}$ , во второй фазе которого формируются условия активизации и обнаружения  $k$  неисправностей  $PNPSFk$  вида  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \uparrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$  и  $k$  неисправностей вида  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \downarrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$ .

Каждая из орбит, представленных в табл. 2, обеспечивает условие активизации конкретного вида  $PNPSFk$ , а именно  $O_0$ :  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \uparrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$ ,  $O_1$ :  $\langle 1, 1, 1, \dots, 1, \downarrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle$ ,  $O_2$ :  $\langle 1, 1, 1, \dots, 1, \downarrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle$ ,  $O_3$ :  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \downarrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$ . В тоже время, орбиты  $Q_0$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$  и  $Q_3$  обеспечивают обнаружение двух видов неисправностей, каждая, а именно орбиты  $Q_0$ ,  $Q_1$ , формируют условие активизации неисправностей  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \uparrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle$  и  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \downarrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle$ , а  $Q_2$ ,  $Q_3$   $\langle 1, 1, 1, \dots, 1, \uparrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$  и  $\langle 1, 1, 1, \dots, 1, \downarrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$ . Анализ орбит, представленных в табл. 2 и 3 и обнаруживаемых с их помощью  $PNPSFk$ , позволяет сформулировать следующее утверждение, определяющее множество, состоящее из восьми неисправностей  $PNPSFk$ , обнаруживаемых однократными маршевыми тестами.

**Утверждение 1.** К множеству обнаруживаемых маршевыми тестами неисправностей

Таблица 4. Обнаруживаемые неисправности PNPSF4  
Table 4. Detected faults PNPSF

Классы PNPSF4	Неисправности PNPSF4
$b_{i_0} n_{i_1} n_{i_2} n_{i_3}$	$\langle \uparrow, 0, 0, 0 \rangle, \langle \downarrow, 0, 0, 0 \rangle, \langle \uparrow, 1, 1, 1 \rangle, \langle \downarrow, 1, 1, 1 \rangle$
$n_{i_0} b_{i_1} n_{i_2} n_{i_3}$	$\langle 0, \uparrow, 0, 0 \rangle, \langle 0, \downarrow, 0, 0 \rangle, \langle 1, \uparrow, 1, 1 \rangle, \langle 1, \downarrow, 1, 1 \rangle,$ $\langle 0, \uparrow, 1, 1 \rangle, \langle 0, \downarrow, 1, 1 \rangle, \langle 1, \uparrow, 0, 0 \rangle, \langle 1, \downarrow, 0, 0 \rangle$
$n_{i_0} n_{i_1} b_{i_2} n_{i_3}$	$\langle 0, 0, \uparrow, 0 \rangle, \langle 0, 0, \downarrow, 0 \rangle, \langle 1, 1, \uparrow, 1 \rangle, \langle 1, 1, \downarrow, 1 \rangle,$ $\langle 0, 0, \uparrow, 1 \rangle, \langle 0, 0, \downarrow, 1 \rangle, \langle 1, 1, \uparrow, 0 \rangle, \langle 1, 1, \downarrow, 0 \rangle$
$n_{i_0} n_{i_1} b_{i_2} n_{i_3}$	$\langle 0, 0, 0, \uparrow \rangle, \langle 0, 0, 0, \downarrow \rangle, \langle 1, 1, 1, \uparrow \rangle, \langle 1, 1, 1, \downarrow \rangle$

PNPSFk относятся такие их разновидности, для которых в соседних ячейках до базовой ячейки находятся значения все 0, либо все 1, после базовой также находятся одинаковые значения, причем независимо от значений в соседних ячейках до базовой ячейки.

Для случая  $k = 4$ , к обнаруживаемым неисправностям PNPSF4 относятся неисправности четырех различных классов, представленные в табл. 4. Остальные 40 неисправностей PNPSF4:  $\langle \uparrow, 0, 0, 1 \rangle, \langle \uparrow, 0, 1, 0 \rangle, \langle \uparrow, 0, 1, 1 \rangle, \dots, \langle 1, 1, 0, \downarrow \rangle$  относятся к подмножеству не обнаруживаемых однократными маршевыми тестами неисправностей.

В случае произвольного  $k$  для класса с нулевым индексом ( $i_0$ ) базовой ячейки и класса с индексом базовой ячейки ( $i(k-1)$ ) обнаруживаемыми являются только по 4 неисправности PNPSFk, а для остальных классов по 8 неисправностей, как это видно, например, из табл. 4. Соответственно, максимально возможное число  $Q_{MAX}(PNPSFk)$  обнаруживаемых неисправностей PNPSFk равняется

$$Q_{MAX}(PNPSFk) = (4 + 8 \times (k-2) + 4) \times \binom{N}{k} = 8 \times (k-1) \times \binom{N}{k} \quad (3)$$

Таким образом, максимально достижимая полнота покрытия для однократного маршевого теста принимает вид

$$FC_{MAX}(PNPSFk) = \frac{Q_{MAX}(PNPSFk)}{Q_T(PNPSFk)} \times 100\% = \frac{k-1}{k \times 2^{k-3}} \times 100\% \quad (4)$$

Вне зависимости от вида и структуры маршевого теста, однократное его применение для

произвольного начального состояния памяти и применяемой адресной последовательности не позволяет достичь полноты покрытия больше, чем величина определяемая выражением (4) [3, 8]. Значения полноты покрытия экспоненциально убывают с ростом  $k$ , как это видно из табл. 5.

Существенный разброс полноты покрытия неисправностей от минимального до максимального значения, в особенности с ростом  $k$ , предопределяет необходимость синтеза тестов обеспечивающих максимальную их эффективность при обнаружении сложных кодочувствительных неисправностей.

**Построение маршевых тестов обеспечивающих максимальную полноту покрытия PNPSFk.** При синтезе маршевого теста с максимальной полнотой покрытия  $FC_{MAX}(PNPSFk)$  (4) неисправностей PNPSFk необходимым является обеспечение условий активизации и обнаружения каждого из восьми их видов, определенных в утверждении 1. Эти условия задаются *примитивами*, определяемыми тремя последовательными фазами теста, которые назовем *предыдущая фаза, текущая фаза и последующая фаза*.

Во-первых, отметим, что предыдущая фаза однозначно определяет начальное состояние  $k$  произвольных ячеек памяти, участвующих в конкретной неисправности PNPSFk. Текущая фаза, как правило, реализует условие активизации неисправности и, возможно, ее обнаружения. Третья фаза может не входить в примитив для конкретной неисправности, так как она реализует только условие ее обнаружения, которое может быть реализовано в текущей фазе.

В качестве примера рассмотрим случай неисправности  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \uparrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$ . Как

Таблица 5. Полнота покрытия (%)  $FC_{MAX}(PNPSFk)$  и  $FC_{MIN}(PNPSFk)$   
Table 5. Entirety of coverage (%)  $FC_{MAX}(PNPSFk)$  and  $FC_{MIN}(PNPSFk)$

	PNPSF2	PNPSF3	PNPSF4	PNPSF5	PNPSF6	PNPSF7
$FC_{MAX}(PNPSFk)$	100	66,66	37,5	20,0	10,41	5,35
$FC_{MIN}(PNPSFk)$	25	12,5	6,25	3,125	1,5625	0,78125

было показано в предыдущем разделе, для обнаружения данной неисправности необходимо, чтобы предыдущая фаза вида  $\uparrow\downarrow(\dots, w0, \dots)$  обеспечила запись во все ячейки нулевых начальных значений. Также как и в случае орбит, приведенная фаза может иметь произвольный вид при одном ограничении, что последняя операция записи должна быть  $w0$ , после которой могут применяться только операции чтения. Текущая фаза  $\uparrow(r0, w1)$  обеспечивает условие активизации  $k$  неисправностей  $PNPSFk$  вида  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \uparrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$ . В последующей фазе  $\uparrow\downarrow(r1, \dots)$  операция чтения  $r1$  обеспечивает условие обнаружения всех  $k$  неисправностей  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \uparrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$ . Применение такого примитива, состоящего из трех последовательных фаз  $\uparrow\downarrow(\dots, w0, \dots)$ ,  $\uparrow(r0, w1)$  и  $\uparrow\downarrow(r1, \dots)$ , гарантирует обнаружение всех  $k$  неисправностей вида  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \uparrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$ . В частном случае, приведенный примитив, представляет собой ранее рассмотренный маршевый тест  $MATS$ :  $\{\uparrow\downarrow(w0); \uparrow(r0, w1); \downarrow(r1)\}$ .

Следует отметить, что конкретная фаза маршевого теста может участвовать в различных примитивах, однако не более чем в трех. Например, в тесте March C-:  $\{\uparrow\downarrow(w0); \uparrow(r0, w1); \uparrow(r1, w0); \downarrow(r0, w1); \downarrow(r1, w0); \uparrow\downarrow(r0)\}$  вторая фаза  $\uparrow(r0, w1)$  является предыдущей фазой, третья фаза  $\uparrow(r1, w0)$  – текущей, и четвертая  $\downarrow(r0, w1)$  – последующей фазой примитива обеспечивающего активизацию и обнаружение неисправности  $\langle 1, 1, 1, \dots, 1, \downarrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle$ . Та же четвертая фаза  $\downarrow(r0, w1)$  является текущей фазой примитива, описывающего обнаружение неисправности  $\langle 1, 1, 1, \dots, 1, \uparrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle$ , и предыдущей в примитиве соответствующем неисправности  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \downarrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$ . Все множество примитивов и описываемые ими обнаруживаемые  $PNPSFk$  приведены в табл. 6.

Для конкретного вида  $PNPSFk$  неисправностей  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \uparrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$ , примитив, обеспечивающий их обнаружение, может состоять из двух фаз, предыдущей фазы  $\uparrow\downarrow(w0)$  и текущей  $\uparrow(r0, w1, r1)$ , в которой обеспечивается и активизация и обнаружение указанных неисправностей.

Таблица 6. Примитивы, формируемые тестом March C-  
Table 6. Primitives generated by the March C-

Примитив	$\uparrow\downarrow(w0),$ $\uparrow(r0, w1),$ $\uparrow(r1, w0)$	$\uparrow(r0, w1),$ $\uparrow(r1, w0),$ $\downarrow(r0, w1)$	$\uparrow(r1, w0),$ $\downarrow(r0, w1),$ $\downarrow(r1, w0)$	$\downarrow(r0, w1),$ $\downarrow(r1, w0),$ $\uparrow\downarrow(r0)$
PNPSFk	$\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \uparrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$	$\langle 1, 1, 1, \dots, 1, \downarrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle$	$\langle 1, 1, 1, \dots, 1, \uparrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle$	$\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \downarrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$

В обоих случаях минимальная временная сложность примитивов равняется  $4N$ . Однако с учетом того, что конкретная фаза маршевого теста может участвовать в нескольких примитивах, средняя и суммарная сложности примитивов, описывающие обнаружение более чем одной неисправности  $PNPSFk$ , существенно меньше, как это видно на примере теста March C-. Временная сложность данного теста равняется  $10N$ , а сам тест обнаруживает четыре  $PNPSFk$ .

Более сложные примитивы могут обеспечить условия активизации и обнаружения не более чем двух видов  $PNPSFk$ . Это следует из того, что текущая фаза может сформировать только два перехода ( $\uparrow, \downarrow$ ) в базовой ячейке для каждого из четырех состояний в соседних ячейках (см. Утверждение 1). Примером подобного примитива является случай обнаружения двух видов  $PNPSFk$ , а именно  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \uparrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$  и  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \downarrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$ , состоящим из предыдущей фазы  $\uparrow\downarrow(\dots, w0, \dots)$  и текущей, вида  $\uparrow(r0, w1, r1, w0, r0, w1)$ . Примитив, представленный фазами  $\uparrow\downarrow(\dots, w1, \dots)$  и  $\downarrow(r1, w0, r0, w1, r1, w0)$ , описывает обнаружение этих же неисправностей  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \uparrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$  примитива  $\uparrow\downarrow(\dots, w0, \dots)$ ,  $\downarrow(r0, w1, r1, w0, r0, w1)$  и  $\uparrow\downarrow(\dots, w1, \dots)$ , и  $\uparrow(r1, w0, r0, w1, r1, w0)$  обеспечивают обнаружение следующих двух неисправностей  $\langle 1, 1, 1, \dots, 1, \uparrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle$  и  $\langle 1, 1, 1, \dots, 1, \downarrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle$ .

Используя два из четырех приведенных примитивов, оказывается возможным построение маршевого теста, имеющего такую же покрывающую неисправности  $PNPSFk$  способность, как и тест March C-. Примером такого теста может быть тест  $\{\uparrow\downarrow(w0); \uparrow(r0, w1, r1, w0, r0, w1); \uparrow(r1, w0, r0, w1, r1, w0)\}$ , обнаруживающий, так же как и March C-, четыре неисправности  $PNPSFk$ .

Для получения максимально возможной полноты покрытия (4), достижимой в рамках однократного маршевого теста, необходимо использовать примитивы, обеспечивающие покрытие  $PNPSFk$  соответствующих орбитам  $O_0, O_1, O_2$  и  $O_3$ . Аналогично, как и для случая неисправностей, описываемых орбитами  $O_0, O_1, O_2$  и  $O_3$ , получим примитивы, состоящие из двух фаз. Примитив, состоя-

щий из предыдущей фазы  $\uparrow\downarrow(\dots, w0, \dots)$  и текущей  $\uparrow\downarrow(r0, w1, r1, w0, r0)$  фазы, описывает условия обнаружения неисправностей  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \uparrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle$ , и  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \downarrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle$ , а примитив  $\uparrow\downarrow(\dots, w1, \dots)$  и  $\uparrow\downarrow(r1, w0, r0, w1, r1)$  неисправностей  $\langle 1, 1, 1, \dots, 1, \uparrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$  и  $\langle 1, 1, 1, \dots, 1, \downarrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$ . Отметим, что в двух предыдущих примитивах обнаружение неисправностей обеспечивается в текущей фазе каждого из них за счет соответствующих операций чтения. В случае первого примитива, состоящего из предыдущей фазы  $\uparrow\downarrow(\dots, w0, \dots)$  и текущей  $\uparrow\downarrow(r0, w1, r1, w0, r0)$ , факт наличия неисправности  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \uparrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle$  определяет операция чтения  $r1$ , а наличие неисправности  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \downarrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle$ , вторая операция чтения  $r0$  текущей фазы. Присутствие неисправности  $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \downarrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle$  может быть определено и в последующей фазе, которая должна начинаться с операции чтения  $r0$ . Соответственно, можно показать, что примитив, состоящий из предыдущей фазы  $\uparrow\downarrow(\dots, w0, \dots)$ , текущей фазы  $\uparrow\downarrow(r0, w1, r1, w0)$  и последующей  $\uparrow\downarrow(r0, \dots)$ , обеспечивает ее обнаружение. В тоже время обнаружение неисправностей  $\langle 1, 1, 1, \dots, 1, \uparrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$  и  $\langle 1, 1, 1, \dots, 1, \downarrow, 1, 1, 1 \rangle$  также может быть обеспечено примитивом, состоящим из трех фаз, а именно, предыдущей фазы  $\uparrow\downarrow(\dots, w1, \dots)$ , текущей фазы  $\uparrow\downarrow(r1, w0, r0, w1)$  и последующей фазы  $\uparrow\downarrow(r1, \dots)$ .

Описанные ранее процедуры построения примитивов и их конкретные виды, приведенные выше, позволяют синтезировать маршевые тесты, однократное применение которых позволяет обеспечить максимальную полноту покрытия  $PNPSFk$ , определяемую соотношением (4). Примером результата такого синтеза может быть тест  $\{\uparrow\downarrow(w0); \uparrow(r0, w1, r1, w0, r0); \downarrow(r0, w1, r1, w0, r0, w1);$

$\downarrow(r1, w0, r0, w1, r1); \uparrow(r1, w0, r0, w1, r1, w0)\}$ , сложность которого равняется сложности  $23N$  известного теста March PS, имеющего максимальную полноту покрытия в классе  $PNPSFk$  [20].

Объединение примитивов различной сложности позволяет синтезировать более простой маршевый тест March OP, имеющий меньшую временную сложность равную  $18N$ . Это тест имеет вид (5), а его примитивы, обеспечивающие обнаружение всевозможных неисправностей  $PNPSFk$  приведены в табл. 7.

$$\text{March OP } \{\uparrow\downarrow(w0); \uparrow(r0, w1); \uparrow(r1, w0); \downarrow(r0, w1); \downarrow(r1, w0, r0, w1); \downarrow(r1, w0); \uparrow(r0, w1, r1, w0, r0)\} \quad (5)$$

Результатом применения различных комбинаций примитивов могут быть тесты запоминающих устройств, обладающие требуемой полнотой, как правило, максимальной, в классе  $PNPSFk$  и имеющие различную временную сложность. Однако, тестом с максимальной полнотой покрытия  $PNPSFk$  и имеющим минимальную временную сложность, по мнению авторов, является тест March OP (5). Следует отметить, что, используя понятия примитивов, можно синтезировать тесты запоминающих устройств, позволяющих обнаруживать и другие разновидности их сложных неисправностей.

**Заключение.** В представленной статье показана взаимосвязь между орбитами, формируемыми маршевыми тестами, и их способностью обнаруживать сложные кодочувствительные неисправности  $PNPSFk$ . Показано, что наличие минимального подмножества из восьми типов орбит при реализации маршевого теста является необходимым условием достижения максимальной полноты покрытия тестом  $PNPSFk$  неисправностей. Определены понятия примитивов и по-

Таблица 7. Примитивы, формируемые тестом March OP  
Table 7. Primitives generated by the March OP

Фазы	Предыдущая	$\uparrow\downarrow(w0)$	$\uparrow(r0, w1)$	$\uparrow(r1, w0)$	$\downarrow(r0, w1)$	$\downarrow(r1, w0, r0, w1),$	$\downarrow(r1, w0)$
	Текущая	$\uparrow(r0, w1)$	$\uparrow(r1, w0)$	$\downarrow(r0, w1)$	$\downarrow(r1, w0, r0, w1);$	$\downarrow(r1, w0);$	$\uparrow(r0, w1, r1, w0, r0)$
	Последующая	$\uparrow(r1, w0)$	$\downarrow(r0, w1)$	$\downarrow(r1, w0, r0, w1)$	$\downarrow(r1, w0);$	$\uparrow(r0, w0, r1, w0, r0)$	-
Обнаруживаемые $PNPSFk$	$\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \uparrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$	$\langle 1, 1, 1, \dots, 1, \downarrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle$	$\langle 1, 1, 1, \dots, 1, \uparrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle$	$\langle 1, 1, 1, \dots, 1, \downarrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle;$ $\langle 1, 1, 1, \dots, 1, \uparrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$	$\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \downarrow, 1, 1, 1, \dots, 1 \rangle$	$\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \uparrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle;$ $\langle 0, 0, 0, \dots, 0, \downarrow, 0, 0, 0, \dots, 0 \rangle;$	

казаны их примеры, а также результаты синтеза маршевых тестов обеспечивающих требуемую полноту покрытия заданных видов PNPSFk. Приведен пример маршевого теста с максимальной

полнотой покрытия, имеющий минимальную временную сложность.

### Список литературы

1. Bushnell, M. L. *Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory & Mixed-Signal VLSI Circuits* / M. L. Bushnell, V. D. Agrawal. – New York: Kluwer Academic Publishers, 2000. – 690 p.
2. Wang, L. T. *VLSI Test Principles and Architectures: Design for Testability* / L. T. Wang, C. W. Wu, X. Wen. – Amsterdam: Elsevier, 2006. – 808 p.
3. Ярмолик, В. Н. *Контроль и диагностика вычислительных систем* / В. Н. Ярмолик. – Минск: Бестпринт, 2019. – 387 с.
4. *The International Technology Roadmap for Semiconductors: 2003 Edition (ITRS'2003)*. – San Jose: Semiconductor Industry Association, 2003. – 65 p.
5. Sharma, A. K. *Advanced Semiconductor Memories: Architectures, Designs, and Applications* / A. K. Sharma. – London: John Wiley & Sons, 2003. – 652 p.
6. Goor, A. J. *Testing Semiconductor Memories: Theory and Practice* / A. J. Goor. – Chichester: John Wiley & Sons, 1991.
7. Ярмолик, В. Н. *Неразрушающее тестирование запоминающих устройств* / В. Н. Ярмолик [и др.]. – Минск: Бестпринт, 2005. – 230 с.
8. Ярмолик, С. В. *Маршевые тесты для самотестирования ОЗУ* / С. В. Ярмолик, А. П. Занкович, А. А. Иванюк. – Минск: Бестпринт, 2009. – 270 с.
9. Marinescu, M. *Simple and Efficient Algorithms for Functional RAM Testing: IEEE Int. Test Conf.* / M. Marinescu. – IEEE Computer Society Press, 1982. – P. 236–239.
10. Nair, C. *Efficient Algorithms for Testing Semiconductor Random-Access Memories: IEEE Int. Test Conf.* / C. Nair, S. Thatte, J. Abraham. – IEEE Transactions on Computers, 1978. – vol. 27, no. 6. – P. 572–576.
11. Suk, D. S. *A March Test for Functional Faults in Semiconductor Random-Access Memories: IEEE Trans. on Computers* / D. S. Suk, S. M. Reddy. – IEEE Transactions on Computers, 1981. – vol. 30, no. 12. – P. 982–985.
12. Goor, A. J. *March LR: A test for Realistic Linked Faults: 14th VLSI Test Symposium* / A. J. Goor, G. N. Gaydadjiev, V. N. Yarmolik, V. G. Mikitjuk. – IEEE Computer Society Press, 1996. – P. 272–280.
13. Goor, A. J. *March LA: A test for Linked Memory Faults: Proc. of the 1997 European Design and Test Conference (ED&TC'97)* / A. J. Goor, G. N. Gaydadjiev, V. N. Yarmolik, V. G. Mikitjuk. – IEEE Computer Society Press, 1997. – P. 627.
14. Cheng, K. L. *Efficient neighborhood pattern-sensitive fault test algorithms for semiconductor memories: 19th VLSI Test Symposium* / K. L. Cheng, M. F. Tsai, C. W. Wu. – IEEE Computer Society Press, 2001. – P. 225–237.
15. Cascaval, P. *Efficient March test for 3-coupling faults in random access memories* / P. Cascaval, S. Bennett. // *Microprocessors and Microsystems*. – Elsevier, 2001. – vol. 24, no. 10. – P. 501–509.
16. Kang, D. C. *An efficient built-in self-test algorithm for neighborhood pattern sensitive faults in high-density memories: Proc. 4th Korea-Russia Int. Symposium on Science and Technology* / D. C. Kang, S. B. Cho. – IEEE Service Center, 2000. – vol. 2 – P. 218–223.
17. Cheng, K. L. *Neighborhood pattern-sensitive fault testing and diagnostics for random-access memories* / K. L. Cheng, M. F. Tsai, C.W. Wu. // *IEEE Transactions on Computer* – IEEE Press, 2002. – vol. 21. no. 11. – P. 1328–1336.
18. Cockburn, B. F. *Deterministic tests for detecting single V-coupling faults in RAMs* / B. F. Cockburn. // *Journal of Electronic Testing: Theory Applicat.* – Springer, 1994. – vol. 5, no. 1. – P. 91–113.
19. Ярмолик, В. Н. *Псевдоисчерпывающее тестирование запоминающих устройств на базе маршевых тестов типа March A* / В. Н. Ярмолик, И. Мрозек, С. В. Ярмолик. // *Информатика*. – Минск, 2020. – № 2 (17). – С. 54–70.
20. Yarmolik, V. N. *March ps(23n) test for DRAM pattern-sensitive faults: Proc. of the 7th AsianTest Symposium* / V. N. Yarmolik, Y. Klimets, S. Demidenko. – IEEE Computer Society, 1998. – P. 354–357.

## References

1. M. L. Bushnell, V. D. Agrawal. Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory & Mixed-Signal VLSI Circuits. New York: Kluwer Academic Publishers, 2000. 690 p.
2. L. T. Wang, C. W. Wu, X. Wen. VLSI Test Principles and Architectures: Design for Testability. Amsterdam: Elsevier, 2006. 808 p.
3. V. N. Yarmolik. Kontrol i diagnostika vychislitelnykh system [Control and diagnostics of computing systems]. Minsk: Bestprint, 2019. 387 p. (in Russian).
4. The International Technology Roadmap for Semiconductors: 2003 Edition (ITRS'2003). San Jose: Semiconductor Industry Association, 2003. 65 p.
5. A. K. Sharma. Advanced Semiconductor Memories: Architectures, Designs, and Applications. London: John Wiley & Sons, 2003. 652 p.
6. A. J. Goor. Testing Semiconductor Memories: Theory and Practice. Chichester: John Wiley & Sons, 1991.
7. V. N. Yarmolik. Nerazrushayushcheye testirovaniye zapominayushchikh ustroystv [Nondestructive testing of storage devices]. Minsk: Bestprint, 2005. 230 p. (in Russian).
8. S. V. Yarmolik, A. P. Zankovich, A. A. Ivanyuk. Marshevyye testy dlya samotestirovaniya OZU [Marching tests for self-testing of RAM]. Minsk: Bestprint, 2009. 270 p. (in Russian).
9. M. Marinescu. Simple and Efficient Algorithms for Functional RAM Testing: IEEE Int. Test Conf. IEEE Computer Society Press, 1982. pp. 236–239.
10. C. Nair, S. Thatte, J. Abraham. Efficient Algorithms for Testing Semiconductor Random-Access Memories: IEEE Int. Test Conf. IEEE Transactions on Computers, 1978. vol. 27, no. 6, pp. 572–576.
11. D. S. Suk, S. M. Reddy. A March Test for Functional Faults in Semiconductor Random-Access Memories: IEEE Trans. on Computers. IEEE Transactions on Computers, 1981. vol. 30, no. 12, pp. 982–985.
12. A. J. Goor, G. N. Gaydadjiev, V. N. Yarmolik, V. G. Mikitjuk. March LR: A test for Realistic Linked Faults: 14th VLSI Test Symposium. IEEE Computer Society Press, 1996. pp. 272–280.
13. A. J. Goor, G. N. Gaydadjiev, V. N. Yarmolik, V. G. Mikitjuk. March LA: A test for Linked Memory Faults: Proc. of the 1997 European Design and Test Conference (ED&TC'97). IEEE Computer Society Press, 1997. 627 p.
14. K. L. Cheng, M. F. Tsai, C. W. Wu. Efficient neighborhood pattern-sensitive fault test algorithms for semiconductor memories: 19th VLSI Test Symposium. IEEE Computer Society Press, 2001. pp. 225–237.
15. P. Cascaval, S. Bennett. Efficient March test for 3-coupling faults in random access memories. Microprocessors and Microsystems, Elsevier, 2001. vol. 24, no. 10, pp. 501–509.
16. D. C. Kang, S. B. Cho. An efficient built-in self-test algorithm for neighborhood pattern sensitive faults in high-density memories: Proc. 4th Korea-Russia Int. Symposium on Science and Technology. IEEE Service Center, 2000. vol. 2, pp. 218–223.
17. K. L. Cheng, M. F. Tsai, C.W. Wu. Neighborhood pattern-sensitive fault testing and diagnostics for random-access memories. IEEE Transactions on Computer, IEEE Press, 2002. vol. 21, no. 11, pp. 1328–1336.
18. B. F. Cockburn. Deterministic tests for detecting single V-coupling faults in RAMs. Journal of Electronic Testing: Theory Applicat, Springer, 1994. vol. 5, no. 1. pp. 91–113.
19. V. N. Yarmolik, I. Mrozek, S. V. Yarmolik. Psevdoisчерpyvayushcheye testirovaniye zapominayushchikh ustroystv na baze marshevykh testov tipa March A [Pseudo-exhaustive memory testing based on March A]. Informatika. Minsk, 2020. № 2 (17). pp. 54–70. (in Russian).
20. V. N. Yarmolik, Y. Klimets, S. Demidenko. March ps(23n) test for DRAM pattern-sensitive faults: Proc. of the 7th AsianTest Symposium. IEEE Computer Society, 1998. pp. 354–357.

*Received: 23.11.2020*

*Поступила: 23.11.2020*

## Оценка состояния технических объектов по параметрам вибрационного сигнала

**П. Ю. Бранцевич**, к. т. н., доцент, в. н. с.

НИЛ вибродиагностических систем

E-mail: branc@bsuir.edu.by

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

**Н. В. Лапицкая**, к. т. н., доцент, заведующая кафедрой  
программного обеспечения информационных технологий

E-mail: lapan@bsuir.by

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

**В. А. Леванцевич**, м. т. н., старший преподаватель кафедры  
программного обеспечения информационных технологий

E-mail: lvn@bsuir.by

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

**Д. В. Деменковец**, м.т.н., старший преподаватель кафедры про-  
граммного обеспечения информационных технологий

E-mail: Demenkovets@bsuir.by

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

**Аннотация.** Целью исследований, представленных в данной работе, является разработка нового способа обработки вибрационного сигнала. Рассмотрены основные первичные информативные параметры вибросигналов, используемые для оценки вибрационного состояния машин роторного типа. Предложен подход, основанный на использовании решающих функций, отличающийся тем, что они применяются по отношению, как к первичным информативным параметрам вибросигналов, так и к результатам статистической обработки временных трендов первичных параметров. Приведены примеры решающих функций. Представлен объединенный формат таблицы сведений о вибрационном состоянии технического объекта, который использован при создании реальных систем поддержки принятия решений.

**Ключевые слова:** вибрация, информативные признаки, вибрационное состояние, тренд, решающие функции, программное средство

**Для цитирования:** Бранцевич, П. Ю. Оценка состояния технических объектов по параметрам вибрационного сигнала / П. Ю. Бранцевич, Н. В. Лапицкая, В. А. Леванцевич, Д. В. Деменковец // Цифровая трансформация. – 2021. – № 2 (15). – С. 56–63.



© Цифровая трансформация, 2021

## Assessment of the Technical Objects State by the Parameters of the Vibration Signal

**P. J. Brancevich**, Candidate of Sciences (Technology), Leading  
Researcher, Research Laboratory of Vibrodiagnostic Systems

E-mail: branc@bsuir.edu.by

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



**N. V. Lapitskaya**, Candidate of Sciences (Technology), Associate Professor, Head of Information Technology Software Department  
E-mail: lapan@bsuir.by

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

**V. A. Levantsevich**, Master of Science (Technology), Senior Lecturer of the Information Technology Software Department

E-mail: lvn@bsuir.by

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

**D. V. Demenkovets**, Master of Science (Technology), Senior Lecturer of the Information Technology Software Department

E-mail: Demenkovets@bsuir.by

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

**Abstract.** The aim of the research presented in this work is to develop a new method for processing a vibration signal. Among the considered the main primary informative parameters of vibration signals used to assess the vibration state of rotary-type machines. An approach based on the use of decisive functions is proposed, characterized by their application in relation to both the primary informative parameters of vibration signals and the results of statistical processing of temporal trends of primary parameters. The work also provides examples of decision functions. Also presented is the combined format of the information table on the vibration state of a technical object which is used to create real decision support systems.

**Key words:** vibration, informative characteristics, vibration state, trend, crucial functions, software tool

**For citation:** Brancevich P. J., Lapitskaya N. V., Levantsevich V. A., Demenkovets D. V. Assessment of the Technical Objects State by the Parameters of the Vibration Signal. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 2 (15), pp. 58–65(in Russian).

© Digital Transformation, 2021

**Введение.** Состояние производственного объекта характеризуется многими параметрами, имеющими различную физическую природу. Для механизмов и агрегатов роторного типа, в основу механического функционирования которых положено вращательное движение, одними из важнейших параметров являются амплитудный и спектральный состав вибрации [1-3]. Поэтому решение задачи проактивного технического обслуживания такого оборудования требует непрерывного слежения за вибрацией его узлов и обнаружения самых незначительных изменений в вибрационных сигналах, которые могут быть индикатором начальной стадии износа и дефектов.

Регистрацию вибрационных сигналов можно осуществлять, используя компьютерные измерительно-вычислительные комплексы, состоящие из: мобильного или настольного компьютера; модуля АЦП, подключаемого к стандартному интерфейсу вычислительной машины; виброизмерительных каналов с первичными пьезоэлектрическими преобразователями; проблемно-ориентированного программного обеспечения [4-5].

Наряду с использованием измерительно-вычислительных комплексов для ввода и со-

хранения длительных вибрационных сигналов могут использоваться специальные автономные сборщики-регистраторы [6]. На рисунке 1 показан пример сигнала, полученного с помощью ИВК «Тембр-М» [5].

После регистрации вибрационного сигнала, выполняется его цифровая обработка для выявления аномальных всплесков [7] и (или) вычисления определенных параметров вибросигнала через заданные временные интервалы (построение их трендов во времени), по которым можно оценить техническое состояние объекта. В данной работе решается задача автоматизации процесса принятия решения по оценке технического состояния мониторируемого агрегата, путем анализа значений параметров вибрационного сигнала, отражающего колебания его подшипниковых опор. Данное направление научных исследований является решением одной из подзадач общей проблемы создания компьютерных систем вибрационного мониторинга и диагностики для автоматического принятия решений по защите контролируемых механизмов и агрегатов.

**Основная часть.** При оценке вибрационного состояния технического объекта используют, как правило, следующие основные пара-

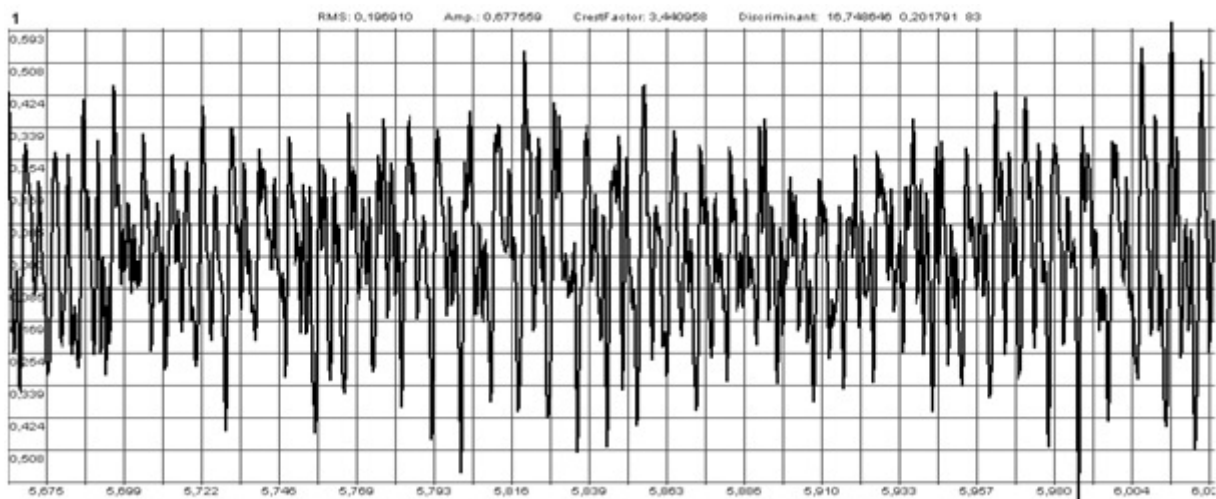


Рис. 1. Исходный вибрационный сигнал в единицах виброускорения, (ось абсцисс – время, с; ось ординат – виброускорение, м/с²)  
 Fig. 1. The original vibration signal in units of vibration acceleration (abscissa axis – time, s; ordinate axis – vibration acceleration, m/s²)

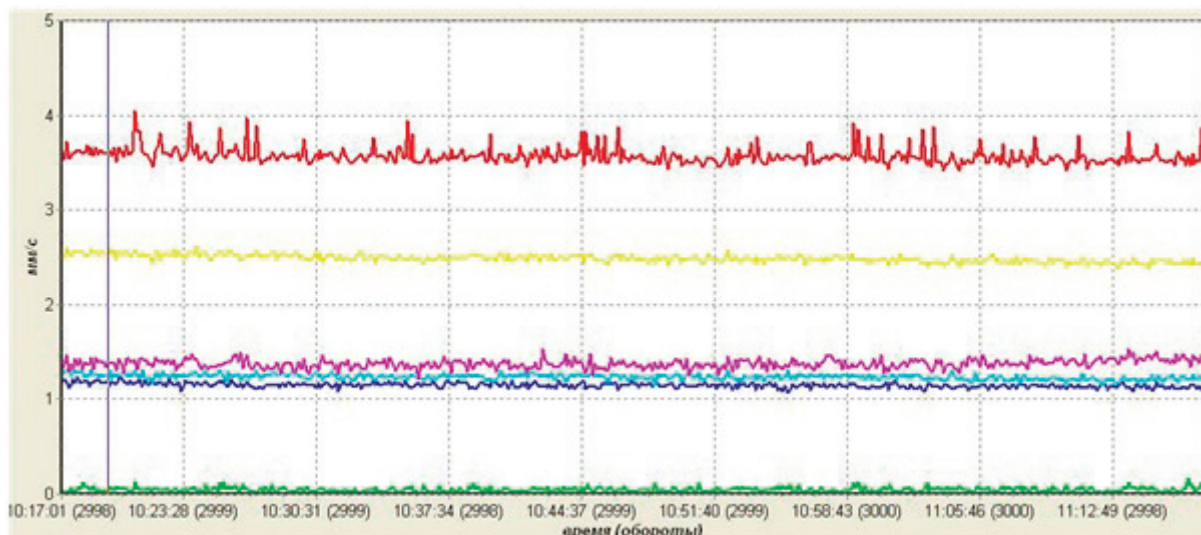


Рис. 2. Изменение СКЗ виброскорости в частотной полосе 10-1000 Гц и СКЗ частотных составляющих 50, 100, 150, 200, 25 Гц  
 Fig. 2. Modification RMS vibration speed in the frequency range 10-1000 Hz and RMS frequency components 50, 100, 150, 200, 25 Hz

метры, вычисляемые путем математической обработки исходного вибрационного сигнала: амплитуды спектральных составляющих вибросигнала на фиксированных частотах (например,  $f_1=25$  Гц,  $f_2=50$  Гц, ...,  $f_k=2000$  Гц); мощность или среднее квадратичное значение (СКЗ) вибрации в полосе частот  $f_n \div f_k$  (может задаваться несколько полос); пик-фактор; эксцесс; асимптота; коэффициент модуляции огибающей вибросигнала; СКЗ составляющих вибрации, выделяемых ветвями с определенными центральными частотами своих АЧХ [8].

При наличии высокопроизводительных вычислителей обработка вибросигнала может быть произведена параллельно с его регистрацией.

На рисунке 2, в качестве примера, пред-

ставлен часовой тренд ряда параметров, вычисленных при обработке вибрационного сигнала, полученного при контроле вибрации подшипниковой опоры турбоагрегата.

Визуальный анализ трендов параметров вибрации позволяет обнаружить их возможные изменения и, соответственно, изменение технического состояния контролируемого объекта. Однако его проведение связано со значительными временными затратами технического специалиста, к тому же, желательно получить какие-то численные оценки обрабатываемых данных. Поэтому актуальна автоматизация этой процедуры.

Обработка данных временных трендов выполняется по алгоритмам теории вероятностей



Рис. 3. Результаты обработки суточного временного тренда СКЗ виброскорости подшипника генератора при его нормальной работе

Fig. 3. Results of processing the daily RMS time direction vibration speed of the generator bearing during its normal operation

и математической статистики [9], которые достаточно просто реализуются программно [10]. На рисунке 3 показан пример такой обработки, в результате которой получена гистограмма распределения СКЗ виброскорости по уровню и численные значения, определяющие отличительные особенности его изменения.

Параметр «Среднее значение виброскорости за период наблюдения» –  $V_{med,CKЗвск}$ , может быть использован для общей оценки технического состояния контролируемого объекта. Для этого применяется решающая функция [11, 12]:

$$FR(V_{med,CKЗвск}) = \begin{cases} 0.25, & \text{если } V_{med,CKЗвск} \leq V_{A,med,CKЗвск}; \\ 0.5, & \text{если } V_{A,med,CKЗвск} < V_{med,CKЗвск} \leq V_{B,med,CKЗвск}; \\ 0.75, & \text{если } V_{B,med,CKЗвск} < V_{med,CKЗвск} \leq V_{C,med,CKЗвск}; \\ 1.0, & \text{если } V_{C,med,CKЗвск} < V_{med,CKЗвск}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $V_{A,med,CKЗвск}$ ,  $V_{B,med,CKЗвск}$ ,  $V_{C,med,CKЗвск}$  – значения СКЗ виброскорости, соответствующие граничным уровням технического состояния, причем  $V_{A,med,CKЗвск} < V_{B,med,CKЗвск} < V_{C,med,CKЗвск}$ . Конкретные величины этих уровней могут определяться: стандартами; путем анализа изменения вибрационного состояния достаточно большого числа однотипных объектов; на основе экспертных оценок. Уровни обычно отличаются друг от друга на 4-8 дБ [1].

Если  $FR(V_{med,CKЗвск}) = 0.25$ , то механизм находится в очень хорошем вибрационном состоянии (это обычно новые (после ремонта), прошедшие приработку машины) и может эксплуатироваться без временных ограничений. Если  $FR(V_{med,CKЗвск}) = 0.5$ , то механизм находится в удовлетворительном вибрационном состоянии и может эксплуатироваться еще в течение нескольких месяцев или тысяч часов. Если  $FR(V_{med,CKЗвск}) = 0.75$ , то состояние механизма оценивается как недостаточно удовлетворительное и на эксплуатацию механизма накладываются ограничения на допустимое время эксплуатации, обычно это несколько дней или десятков-сотен часов. Если  $FR(V_{med,CKЗвск}) = 1$ , то состояние механизма аварийно-опасное и требуется оперативное реагирование, вплоть до его незамедлительной остановки.

Однако, предоставляя обобщенную характеристику вибросостояния объекта на длительном временном интервале, параметр  $V_{med,CKЗвск}$  не отражает возможные изменения амплитудно-частотного состава вибрации на отдельных режимах работы, когда могут наблюдаться её существенные изменения, определяемые «максимальным значением» –  $V_{max,CKЗвск}$ . При оценке состояния по отношению к  $V_{max,CKЗвск}$  также можно применить решающую функцию вида (1), учитывая при этом режимные факторы и предвари-

тельно удалив из выборки возможные случайные выбросы. Изменчивость  $V_{med,CKЗвск}$  характеризуется «СКЗ разброса значений виброскорости за период наблюдения» –  $S_{СКЗвск}$ , а также диапазоном изменения –  $D_{СКЗвск}$ . Установить граничные уровни решающей функции для этих параметров значительно сложнее. В качестве  $S_{A,CKЗвск}$ ,  $D_{A,CKЗвск}$  могут быть приняты, увеличенные на 20-25 процентов, значения  $S_{СКЗвск}$ ,  $D_{СКЗвск}$ , полученные при эксплуатации новых, приработанных машин, при прохождении ими всех типовых режимов эксплуатации. Границы зон B и C целесообразно выбирать на основе результатов длительной эксплуатации объектов контроля и с учетом экспертных оценок. Рост параметра  $S_{СКЗвск}$  или  $D_{СКЗвск}$  свидетельствует об определенном изменении технического состояния объекта, даже при незначительном увеличении  $V_{med,CKЗвск}$ .

Такую же решающую функцию можно применить к другим параметрам. В общем виде она имеет вид:

$$FR(P_i) = \begin{cases} 0.25, & \text{если } P_i \leq P_{A,i'}; \\ 0.5, & \text{если } P_{A,i'} < P_i \leq P_{B,i'}; \\ 0.75, & \text{если } P_{B,i'} < P_i \leq P_{C,i'}; \\ 1.0, & \text{если } P_{C,i'} < P_i, \end{cases} \quad (2)$$

где  $P_i$  –  $i$ -ый параметр вибрационного сигнала;

$P_{A,i'}$ ,  $P_{B,i'}$ ,  $P_{C,i'}$  – значения  $i$ -го параметра, соответствующие граничным уровням технического состояния, причем  $P_{A,i'} < P_{B,i'} < P_{C,i'}$ .

Основной проблемной задачей при этом является выбор конкретных значений  $P_{A,i'}$ ,  $P_{B,i'}$ ,  $P_{C,i'}$  и определение допустимых временных интервалов эксплуатации оборудования, соответствующих граничным уровням этого параметра.

На основе решающих функций по отдельным параметрам можно формировать обобщающие решающие функции для группы параметров.

В простейшем случае – это линейная комбинация решающих функций по отдельным параметрам [12]. Например:

$$FR_{\Sigma} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{k_i}{k_{i,max}} FR(P_i), \quad (3)$$

где  $FR_{\Sigma}$  – значение обобщающей решающей функции;

$N$  – количество решающих функций по отдельным параметрам вибрационного сигнала;

$FR(P_i)$  – значение решающей функции по  $i$ -му параметру;

$k_i$  – весовой коэффициент для решающей функции  $FR(P_i)$ ;

$k_{i,max}$  – максимальный весовой коэффи-

циент из всех весовых коэффициентов для значений решающих функций, используемых для вычисления значения обобщающей решающей функции.

В качестве определяющего в системе принятия решений может быть принято и значение решающей функции, которое имеет максимальную величину с учетом нормирующих коэффициентов:

$$FR_{\Sigma} = \max \left( \frac{k_i}{k_{i,max}} FR(P_i) \right), \quad (4)$$

$$i = 1 \div N; k_{i,max} = \max(k_1, k_2, \dots, k_N).$$

Решающая функция для группы параметров вибрационного сигнала представляется как некая функция от решающих функций по отдельным параметрам:

$$FR_{\Sigma f} = f[FR(P_1), FR(P_2), \dots, FR(P_N)], \quad (5)$$

или как решающая функция  $FR_{S_{\varphi}}$  по отношению к некоторому обобщающему параметру  $S_{\varphi}$ , который, в свою очередь, является функцией от группы параметров:

$$S_{\varphi} = \varphi(P_1, P_2, \dots, P_N). \quad (6)$$

Далее представлены примеры таких функций [12]:

$$FR_{\Sigma f} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [FR(P_i)]^2}; \quad (7)$$

$$FR_{\Sigma f} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [FR(\frac{k_i}{k_{i,max}} P_i)]^2}; \quad (8)$$

$$S_{\varphi} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i)^2}; \quad (9)$$

$$S_{\varphi} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\frac{k_i}{k_{i,max}} P_i)^2}; \quad (10)$$

$$S_{\varphi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{k_i}{k_{i,max}} 201g \frac{P_i}{P_{0,i}} \right), \quad (11)$$

где  $P_{0,i}$  – опорный уровень для параметра  $P_i$ .

**Таблица вибрационного состояния технического объекта.** Сведения о вибрационном состоянии технического объекта содержат информативные параметры, значения которых вычисляются в результате обработки исходных вибрационных сигналов. Для упрощения последующей обработки и сравнительного анализа

в системах поддержки принятия решений (СППР) требуется их структуризация. К сожалению, каждое производственное предприятие, как правило, использует свою форму паспорта технического состояния механизмов и агрегатов. Поэтому, для решения этой проблемы предлагается унифицировать форму таблицы для записи и хранения параметров вибрационных сигналов в ниже представленном формате.

Заголовок, в котором указывается:

- наименование предприятия и его атрибуты (министерство, место расположения, адрес, телефон и т.п.), строка 80 символов;
- подразделение (цех, участок, филиал и т.п.), строка 40 символов;
- тип механизма и его атрибуты (наименование, год выпуска, срок эксплуатации, мощность, основные рабочие частоты, дата последнего ремонта, основные технические характеристики (до 10 параметров)), 15 строк по 40 символов;
- дата и время измерений, строка 80 символов;
- режим работы во время проведения измерений, строка 40 символов;
- резервные информационные поля (до трех), 3 строки по 80 символов.

Информационные строки таблицы содержат следующие поля:

- порядковый номер, 3 символа;
- тип параметра, 2 символа;
- значение параметра, 18 символов;
- атрибуты параметра (единица измерений (10 символов), уточняющие характеристики (до трех полей по 12 символов), наименование параметра (40 символов)).

Параметры подразделяются на следующие типы:

1. Численное значение, обобщающей характеристики вибрационного сигнала, вычисленной в результате обработки конечного временного отрезка вибрационного сигнала.

Например, СКЗ виброскорости (виброускорения) в частотной полосе 10-1000 Гц, пик-фактор, эксцесс, асимптота.

2. Амплитуды отдельных спектральных составляющих в единицах виброускорения или виброскорости (в качестве атрибута указывается значение частоты).

3. СКЗ виброускорения (виброскорости) в относительно узкой полосе частот, как элемент полосового спектра (в качестве атрибутов указываются значения нижней и верхней границ частотной полосы).

4. Параметры вейвлет-преобразования.

Например, СКЗ виброускорения или виброскорости, пик-фактор, составляющей вибрационного сигнала, выделенной вейвлетом (атрибутами являются, тип вейвлета, центральная частота частотной характеристики вейвлета).

5. Амплитудные параметры оборотных составляющих.

Например, амплитуда первой оборотной составляющей в единицах виброскорости, виброускорения или виброперемещения (атрибутами являются, частота вращения ротора, кратность оборотной составляющей по отношению к частоте вращения).

6. Фазовые параметры оборотных составляющих.

Например, фаза первой оборотной составляющей в единицах виброскорости, виброускорения или виброперемещения (атрибутами являются частота вращения ротора, кратность оборотной составляющей по отношению к частоте вращения).

7. Сдвиг фазы частотных составляющих относительно базовой частотной составляющей (атрибутами являются частота базовой составляющей и частота данной составляющей).

8. Параметры полигармонической составляющей (СКЗ виброскорости (виброускорения), пик-фактор, эксцесс, асимптота).

9. Параметры шумоподобной составляющей (СКЗ виброскорости (виброускорения), пик-фактор, эксцесс, асимптота).

10. Параметры модовых компонент, полученных в результате обработки исходного вибросигнала преобразованием Гильберта-Хуанга (СКЗ виброскорости (виброускорения), пик-фактор, эксцесс, асимптота, амплитуды частотных составляющих).

11. Параметры огибающей, выделенной для частотной полосы исходного сигнала, – коэффициент модуляции, амплитуды частотных составляющих (в качестве атрибутов указываются значения нижней и верхней границ частотной полосы).

12 – 18. Параметры, аналогичные параметрам 1 – 6, но вычисленные в результате обработки временных трендов соответствующих параметров.

**Заключение.** Анализ вибрационного состояния технических объектов по информативным признакам и их трендам, вычисленным на основе анализа вибросигнала, представляет собой нетривиальную задачу, которая сопряжена со зна-

чительными временными затратами и требует высокой квалификации инженерно-технического персонала. За более, чем 20-летний период эксплуатации ИВК «Лукомль-2001» [13-16] на предприятиях энергетики Беларуси, получен и продолжает накапливаться, большой объём данных, которые требуют систематизации и последующей обработки [17,18]. Создание СППР, основу логического анализа в которых выполняют решающие функции, направлено на автоматизацию процес-

са обработки вибрационных сигналов, временных трендов вибрационных параметров и предоставления пользователям удобного инструмента для облегчения решения задач данного плана. Предложен подход для решения задачи автоматизации процесса принятия решения по оценке технического состояния мониторируемого агрегата, путем сравнительного анализа значений параметров вибрационных сигналов, отражающих колебания его подшипниковых опор.

## Список литературы

1. Неразрушающий контроль. Справочник. Том 7. Книга 2. Вибродиагностика /Ф. Я. Балицкий и др. М.: Машиностроение, 2005. – 485 с.
2. Bently, D.E. Fundamentals of Rotating Machinery Diagnostics/ D.E. Bently, C.N. Hatch, B. Grissom. – Canada.: Bently pressurized bearing company, 2002. – 726 pp.
3. Гольдин, А.С. Вибрация роторных машин / А.С. Гольдин. М.: Машиностроение, 1999. –344 с.
4. Бранцевич, П. Ю. Методика применения измерительно-вычислительного комплекса "Тембр-М" при оценке вибрационного состояния механизмов и агрегатов / Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2014): сб. статей IV международной заочной научно-технической конференции / Поволжский гос. ун-т сервиса. – Тольятти: Изд-во: ПВГУС, 2014. – с. 55-67.
5. Бранцевич, П.Ю. Аппаратные и программные средства для решения задач вибрационного контроля и диагностики / П.Ю. Бранцевич, С.Ф. Костюк, Е.Н. Базылев, В. Э. Базаревский // Приборостроение-2014. Материалы 7-й Международной научно-технической конференции, Минск, 19-21 ноября 2014 г. / Белорус.нац. техн. ун-т; редкол.: О. К. Гусев (председатель) [и др.]– Минск: БНТУ, 2014, – с.39-40.
6. Бранцевич, П.Ю. Измерительно-вычислительная система распределенного сбора и централизованной обработки виброметрических данных / П.Ю. Бранцевич // Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления. Сборник материалов 12-ой научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов. Под ред. В.Н. Азарова. М.: МГИЭМ, 2000. - с. 170-171.
7. Бранцевич, П.Ю. Большие данные в системах вибрационного контроля, мониторинга, диагностики / П.Ю. Бранцевич, Е.Н. Базылев // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2016. – № 3. – с. 28-41.
8. Brancevich, P. Organization of the vibration-based monitoring and diagnostics system for complex mechanical system / P. Brancevich, X. Miao, Y. Li // 20th International Congress on Sound and Vibration. Bangkok, Thailand, 7-11 July 2013. – Curran Associates, Inc., NY 12571 USA –pp. 612-619.
9. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и её инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. Теория вероятностей и её инженерные приложения. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. – 1988. – 488 с.
10. Бранцевич П. Ю. Оценка технического состояния механизмов вращательным движением на основе анализа вибрационных характеристик пусков и выбегов. –Минск: Четыре четверти. – 2021. – 236 с.
11. Бранцевич, П.Ю. Система контроля и анализа технического состояния механизмов по вибрационным параметрам / П.Ю. Бранцевич // Интеллектуальные системы: Труды четвертого международного симпозиума. Под ред. К.А. Пупкова. - М.: РУСАКИ, 2000. с. 244-247.
12. Brancevich, P.J. Organization of intellectual system of the assessment technical conditions composite mechanisms / P.J. Brancevich, Y. Li // Open Semantic Technology for Intelligent Systems (OSTIS-2013): Materials III Intern. scientific and engineering. Conf. (Minsk, 21-23 February 2013). –Minsk: BSUIR, 2013. pp. 569-572.
13. Бранцевич, П.Ю. ИВК «Лукомль-2001» для вибрационного контроля / П.Ю. Бранцевич // Энергетика и ТЭК, № 12 (69), 2008, с.19-21
14. Патент на полезную модель. 8654 Республика Беларусь. Устройство для измерения параметров вибрации и защиты механизмов с вращательным движением / П.Ю. Бранцевич, С.Ф. Костюк; заявлено 21.03.2012; опубл. 30.10.2012, Официальный бюллетень. Изобретения, полезные модели, промышленные образцы. № 5., 2012– с. 230–231.
15. МРБ МП.МН 2238-2012. Измерительно-вычислительный комплекс «Лукомль-2001(4)». Методика поверки [Текст]. – Введ. 2012–05–14. – Минск: Белорусский государственный институт метрологии, 2012. –19 с.
16. Бранцевич, П.Ю. Решение задач вибрационного контроля, мониторинга, оценки технического состояния механизмов и турбоагрегатов с помощью компьютерных комплексов / П.Ю. Бранцевич, С.Ф. Костюк, Е.Н. Базылев // Доклады БГУИР. – 2015. – № 2 (88). – с. 148-152.

17. Бранцевич, П. Ю. Разработать программное обеспечение для обработки результатов, полученных с помощью измерительно-вычислительного комплекса «Тембр» (Отчет о НИР № ГР 20090025) [Электронный ресурс] / П. Ю. Бранцевич ; УО «БГУИР». — Мн., 2009. — 140 с. — Рус. — Деп. в ГУ «БелИСА» 26.02.2010 г., № Д201010.
18. Бранцевич, П.Ю. Получение и анализ больших объемов виброметрических данных и сигналов/ П.Ю. Бранцевич, Е.Н. Базылев, С.Ф. Костюк // BIG DATA and Advanced Analytics: collection of materials of the third international scientific and practical conference. (Minsk, Belarus, May 3–4, 2017) / editorial board: M. Batura [etc.]. – Minsk, BSUIR, 2017. – с. 144-149.

## References

1. Non-destructive testing. Directory. Volume 7. Book 2. Vibration diagnostics. F. Ya. Balitsky et al. M.: Mashinostroenie, 2005. – 485 p.
2. Bently D.E. Fundamentals of Rotating Machinery Diagnostics. D.E. Bently, C.N. Hatch, B. Grissom. - Canada.: Bently pressurized bearing company, 2002. 726 pp.
3. Goldin A.S. Vibration of rotary machines. A.S. Goldin. M.: Mashinostroenie, 1999. –344 p.
4. Brancevich P. J. Methods of using the measuring and computing complex "Timbre-M" in assessing the vibration state of mechanisms and assemblies. Information technology. Radio electronics. Telecommunications (ITRT-2014): Sat. articles of the IV international correspondence scientific and technical conference. Volga State. un-t service. Togliatti: Publishing house: PVGUS, 2014. p. 55-67.
5. Brancevich, P. J. Kostyuk S.F., Bazylev E.N., Bazarevsky V.E. Hardware and software for solving problems of vibration control and diagnostics. Instrument-making-2014. Materials of the 7th International Scientific and Technical Conference, Minsk, November 19-21, 2014. Belarus.nats. tech. un-t; editorial board.: O. K. Gusev (chairman) [and others]. Minsk: BNTU, 2014. p. 39-40.
6. Brancevich, P. J. Measuring and computing system for distributed collection and centralized processing of vibrometric data. Sensors and converters of information of measurement, control and management systems. Collection of materials of the 12th scientific and technical conference with the participation of foreign experts. Ed. V.N. Azarov. M.: MGIEM, 2000. p. 170-171.
7. Brantsevich P.Yu. Bazylev E.N. Big data in vibration control systems, monitoring, diagnostics. Non-destructive testing and diagnostics. 2016. No. 3. p. 28-41.
8. Brancevich P. Miao X, Li Y. Organization of the vibration-based monitoring and diagnostics system for complex mechanical system. 20th International Congress on Sound and Vibration. Bangkok, Thailand, 7-11 July 2013. Curran Associates, Inc., NY 12571 USA. pp. 612-619.
9. Wentzel E.S. Ovcharov L.A. Probability theory and its engineering applications. Probability theory and its engineering applications. M.: Science. Ch. ed. phys.-mat. lit. 1988.- 488 p.
10. Brancevich P. J. Assessment of the technical state of mechanisms by rotary motion based on the analysis of vibration characteristics of starts and runs. Minsk: Four quarters. 2021.- 236 p.
11. Brancevich P.J. System for monitoring and analyzing the technical state of mechanisms by vibration parameters. Intelligent systems: Proceedings of the fourth international symposium. Ed. K.A. Pupkov. M.: RUSAKI, 2000. p. 244-247.
12. Brancevich P.J., Li Y. Organization of intellectual system of the assessment technical conditions composite mechanisms. Open Semantic Technology for Intelligent Systems (OSTIS-2013): Materials III Intern. scientific and engineering. Conf. (Minsk, 21-23 February 2013). Minsk: BSUIR, 2013. pp. 569-572.
13. Brantsevich P.J. IVK "Lukoml-2001" for vibration control. Energy and Fuel and Energy Complex, No. 12 (69), 2008, pp. 19-21
14. Brancevich P.J., Kostyuk S.F. Patent for utility model. 8654 Republic of Belarus. Device for measuring vibration parameters and protection of mechanisms with rotary motion; declared 03/21/2012; publ. 10/30/2012, Official Bulletin. Inventions, utility models, industrial designs. No. 5., 2012. p. 230-231.
15. MRB MP.MN 2238-2012. Measuring and computing complex "Lukoml-2001 (4)". Verification method [Text]. - Introduction. 2012-05-14. Minsk: Belarusian State Institute of Metrology, 2012. 19 p.
16. Brantsevich P.J. Kostyuk S.F., Bazylev E.N. The solution of problems of vibration control, monitoring, assessment of the technical condition of mechanisms and turbine units using computer systems. Reports of BSUIR. 2015. No. 2 (88). p. 148-152.
17. Brancevich P. J. To develop software for processing the results obtained using the measuring and computing complex "Timbre" (Research report No. GR 20090025). UO "BSUIR". Mн., 2009. 140 p. Rus. Dep. in GU "BelISA" on February 26, 2010, No. D201010.
18. Brancevich P.J., Bazylev E.N., Kostyuk S.F. Obtaining and analysis of large volumes of vibrometric data and signals. BIG DATA and Advanced Analytics: collection of materials of the third international scientific and practical conference. (Minsk, Belarus, May 3-4, 2017) editorial board: M. Batura [etc.]. Minsk, BSUIR, 2017. p. 144-149.

*Received: 15.10.2020*

*Поступила: 15.10.2020*

## Готовность учреждений высшего образования к цифровой трансформации процессов

**А. Н. Марков**, заместитель начальника Центра информатизации и инновационных разработок

E-mail: a.n.markov@bsuir.by

ORCID ID: 0000-0001-8508-1812

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

**С. А. Мигалевич**, начальник Центра информатизации и инновационных разработок

E-mail: migalevich@bsuir.by

ORCID ID: 0000-0003-2205-3042

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

**Аннотация.** В статье рассмотрен опыт развития и трансформации внутренних информационных систем учреждений высшего образования в системе образования Республики Беларусь. Рассмотрены основные принципы цифровизации с учетом уже имеющихся подходов. В учреждениях высшего образования существуют собственные внутренние интегрированные информационные системы управления учебным процессом и учреждением образования в целом. Интеграция в ИИС «Университет» систем контроля доступом, единых карт студентов и работников учреждений образования с контролем периметра, информационная защита внутренних ресурсов и ИИС в целом значительно ускорит процессы цифровизации учреждений образования, а как следствие более быстрый переход к цифровой экономике.

**Ключевые слова:** ИИС «Университет», информационная защита, системы контроля и управления доступом, студенческий билет, карта работника

**Для цитирования:** Марков, А. Н. Готовность учреждений высшего образования к цифровой трансформации процессов / А. Н. Марков, С. А. Мигалевич // Цифровая трансформация. – 2021. – № 2 (15). – С. 64–68.

© Цифровая трансформация, 2021



## Readiness of Higher Education Institutions for Digital Transformation Processes

**A. N. Markov**, Deputy head of the Center for Informatization and Innovative Developments

E-mail: a.n.markov@bsuir.by

ORCID ID: 0000-0001-8508-1812

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 4 Brovki Str., 220013 Minsk, Republic of Belarus

**S. A. Migalevich**, Head of the Center for Informatization and Innovative Developments

E-mail: migalevich@bsuir.by

ORCID ID: 0000-0003-2205-3042

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 4 Brovki Str., 220013 Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The article discusses the experience of development and transformation of internal information systems of higher education institutions of cards in the education system of the Republic of Belarus. The basic principles of digitalization are considered, taking into account the existing approaches. Higher education institutions have their own internal integrated information systems for managing the educational process and the educational institution as a whole. Integration of access control systems, uniform cards of students and employees of educational institutions with perimeter control into IIS "University", information protection of internal resources and IIS as a whole will significantly accelerate the digitalization of educational



institutions, and as a result, a faster transition to the digital economy.

**Key words:** IIS «University», information security, AMS (access monitoring systems), student card, worker card

**For citation:** Markov A. N., Migalevich S. A. Readiness of Higher Education Institutions for Digital Transformation Processes. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 2 (15), pp. 64–68 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

**Введение.** В современном мире при нарастающих объемах работ с большими объемами информации, а также повсеместной цифровой трансформации различных сфер деятельности, одним из основоположников развития ИТ-инфраструктуры в государственных организациях должны стать учреждения высшего образования (УВО). Зачастую при формировании базовых навыков и умений при обучении студентов, независимо от принадлежности к профессии, местоположению учреждения высшего образования, развитию материально-технической базы, наблюдается повсеместный рост информационного потока. Наряду с этим растет число пользователей, которые потребляют различный контент и используют внутренние сервисы учреждений высшего образования: информационные ресурсы библиотек с учебно-методическими пособиями, информационные ресурсы расписания и личных кабинетов, системы дистанционного обучения, сервисы по предоставлению студенческих лицензий для студентов.

**Развитие электронного образования в мире.** Следует рассмотреть, что происходит с электронным обучением у других стран. Во Франции утверждают: университеты всего мира должны представлять единый образовательный комплекс. Выдвинута инициатива электронной Европы, которая предполагает получение всеми компьютерных прав, реализацию онлайн обучения для нетрудоспособных граждан.

В Европе реализована стратегия «Электронная Болонья», суть которой – создание виртуального образовательного пространства для обучения студентов из Европы и других стран. В развитии электронного обучения выделяется общая тенденция – ежедневное обновление учебных материалов с помощью интернета, e-learning и стандартов в области e-learning. E-learning сегодня становится главным инновационным инструментом в жизни людей, в образовании, в экономике. [1]

**Развитие системы образования Республики Беларусь.** На 2013 год система образования Республики Беларусь по официальным данным включала более 9 тыс. учреждений образования различного уровня, в которых получало обра-

зование свыше 2 млн. обучающихся. Образовательный процесс обеспечивался более 460 тыс. работников, из них около 250 тыс. педагогических работников. На сегодняшний день в тенденции присутствуют незначительные изменения. Так по показателям на 2019-2020 год по республике незначительно сократилось число учреждений образования различного уровня; число обучающихся, ввиду демографической ямы в целом снизилось до 1.9 млн. обучающихся; число работников, обеспечивающих учебный процесс и педагогических работников практически осталось без изменений.

Доступ к сети Интернет имеет примерно 95% учреждений общего среднего образования, в том числе в 80% учреждений доступ обеспечен по широкополосному каналу связи. Все учреждения высшего и среднего специального образования подключены к сети интернет и в той или иной мере пользуются такими услугами, как электронная почта, веб-услуги и другие.

Существующая нормативная база в целом позволяет реализовывать мероприятия по информатизации системы образования. Вместе с тем, ряд нормативных документов уже устарел в силу высокой динамики развития средств информационных технологий не только в учреждениях образования. Отдельные документы были приняты как временные и требуют доработок и уточнений для соответствия действующему законодательству Республики Беларусь. [2]

По отношению к высшим учебным заведениям можно отметить тенденцию ежегодного повышения процента обеспеченности студентов и работников университетов и институтов компьютерной техникой. Так в 2018 году активными пользователями компьютерной сети Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (БГУИР) было всего чуть более 3000 аккаунтов, а к 2020 их число возросло до 8000. За ростом числа пользователей, также возрастают и объемы данных, передаваемых как внутри локальных сетей учреждений образования, так и вне этих сетей, что приводит к росту загрузки оборудования, полос пропускания, частот и каналов связи в целом. Кроме обмена данными пропорционально растет и нагрузка

на дата-центры. Учитывая специфику некоторых учреждений образования проводить различные семинары, тренинги, видеоконференции, презентации, курсы повышения квалификации и реализации программ дополнительного обучения. Объем генерируемого трафика, а также необходимость в бесперебойной работе оборудования и каналов связи требует дополнительного внимания при организации работы локальных вычислительных сетей и центров обработки данных.

**Проблематика цифровизации процессов в системе образования в Республике Беларусь.** В осуществлении процессов цифровизации системы образования в настоящее время существует ряд перспективных направлений и проблем, требующих учета при планировании развития: 1. Для функционирования постоянно развивающихся ИКТ инфраструктуры учреждений образования требуются квалифицированные ИТ-специалисты, дефицит которых резко ощущается во всех отраслях. 2. Недостаточная координация различных направлений и технологических решений, реализуемых в рамках государственных и отраслевых программ, отдельных проектов, имеющих свои цели и задачи, условия реализации, заказчиков и исполнителей. Размытость системы подчиненности и подотчетности, четкого разделения функций. 3. Разрабатываемые образовательные ресурсы в полной мере доступны только в компьютерном классе, их представление в сети интернет недостаточно.

Анализ процессов информатизации системы образования в целом, и учреждений высшего образования в частности, позволяет выделить следующие основные тенденции развития средств информатизации, применяемых в образовании: 1. Наблюдается приближение компьютера к пользователю: вначале – дисплейный класс для интерактивной работы, затем – персональный компьютер в классе, а далее – и дома, наконец, мобильность – носимое устройство (ноутбук, планшет, смартфон). 2. Рост функциональности – от обработки числовой информации, к обработке текстов и машинной графике, и далее – к мультимедийным возможностям (фото, звук, видео). 3. Конвергенция технических средств. Сегодня ноутбуки по функционалу и производительности практически не уступают стационарным компьютерам. Планшеты и смартфоны оснащаются все более мощными процессорами и имеют все больший объем памяти, что также приближает их к ноутбукам и стационарным компьютерам. [2]

**Предполагаемые подходы к информационной системе учреждения образования.** На этапе реализации цифровой трансформации в системе высшего образования необходимо предусматривать четыре основных подхода к дальнейшему совершенствованию и модернизации ИТ-инфраструктуры в целом.

Реализация взаимодействия единой интегрированной информационной системы, включая обмен с внешними информационными системами. Процесс взаимодействия интегрированной информационной системы (ИИС «Университет») непосредственно основан на централизации потоков и ядра для процесса управления высшим учреждением образования и организации учебной и научной работы в университете в целом. Так, к примеру, интеграция ИИС «Университет» с модулем системы расчета лекционной и практической нагрузки преподавателей позволит автоматизировать процесс учебной деятельности, а при взаимной интеграции данных систем с модулем системы управления УВО – позволит автоматизировать и процесс кадровой и бухгалтерской документации не только по работникам, но и по студентам. При осуществлении перехода на единое ядро управления взаимодействием информационных систем отпадает необходимость поддержки промежуточных звеньев (баз данных, сервисов, служб), что в значительной степени экономит как нагрузку на оборудование, так и нагрузку на специалистов в поддержке и доработке промежуточных звеньев по данному направлению. Однако поддержка самого ядра системы, а также интеграционных процессов модулей внутри систем и интеграции с внешними информационными системами требует значительно большей квалификации работников, а в некоторых случаях и узкой специализации работников.

Кроме того, при реализации концепции развития цифрового государства, а, следовательно, и цифровой трансформации внешних государственных систем, единое ядро, интеграция подсистем и взаимодействие с внешними подсистемами позволит значительно ускорить процессы перехода к цифровой экономике. Так в ИИС «Университет» предусмотрена возможность взаимодействия с Регистром обучающихся единой концепции создания республиканской информационно-образовательной среды.

Реализация концепции контроля и управления доступом в УВО, включая периметральную защиту и информационную защиту. Зачастую внедрение системы контроля и управления до-

ступом (СКУД) может оказаться проблемным вопросом на этапе принятия решения о построении и реализации системы на базе высшего учебного заведения. Однако при построении СКУД в УВО необходимо полагаться на решение следующих вопросов:

1. Организация контролируемого доступа в УВО. Студенты, по единому студенческому билету, привязанному к банковской карте, и работники университета, по карте сотрудника, имеют доступ в корпуса университета согласно графику работы УВО, расписаниям занятий и возможностью доступа в различные специализированные помещения (лаборатории, совместные учебные центры, научно-практические кабинеты, аудитории совместного доступа). Внедрение СКУД значительно сократит посещаемость сторонних лиц внутри периметра учебного заведения без предварительного контроля (идентификации личности) и разрешения доступа. Кроме этого, СКУД, при интеграции с системой управления УВО позволит организовать автоматизацию процесса контроля рабочего времени работников, не задействованных непосредственно в учебном процессе, а также учебно-вспомогательного персонала, учитывая время прихода и ухода.

2. Организация контролируемого доступа в аудитории УВО. Реализация проектов по переходу к системе контроля и управления доступом по картам сотрудника в общеуниверситетские компьютерные классы, аудитории и лаборатории согласно расписанию занятий. На входах в аудитории находятся RFID-считыватели. Процесс доступа в аудитории автоматизирован и интегрирован модулем внутренней ИИС «Университет» – ИИС «Расписание занятий».

3. Организация периметрального наблюдения для возможностей контроля посторонних лиц внутри периметра УВО, перемещения техники по территории возле корпусов УВО, контроль внешних границ УВО.

**Реализация защиты информационного периметра.** Подход к реализации защиты информационного периметра регламентирован документами Оперативно-аналитического центра при президенте Республики Беларусь. Кроме того, для полноценной и полносвязной защиты информационного периметра и ресурсов локальной сети, планируется внедрение политики информационной безопасности, в которой отражены вопросы логической, технико-программной и документальной реализации защиты и контроля ресурсов, каналов связи, оборудования и внутренних ин-

формационных систем. При наличии обособленных структурных подразделений, а также подразделений с определенным уровнем доступа к информации (уровнем секретности) возможны расхождения с общей политикой безопасности. В таком случае защита информационного периметра регламентируется локальными политиками безопасности, или документами, регламентирующими уровень доступа к секретной информации.

**Реализация проекта перехода на облачные вычисления.** С развитием внутренних дата-центров УВО и с внедрением новых технологий и сервисов для учебного и рабочего процесса появляются необходимости реализации внутренних гибридных облачных сервисов. Внутренние гибридные облачные сервисы УВО, в первую очередь, позволяют реализовать перевод компьютерных учебных аудиторий на облачные вычисления с доступом к ресурсам через тонкие клиенты, как конечные устройства. При дальнейшем внедрении и расширении гибридного облака возможен также перевод рабочих мест работников университета на удаленные рабочие места по технологии VDI, что позволит оптимизировать процесс работы администрации и работников УВО ввиду централизованного, распределенного по правам, доступа к внутренним сервисам. Возможность удаленного доступа к персонализированному виртуальному рабочему месту не зависимо от местонахождения, получение внутреннего защищенного хранилища с резервированием данных, возможность использования мобильных устройств для работы, возможность удаленной работы с различными периферийными устройствами, в том числе с электронными ключами – одни из основных пунктов реализации возможностей внутреннего облака (рис. 1). В дальнейшем при развитии информационной инфраструктуры университета и интеграции с различными модулями информационных систем реализация обеспечения бесперебойной, качественной и независимой от местоположения позволит в значительной степени организовать как рабочий процесс управления университетом, так и непосредственно учебный процесс, включая дистанционные формы получения образования.

Кроме этого, реализация проекта перехода на облачные вычисления подразумевает под собой переход на единую учетную запись, что позволит предоставить студентам и работникам: 1. Доступ к внутренним сервисам учреждения образования согласно должностным обязанностям, 2. Доступ в интернет как внутри локальной сети,

так и в зоне покрытия беспроводных сетей международного роумингового сервиса лиц, занятых в сфере научно-исследовательской деятельности, высшего образования – «EDUROAM», 3. Учитывая принадлежность единой учетной записи работника или студента непосредственно к учреждению образования возможно получение скидок, а в некоторых случаях и полностью бесплатного доступа к различным программным продуктам, сервисам по подписке, которые требуются в процессе работы или учебы и которые требуют верификацию учетной записи и принадлежности к учебно-му заведению той или иной категории.

Реализация возможностей дистанционного обучения студентов, предоставление сервисов студентам «по подписке», реализация проектов внедрения интегрированной системы контроля и управления доступом на базе единых студенческих билетов, привязанных к банковским картам, улучшение существующих сервисов – комплекс мер, без которых существующая ИТ-инфраструктура

в цифровом обществе через незначительный промежуток времени может себя изжить. Учитывая специфику высших учебных заведений, привлекая студенческий потенциал для реализации различного рода решений в области совершенствования функционирования внутренних интегрированных информационных систем (ИИС), а также создания и внедрения новых ИИС можно добиться выхода на международные принципы реализации ИТ-инфраструктур среди высших учебных заведений.

Однако в процессе реализации той или иной концепции не стоит забывать о подготовке технической базы, процессов и методов взаимодействия, алгоритмов и путей решения существующих проблем внутри системы образования в целом. В условиях цифровой трансформации процессов УВО необходимо использовать современные технологии, которые так или иначе связаны с процессом информатизации университета, как следствие цифровизации экономики.

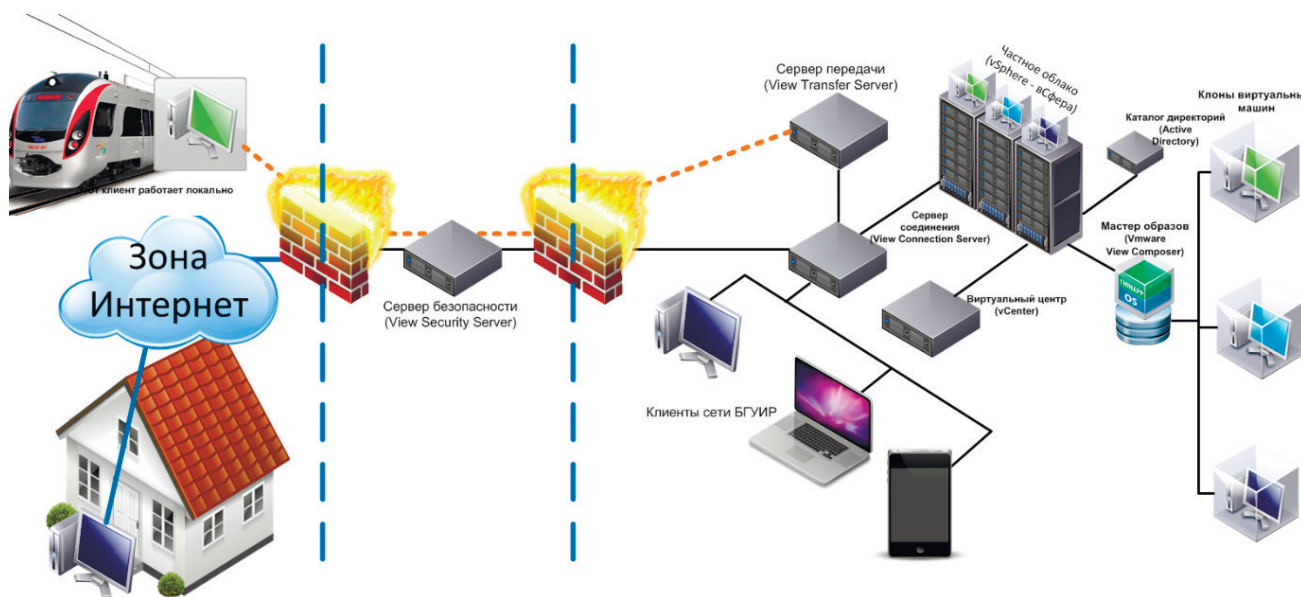


Рис. 1. Структурная схема корпоративного облака сети на примере сети БГУИР  
Fig. 1. Block diagram of the corporate network cloud on the example of the BSUIR network

### Заключение.

1. Существующая система управления внутри высших учебных заведений должна предусматривать объединение разрозненных интегрированных информационных систем в единую систему управления ИИС «Университет»
2. ИИС «Университет» должна предусматривать взаимодействие с СКУД для контроля физического периметра высшего учебного заведения.
3. Необходимо предусматривать наряду с защитой физического периметра защиту информационного периметра и внутренних информационных систем.
4. Развитие и переход на различные варианты облачных вычислений, что в значительной степени упростит процесс обучения, организует работоспособность всех систем управления высшим учебным заведением и обеспечит отказоустойчивость сервисов и служб для студентов и работников.

## Список литературы

1. Савзиханова С.Э. Зарубежный опыт развития сферы образовательных услуг // Креативная экономика. – 2013. – Том 7. – № 10. – С. 127-135.
2. Концепция информатизации системы образования Республики Беларусь на период до 2020 года. – 2013. – С. 7-8.

## References

1. Savzikhanova, S.E. (2013) Foreign experience of educational services development. Creative Economy, 7(10), 127-135. (in Russian)
2. The concept of informatization of the education system of the Republic of Belarus for the period up to 2020 – 2013, 7-8. (in Russian)

Received: 11.02.2021

Поступила: 11.02.2021

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

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

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

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

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

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

4. Аннотация должна быть:

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

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

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

---

\* на русском (белорусском) и английском языках

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;
- 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.giac.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](mailto: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>.*