

НОВОСТИ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

NEWS OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES

**РАЗВИТИЕ ЦИФРОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В 2021–2025 ГГ. КАК НОВЫЙ ЭТАП
ПОСТРОЕНИЯ ЭКОНОМИКИ ЗНАНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

DEVELOPMENT OF THE DIGITAL INFRASTRUCTURE OF THE STATE SYSTEM
OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL INFORMATION IN 2021–2025
AS A NEW STAGE IN BUILDING A KNOWLEDGE ECONOMY

ИНТЕГРАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ
INTEGRATION OF LOGISTICS FLOWS IN INDUSTRY

**МЕТОДОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ
В ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ**
APPLICATION'S METHODOLOGY OF NANOSTRUCTURED MATERIALS
IN SLIDING BEARINGS



ИННОВАЦИОННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ОКБ ТСП»



ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ, РАЗРАБОТОК И ПРОИЗВОДСТВА

- Разработка элементов и систем СВЧ-диапазона:
 - приемно-преобразующих модулей
 - высокостабильных синтезаторов частоты
 - усилителей мощности
 - малошумящих усилителей
 - полосовых фильтров
 - импульсных модуляторов и других устройств
- Распределенные вычислительные системы промышленного и специального назначения
- Навигационные системы и датчики положения объектов
- Системы связи и передачи данных специального назначения
- Бортовые информационно-управляющие системы для шасси различного назначения
- Кунги и подвижные платформы с системами горизонтирования
- Высокоточные электрические и электро-гидравлические следящие приводы



Республика Беларусь, 220076, г. Минск, ул. Франциска Скорины, 21/1
Тел.: (+375 17) 311-05-69, факс: (+375 17) 311-05-68, e-mail: tsp@tspb.com

НАУЧНО - ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

НОВОСТИ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

NEWS OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 21 января 2015 г. № 16 научно-практический журнал «Новости науки и технологий» включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по экономическим и техническим наукам.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ И РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ И РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

Шумилин Александр Геннадьевич

д-р экон. наук, доцент, Председатель ГКНТ

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ

Грищук Виктор Михайлович

канд. техн. наук, доцент, директор ГУ «БелИСА», главный редактор

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

Аваков Сергей Мирзоевич

д-р техн. наук, профессор кафедры электронной техники и технологии БГУИР, Генеральный директор ОАО «Планар»

Бойков Владимир Петрович

д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Тракторы» БНТУ

Ботеновская Екатерина Сергеевна

канд. экон. наук, ведущий специалист по внешнеэкономическим связям в бюро валютного контроля НПООО «ОКБ ТСП»

Володько Владимир Фёдорович

д-р пед. наук, профессор, зав. кафедрой менеджмента БНТУ

Ганэ Вадим Арведович

д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник НПООО «ОКБ ТСП»

Данильченко Алексей Васильевич

д-р экон. наук, профессор, декан факультета маркетинга, менеджмента, предпринимательства БНТУ

Дерновой Владимир Михайлович

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, главный эксперт, член Совета директоров НПООО «ОКБ ТСП», заместитель главного редактора

Ивуть Роман Болеславович

д-р экон. наук, профессор, зав. кафедрой «Экономика и логистика» БНТУ, научный редактор

Коробкин Владимир Андреевич

д-р техн. наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР

Косовский Андрей Аркадьевич

канд. экон. наук, доцент, Первый заместитель Председателя ГКНТ

Листопад Николай Измаилович

д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой информационных радиотехнологий БГУИР

Лях Юлия Вадимовна

канд. техн. наук, научный секретарь ГУ «БелИСА», заместитель главного редактора

Новикова Ирина Васильевна

д-р экон. наук, профессор, зав. кафедрой менеджмента, технологий бизнеса и устойчивого развития БГТУ

Савенко Сергей Александрович

д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник ГУ «НИИ Вооруженных Сил Республики Беларусь», научный редактор

Щербаков Сергей Сергеевич

д-р физ.-мат. наук, профессор, заместитель Председателя ГКНТ

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

Баханович Александр Геннадьевич

д-р техн. наук, доцент, ректор УО «Брестский государственный технический университет»

Евдокимов Виктор Валерьевич

д-р экон. наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники Украины, ректор Государственного университета «Житомирская политехника» (Украина)

Милорад М. Кураица

д-р физ. наук, профессор, профессор Физического факультета Белградского университета (Сербия)

Рудый Кирилл Валентинович

д-р экон. наук, профессор, независимый директор ОАО «Банк развития Республики Беларусь»

Фоломьев Александр Николаевич

д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры государственного регулирования экономики Института государственной службы и управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (Российская Федерация)

Чижик Сергей Антонович

академик НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор, Первый заместитель Председателя Президиума НАН Беларуси

№ 2 (57) 2021 г.
Издается с декабря 2004 г.

Зарегистрирован
в Министерстве информации
Республики Беларусь,
свидетельство о регистрации
№ 576 от 24.07.2009 г.

Учредитель:

Государственное учреждение
«Белорусский институт системного анализа
и информационного обеспечения
научно-технической сферы»
(ГУ «БелИСА»)

Издатель:

ГУ «БелИСА»
Свидетельство о регистрации
в Министерстве информации
Республики Беларусь
№ 1/307 от 22.04.2014 г.

Адрес редакции:

пр. Победителей, 7,
220004, г. Минск
ГУ «БелИСА»

(журнал «Новости науки и технологий»)

Тел.: (+375 17) 203-41-23,
(+375 17) 306-09-46

Факс: (+375 17) 226-63-25

E-mail: vl@belisa.org.by,
isa@belisa.org.by

<http://www.belisa.org.by>

Над номером работали:

О. М. Сенкевич, Е. В. Судиловская.

Издание распространяется:

1. По подписке через редакцию, а также через РУП «Белпочта».
2. По целевой адресной рассылке в органы государственного управления, организации и предприятия научно-технической сферы.
3. На международных республиканских выставках, конференциях, семинарах.

Подписные индексы:

002802 — для предприятий и организаций
00280 — для индивидуальных подписчиков

© «Новости науки и технологий»

Публикуемые материалы
отражают мнение их авторов.
Редакция не несет ответственности
за содержание рекламных материалов.
При перепечатке публикаций
ссылка на журнал обязательна.
Все упомянутые в материалах журнала
наименования продуктов
и товарные знаки являются
собственностью их владельцев.
Научные публикации рецензируются.

Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная.

Печать цифровая.

Усл. печ. л. 7,44. Уч.-изд. л. 6,95.

Гарнитура Minion.

Подписано в печать 21.06.2021 г.

Тираж 100 экз. Заказ № 6.

Отпечатано в издательско-полиграфическом
отделе ГУ «БелИСА».

Лиц. 02330/485 от 14.09.2018.

В НОМЕРЕ:

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Развитие цифровой инфраструктуры государственной системы научно-технической информации в 2021–2025 гг. как новый этап построения экономики знаний в Республике Беларусь

А. А. Косовский, И. В. Матвиенко, Н. Г. Юневич

Development of the Digital Infrastructure of the State System of Scientific and Technical Information in 2021–2025 as a New Stage in Building a Knowledge Economy in the Republic of Belarus..... 3

A. Kosovskiy, I. Matvienko, N. Yunevich

Противоречия торгово-экономических стратегий Китайской Народной Республики и Соединенных Штатов Америки

Ши Чжичао

Contradictions Between the Trade and Economic Strategies of the People's Republic of China and the United States of America 11

Shi Zhichao

Длительное накопление отраженного сигнала при высоком разрешении по дальности и угловых рысканиях радиолокационной цели

С. В. Козлов, Ле Ван Кыонг, В. В. Радионович

Long-Term Accumulation of the Reflected Signal for High-Range Resolution Radars Taking into Account Angular Yaw of Target..... 19

S. Kozlov, Le Van Cuong, V. Radionovic

Интеграция логистических потоков в промышленности

В. А. Скориков

Integration of Logistics Flows in Industry 30

V. Skorikov

Методология применения наноструктурированных материалов в подшипниках скольжения

И. В. Войтов, А. Р. Цыганов, А. С. Калиниченко, В. Л. Басинюк, О. Г. Девойно

Application's Methodology of Nanostructured Materials in Sliding Bearings..... 37

I. Voitov, A. Tsyganov, A. Kalinichenko, V. Basinyuk, O. Devoino

Анализ методов и алгоритмов определения граничных пикселей полутонового изображения при операции двумерной свертки

Д. В. Заерко, В. А. Липницкий

Analysis of Methods and Algorithms for Determining Boundary Pixels of a Half-Tone Image in A Two-Dimensional Conversion Operation 43

D. Zaerko, V. Lipnitski

Трансформация производственно-логистической системы в умную сеть поставок: теоретико-методологические аспекты

О. В. Мясникова

Production-Logistics System Transformation into a Smart Supply Network: Theoretical and Methodological Aspects..... 53

O. Miasnikova

НА ЗАМЕТКУ

Правила для авторов..... 63

УДК 002.5; 002.63; 004.31; 061.6

РАЗВИТИЕ ЦИФРОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ
СИСТЕМЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
В 2021–2025 ГГ. КАК НОВЫЙ ЭТАП ПОСТРОЕНИЯ
ЭКОНОМИКИ ЗНАНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

DEVELOPMENT OF THE DIGITAL INFRASTRUCTURE
OF THE STATE SYSTEM OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL INFORMATION
IN 2021–2025 AS A NEW STAGE IN BUILDING A KNOWLEDGE ECONOMY
IN THE REPUBLIC OF BELARUS

А. А. Косовский,

Первый заместитель Председателя Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь, канд. экон. наук, доцент, г. Минск, Республика Беларусь

И. В. Матвиенко,

начальник информационно-аналитического центра Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь

Н. Г. Юневич,

заведующая сектором научно-методического обеспечения Государственной системы научно-технической информации ГУ «Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы», г. Минск, Республика Беларусь

A. Kosovski,

First Vice-Chairman of the State Committee on Science and Technology of the Republic of Belarus, PhD in Economics, Associate Professor, Minsk, Republic of Belarus

I. Matvienko,

Head of Department, State Committee on Science and Technology of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

N. Yunevich,

Head of the Sector for Scientific and Methodological Support of the State System of Scientific and Technical Information of the SO “Belarusian Institute of System Analysis and Information Support of Scientific and Technical Sphere”

Дата поступления в редакцию — 19.01.2021 г.

В статье рассматриваются условия, созданные в Республике Беларусь в ходе построения цифровой экономики и развития информационного общества. Данные условия признаются базой для новых актуальных преобразований Государственной системы научно-технической информации Республики Беларусь (ГСНТИ) как ключевого генератора знаний Национальной инновационной системы. Научно-техническая информация (НТИ) и цифровизация ключевых областей ее сбора, обработки и хранения, а также формирование общего цифрового пространства НТИ становятся основными целями развития ГСНТИ на 2021–2025 гг.

The article examines the conditions created in the Republic of Belarus during the construction of the digital economy and the development of the information society. These conditions are recognized as the basis for new topical transformations of the State System of Scientific and Technical Information of the Republic of Belarus (SSSTI) as a key generator of knowledge of the National Innovation System. Scientific and technical information (STI) and the digital transformation of key areas of its collection, processing, and storage are becoming the main development goals of the SSSTI for 2021–2025.

Ключевые слова: цифровое развитие, цифровизация, информационно-коммуникационные технологии, НТИ, ГСНТИ, экономика знаний, цифровая инфраструктура, НИС, цифровой контент, цифровая платформа, интеллектуальные технологии, телекоммуникационная инфраструктура.

Keywords: digital development, digitalization, information and communication technologies, STI, SSSTI, knowledge economy, digital infrastructure, NIS, digital content, digital platform, intelligent technologies, telecommunications infrastructure.

Цифровое развитие Республики Беларусь.

Общепризнанными условиями создания благоприятной среды эффективного развития экономики в современных реалиях стали процессы цифровых преобразований, породившие новую волну инноваций. Цифровое развитие сегодня — это трудоемкий поступательный процесс реинжиниринга бизнес-процессов и перевода их в цифровое пространство — автоматизации подавляющего большинства систем управления и цифровизации физических массивов информации.

За последние 30 лет цифровая трансформация прошла несколько ступеней развития: становление (развитие новых рынков электронных услуг, электронного бизнеса и электронной коммерции в 1990–2005 гг.); зрелость, определяемую как встраивание онлайн-каналов и проникновение цифровых технологий в традиционные сектора экономики (2005–2010 гг.); цифровую лихорадку, в настоящие дни — кардинальное перестраивание бизнес-процессов и трансформацию бизнес-моделей [1, 2].

Цифровое развитие Беларуси базировалось на ряде концептуальных стратегических документов, закрепляющих цели, задачи и механизмы цифровых преобразований. В соответствии с данными документами цифровое развитие республики можно разделить на несколько этапов (рис. 1).

Первые стадии цифровых преобразований, начавшиеся со времен обретения Республикой Беларусь своего суверенитета, были направлены на преодоление кризиса трансформации государства, а также формирование национального информационного пространства. С 2000 г. было положено начало процессам автоматизации и цифровизации различных областей деятельности государства. Национальная программа ускоренного развития услуг в сфере информационно-коммуникационных технологий на 2011–2015 гг. позволила сформировать заделы для цифровой трансформации большинства отраслей экономики, а Программа развития цифровой экономики и информационного общества на 2016–2020 гг. позволила закрепить достижения предыдущих лет и более обоснованно подойти к цифровизации с позиции системного подхода [2].

Сейчас мы можем наблюдать результаты работы, проделанной за последние 5 лет в рамках различных государственных и отраслевых программ. Ключевым преимуществом страны стала развитая за эти годы информационно-коммуникационная инфраструктура и автоматизация всевозможных процессов, как государственных, так и частных, что поставило нашу страну в группу государств с очень высоким уровнем развития электронного правительства (рис. 2).

Отличительной чертой Республики Беларусь практически во всех рейтингах, включающих в себя технологические аспекты развития государства, стала развитая информационно-коммуникационная инфраструктура. Становится очевидным, что это ключевое преимущество страны и достаточно мощная база для дальнейших цифровых преобразований. Помимо развитой инфраструктуры, отмечен и достойный уровень правовых основ информационного общества (см. рис. 1).

Несмотря на достигнутые результаты, цифровое развитие страны, ввиду характерных особенностей становления и развития государства, имеет ряд проблем и препятствий перед своим окончательным становлением. К ним можно отнести:

- архаичную документоцентричную систему управления и широкое использование бумажных носителей информации, многозвенную вертикаль, цифровизацию устаревших процессов;
- отсутствие в ряде случаев взаимодействия информационных систем ведомств, отсутствие общих принципов построения систем и их интеграции;

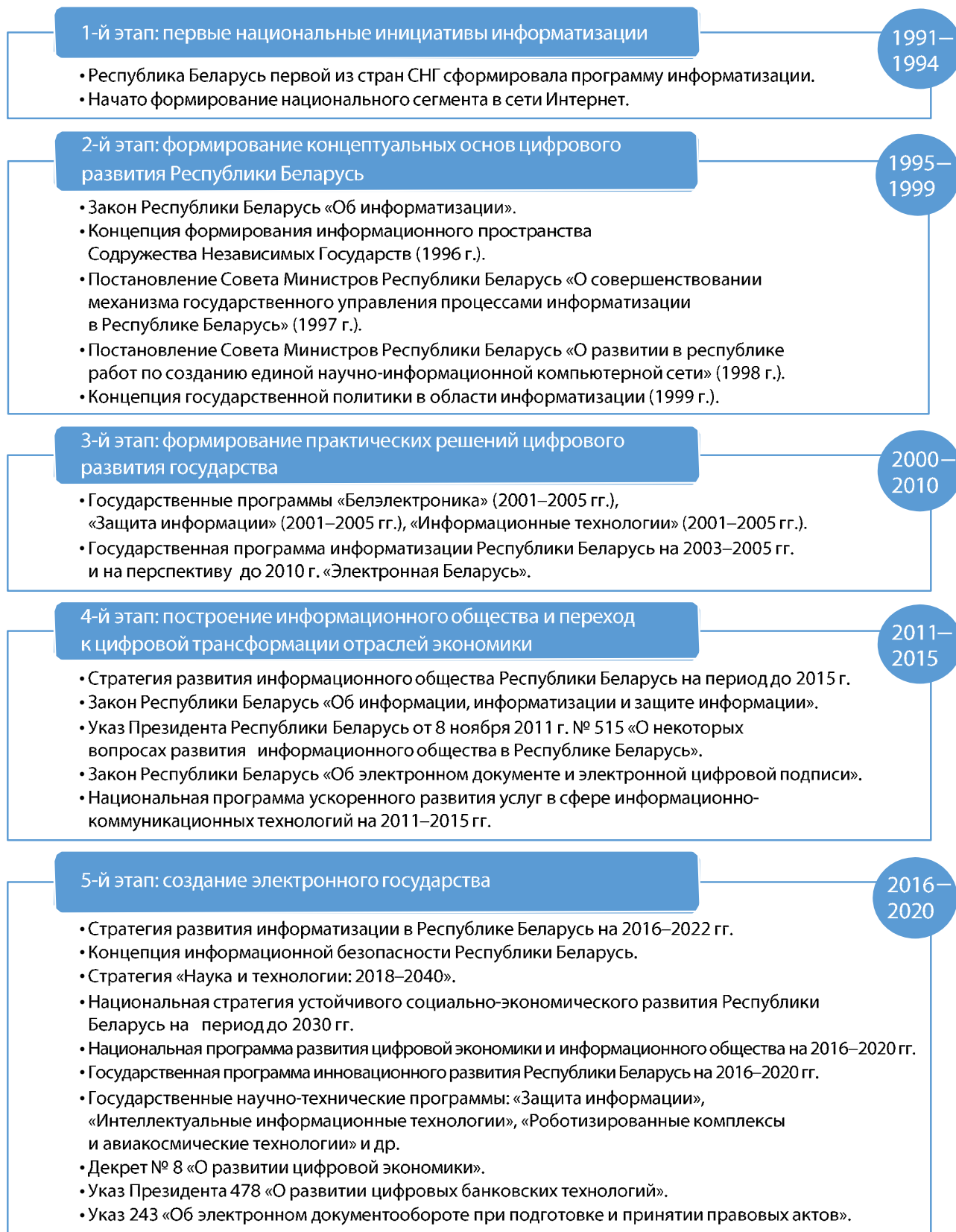


Рис. 1. Этапы развития информационного общества в Республике Беларусь



Рис. 2. Республика Беларусь в международных рейтингах

- сохранение устаревающих технологий построения информационных систем;
- наличие разных принципов управления данными, отсутствие единых стандартов данных, низкая популярность принципов Open data и Open access;
- волнообразный и точечный характер цифровых преобразований: наблюдается разная степень цифровой трансформации отраслей, ведомств и отдельных организаций;
- низкий вклад области научных исследований и разработок в развитие национальной экономики, недостаточное финансирование работ, низкая наукоемкость ВВП, а также проблемы реализации инновационного потенциала.

Таким образом, дальнейшее цифровое развитие государства имеет мощную телекоммуникационную базу, необходимую для внедрения в государственные процессы новых технологий, однако имеет и ряд сдерживающих факторов, обусловленных культурой работы с данными и иными социально-экономическими особенностями, сложившимися в стране.

ГСНТИ в общем векторе цифрового развития.

В ходе построения цифровой экономики в государстве особое внимание уделялось трансформации научной отрасли. Так, еще в 2006 г. была разработана Концепция Перечня работ по развитию Государственной системы научно-технической информации в Республике Беларусь (ГСНТИ) в которой были определены цели и задачи ГСНТИ, направления научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по ее развитию.

Ключевыми задачами развития ГСНТИ стали:

- создание высокоскоростной информационно-коммуникационной инфраструктуры государственной системы научно-технической информации;
- создание автоматизированных систем научно-технической информации;
- формирование информационных ресурсов государственной системы научно-технической информации и их интеграция в мировое научно-информационное пространство.

За прошедшие 14 лет проведены 138 НИОКТР по выше представленным направлениям. Помимо непосредственно исследований и разработок, затрагивающих большую часть вопросов цифрового развития науки, проводились достаточно серьезные работы по сопровождению и совершенствованию инфраструктуры библиотек НТИ. А связующим звеном всех цифровых преобразований ГСНТИ стали научно-информационные и научно-образовательные компьютерные сети, сопровождение и развитие которых ежегодно осуществляют государственные организации (см. таблицу).

Ключевые сферы цифровизации ГСНТИ в 2016–2020 гг.

| | |
|---------------------------|--|
| <p>НИКС</p> | <p>Создана развитая информационно-коммуникационная инфраструктура НТИ: Единая научно-информационная компьютерная сеть Республики Беларусь (НИКС), а также на постоянной основе содержатся и модернизируются: научно-информационные сети Минобразования, Минздрава, Минэкономики и сеть BASNET НАН Беларуси, которая обеспечивает автономный доступ к мировым компьютерным сетям через общеевропейскую научную сеть GEANT. Сейчас к сетям ГСНТИ (НАН Беларуси, Минэкономики, ВАК, ГКНТ и Минздрав, Минобразования) подключено 203 организации, а на просторах сети находятся 72 информационных ресурсов и систем</p> |
| <p>Библиотеки НТИ</p> | <p>Сформирована цифровая инфраструктура научно-технических библиотек Беларуси: созданы электронные каталоги, электронные библиотеки, электронные доставки документов и книг, на постоянной основе создаются базы данных (БД) собственной генерации. Наиболее крупными библиотеками ГСНТИ стали: РНТБ (160 БД, более 180 тыс. пользователей в год), ЦНБ НАН Беларуси (ЭК насчитывает более 1,6 млн записей, 1,8 млн записей в БД, а также доступ к мировым БД), БелСХБ НАН Беларуси (доступ к более 40 БД, более 10 тыс. записей в ЭК). Функционирует национальный электронный каталог научно-технических библиотек (свыше 8 млн записей)</p> |
| <p>НИОК(Т)Р</p> | <p>С 2006 г. создано 75 автоматизированных информационных систем и БД, проведены 32 НИОК(Т)Р по развитию информационно-коммуникационной инфраструктуры, а также создано 32 информационных ресурса. Автоматизировано большинство процессов хранения и обработки НТИ, созданы системы автоматизированного мониторинга научно-технической и инновационной деятельности. Разработаны новые технологии обработки, хранения и передачи данных, современные технологии поиска и новые решения в области безопасности данных, управления данными и технологии оценки</p> |

Сегодня ГСНТИ представляет собой информационно-коммуникационную основу Национальной инновационной системы (НИС). Проведенные работы стали основой прохождения Республики Беларусь первого этапа цифровой трансформации — перевода ряда существующих процессов в цифровой мир — автоматизации процессов сбора, обработки и хранения НТИ, а также созданию цифровой инфраструктуры передачи данных.

В ходе данных работ была создана инфраструктура информационно-коммуникационных научно-образовательных компьютерных сетей (сред) с высокими разрешающими возможностями всеобщего широкополосного доступа к сети Интернет и мировым сетевым ресурсам, созданы условия для внедрения электронных услуг в библиотеках ГСНТИ, а также использования различных информационных систем и баз данных, позволяющих работать с НТИ

в режиме онлайн. Помимо этого, в государственных и научных структурах разработан и введен в эксплуатацию ряд автоматизированных информационных систем и баз данных, которые позволяют автоматически обрабатывать большие массивы информации, совершенствовать сферу мониторинга и анализа научной и научно-технической деятельности.

Однако прохождение данного этапа обусловило появление одного из кризисных моментов цифрового развития: проведенные работы по автоматизации укоренили ряд проблем, имеющих место в реальном мире, и создали дополнительные вопросы к процедурам работы с данными. Разрозненность информационных систем и цифровых данных создали ситуацию перегрузки информацией, вынужденной многозадачности лиц, работающих с НТИ, и необходимости частых переключений.

Основными характеристиками существующей ГСНТИ стали:

- накопление больших объемов данных;
- накопление информационных систем и ресурсов, дублирующих функции и данные;
- оцифровка бумажных документов;
- миграция государственных информационных систем и ресурсов в облачные хранилища;
- отсутствие бизнес-моделей, обеспечивающих эффективное использование накопленных массивов цифровой НТИ;
- электронные копии документов в сети Интернет, появление электронных документов, изданий и журналов;
- увеличение количества пользователей компьютерных сетей;
- усугубление самоизоляции белорусского научного сообщества от мирового потока научных публикаций и т. д.

Несмотря на то что развитие ГСНТИ осуществлялось в соответствии с ключевыми в республике стратегическими документами в сфере цифровизации и информатизации, отдельные стратегические документы по развитию ГСНТИ не предусматривались, что стало причиной наличия ряда проблемных аспектов в ее развитии.

Проделанные в сфере ГСНТИ работы (автоматизация и цифровизация) позволили накопить необходимый объем данных для дальнейшего переосмысления трендов развития информационных технологий. Удалось построить качественную инфраструктуру хранения и передачи данных, сформированную на высокоскоростных каналах и облачных вычислениях, а также создать средства защиты данных каналов связи.

Решением созданных проблем станет переход к новому этапу цифрового развития науки — пересмотру существующих механизмов работы с НТИ и формированию новых усовершенствованных бизнес-моделей функционирования ГСНТИ в цифровом пространстве.

Развитие ГСНТИ в 2021–2025 гг. — построение цифровой инфраструктуры знаний.

Таким образом, к концу 2020 г. в контексте синергии ГСНТИ и цифровой экономики Республики Беларусь мы наблюдаем две взаимосвязанные тенденции. Первая из них — качественная информационно-коммуникационная инфраструктура, созданная за эти годы в стране, которая обеспечивает эффективную базу для внедрения инноваций и цифровых преобразований практически всех отраслей экономики. Вторая — массивы цифровых научно-технических данных, накопленных ГСНТИ. Данные условия создают сегодня благоприятный климат для объединения нескольких ключевых моделей постиндустриального общества: цифровой экономики, экономики знаний и информационной экономики, а следовательно, для рассмотрения информации и знаний как приоритетного ресурса развития государства.

Сегодня ГСНТИ — это сфера, которая наиболее глубоко подвержена цифровым изменениям и в то же время сфера, которая наиболее ярко отражает достижения в области науки и

инноваций. Современные условия формирования информационного общества и становления ГСНТИ в роли базы актуальной и полной информации требуют постановки в качестве цели развития ГСНТИ на 2021–2025 гг. — обеспечение оперативного информационного взаимодействия и доступа субъектов НИС к необходимой НТИ путем формирования единого цифрового пространства научной отрасли [3, 4]. Ведь именно так, в плотной взаимосвязи НИС и ГСНТИ в новом цифровом формате, становится возможным построение качественно новой модели генерации, распространения и использования знаний, их воплощения в новых продуктах, технологиях, услугах во всех сферах жизни общества.

В целях обеспечения согласованности дальнейшего развития ГСНТИ на 2021–2025 гг. был принят программно-целевой подход, позволяющий закрепить основные цели и задачи развития системы НТИ в стране в рамках Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь и Плана мероприятий по развитию НИС.

Целью развития ГСНТИ на 2021–2025 гг. в данных документах стало обеспечение оперативного информационного взаимодействия и доступа субъектов НИС к необходимой НТИ путем формирования единого цифрового пространства научной отрасли.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- формирование системы национального цифрового научно-технического контента и его продвижение в мировое информационное пространство;
- расширение возможностей оперативного доступа к цифровым зарубежным ресурсам НТИ;
- разработка и широкомасштабное внедрение современных технологий обработки, хранения, поиска и передачи НТИ;
- модернизация и развитие цифровой инфраструктуры научно-технических библиотек, информационных центров и фондов;
- формирование системы информационно-аналитической поддержки принятия решений в научно-технической сфере, государственном управлении и экономике.

Механизмами решения задач являются:

1. Для формирования системы национального цифрового научно-технического контента и его продвижения в мировое информационное пространство необходимо обеспечить:

1.1. создание системы нормативного правового обеспечения электронных научных и научно-технических изданий, включая актуализацию действующих нормативных правовых актов и разработку рекомендаций по изданию электронных материалов НТИ;

1.2. формирование финансовых, научно-методических и организационных условий для стимулирования деятельности по созданию электронных научно-технических материалов, их распространению в соответствии с мировыми практиками «открытого доступа», «открытой науки», международными стандартами идентификации и описания электронных ресурсов;

1.3. создание республиканского портала НТИ, объединяющего национальные информационные ресурсы по научной и научно-технической деятельности;

1.4. создание национальной информационной платформы электронного издательства научных и научно-технических материалов;

1.5. создание и распространение образовательного контента по вопросам работы с НТИ (работа с библиографическими и реферативными БД, создание электронных публикаций, реферирование, использование механизмов описания и идентификации информационных ресурсов).

2. Для расширения возможностей оперативного доступа к цифровым зарубежным ресурсам НТИ необходимо:

2.1. создать единый республиканский центр (ЕРЦ), обеспечивающий доступ субъектов Национальной инновационной системы к мировым информационным ресурсам НТИ, вклю-

чая полнотекстовые и фактографические базы данных, базы данных индексов научного цитирования;

2.2. создать систему авторизованного доступа и оперативного информирования пользователей ЕРЦ, обеспечивающую описание, каталогизацию и реферирование доступных и наиболее значимых мировых информационных ресурсов.

3. Для разработки и широкомасштабного внедрения современных технологий обработки, хранения, поиска и передачи НТИ необходимо обеспечить:

3.1. разработку и внедрение в систему НТИ технологий обработки больших массивов данных, искусственного интеллекта, виртуальной и дополненной реальности и других современных технологий работы с информацией;

3.2. создание новых, развитие и сопровождение существующих информационных систем, баз данных и иных ресурсов НТИ, совершенствование механизмов доступа к ним, учитывающих их дальнейшую интеграцию с Единой системой идентификации юридических и физических лиц, изменение объемов и типов НТИ, мобильность пользователей и т. п.;

3.3. развитие телекоммуникационной инфраструктуры научно-информационных и научно-образовательных сетей, обеспечивающей функционирование современных сервисов (видеоконференцсвязь, доставка мультимедийного контента высокого разрешения, виртуализация рабочего пространства пользователей и т. п.), информационную безопасность и отказоустойчивость.

4. Для модернизации и развития цифровой инфраструктуры научно-технических библиотек, информационных центров и фондов необходимо обеспечить:

4.1. разработку и внедрение новых методов и технологий ведения и интеграции электронных информационных ресурсов, электронных библиотек и архивов, включая агрегирование информации из разных источников, управление информационными потоками, обеспечение работы с данными цифровых форматов, меняющимися в реальном времени;

4.2. создание условий для развития и объединения открытых репозиторий НТИ и электронных библиотек, оснащения их современным поисковым аппаратом и единой системой метаданных;

4.3. модернизацию цифровой инфраструктуры научно-технических библиотек и центров НТИ.

5. Для формирования системы информационно-аналитической поддержки принятия решений в научно-технической сфере, государственном управлении и экономике, необходимо обеспечить:

5.1. разработку и внедрение технологий автоматизированного сбора, агрегирования и анализа информации из распределенных источников, включая открытые информационные ресурсы сети Интернет;

5.2. формирование спектра информационно-аналитических услуг по поддержке принятия решений в целях инновационного развития отдельных отраслей экономики;

5.3. применение результатов основополагающих работ в сфере ГСНТИ при принятии управленческих решений в государственной деятельности.

Все вышеперечисленные действия будут направлены на создание цифровой инфраструктуры научно-технических данных и станут основой развития в стране информационной среды инноваций, качественной информационной поддержки государственной деятельности, основой развития науки и ее популяризации в стране, а также распространения данных о национальных научно-технических достижениях в мировом пространстве.

Литература:

1. Медведева, Н. С. Этапы развития цифровой экономики / Н. С. Медведева, В. А. Тарасевич, А. А. Тригуб // Экономический рост Республики Беларусь: глобализация, инновационность, устойчивость: материалы XIII Международной научно-практической конференции. — Минск: БГЭУ, 2020. — С. 411–412.
2. Григянец, Р. Б. Становление и развитие цифровой трансформации и информационного общества (ИТ-страны) в Республике Беларусь: монография. — Минск: Беларуская навука, 2019. — 227 с.
3. Косовский, А. А. Стратегия развития Государственной системы научно-технической информации Республики Беларусь на 2021–2025 гг. / А. А. Косовский // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2020): доклады XIX Международной конференции. — Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2020. — С. 7–13.
4. Юневич, Н. Г. Цифровая инфраструктура научно-технической информации Республики Беларусь / Н. Г. Юневич, Н. А. Бондарева // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2020): доклады XIX Международной конференции. — Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2020. — С. 179–181.

УДК 339.5; 339.548

**ПРОТИВОРЕЧИЯ ТОРГОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СТРАТЕГИЙ
КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
И СОЕДИНЕННЫХ ШТАТОВ АМЕРИКИ**

**CONTRADICTIONS BETWEEN THE TRADE AND ECONOMIC STRATEGIES
OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA
AND THE UNITED STATES OF AMERICA**

Ши Чжичао,

соискатель, Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

Shi Zhichao,

Applicant, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

Дата поступления в редакцию — 19.03.2021 г.

В статье описываются институциональные основы экономической стратегии администрации Д. Трампа и нарастание противоречий с торгово-экономической стратегией руководства КНР. На основе представленных аналитических данных по изменению внешнеторгового баланса США за 2000–2019 гг. обосновывается влияние КНР на рост дефицита внешней торговли США. В хронологическом порядке описываются меры администрации Д. Трампа по сокращению торгового дефицита и снижению влияния Китая на экономику США. Определены ключевые цели и способы ведения торговой войны США и КНР, а также проблемы, которые возникают во время растущей обеспокоенности США в отношении рисков национальной безопасности, которые представляет Китай. На основе анализа действий правительств исследуемых стран строятся выводы относительно изменения конъюнктуры мировой торговли и распределения сфер политического и экономического влияния.

The article describes the institutional foundations of the economic strategy of the D. Trump administration and the growing contradictions with the trade and economic strategies of the PRC leadership. Based on the presented analytical data on changes in the US foreign trade balance for 2000–2019, the influence of the PRC on the growth of the US foreign trade deficit is substantiated. In chronological order, the Trump administration's measures to reduce the trade deficit and reduce the influence of China on the US economy are described. It identifies the key goals and methods of the US-China trade war, as well as the problems that arise during the growing US concern about the national security risks posed by China. Based on the analysis of the actions of the governments of the studied countries, conclusions are drawn regarding changes in the world trade situation and the distribution of spheres of political and economic influence.

Ключевые слова: торговая война, дефицит внешнеторгового баланса, таможенный тариф, протекционизм.

Keywords: trade war, foreign trade deficit, customs tariff, protectionism.

Республиканец Дональд Трамп стал 45-м президентом США, победив в ноябре 2016 г. кандидата от демократической партии Хиллари Клинтон. Его первый срок — с 2017 г. по январь 2021 г. Экономический план Д. Трампа фокусировался на том, чтобы сделать Америку Великой. Д. Трамп заключил «самую большую сделку в своей жизни» с теми избирателями, которые считали, что потеряли американскую мечту [10].

Торговая политика Д. Трампа в основу ставит меркантилизм. Он использует протекционизм для защиты американской промышленности от иностранной конкуренции. Его цель — сократить дефицит внешней торговли США, который в 2018 г. достигнул своего максимума за последние 10 лет (рис. 1, а). Более 55 % этого дефицита приходится на Китай (рис. 1, б).

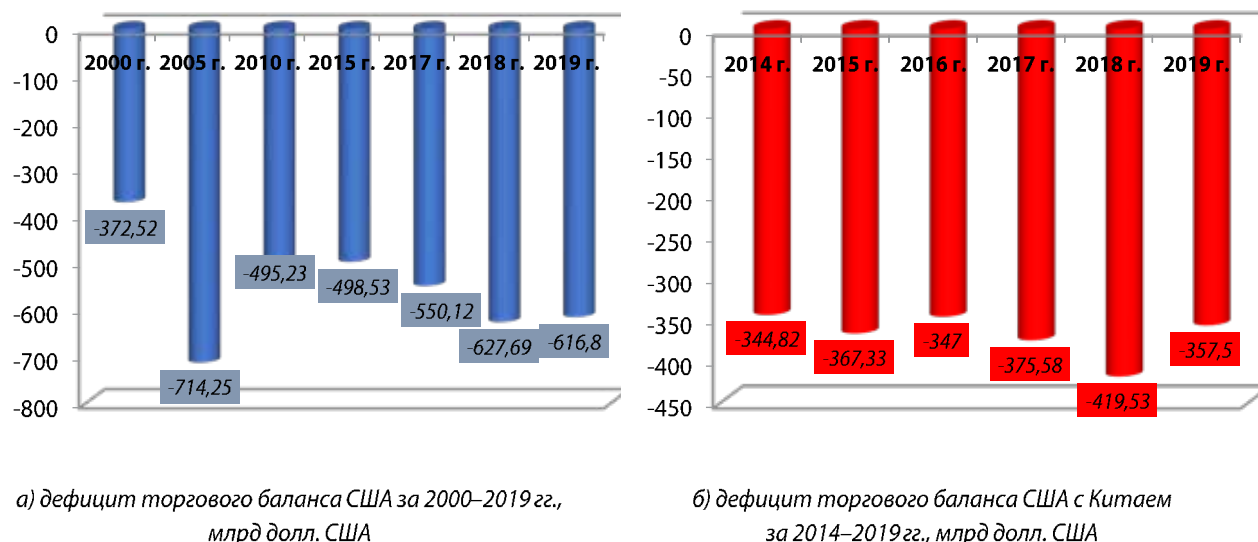


Рис. 1. Динамика торгового баланса США за 2000–2019 гг.

Источник: разработка автора на основе [14].

В отчете Института экономической политики за 2018 г. отмечается, что растущий торговый дефицит США с Китаем снизил спрос на национальные товары и привел к перемещению рабочих мест во всех 50 штатах. В частности, более 3,7 млн рабочих мест в США были перемещены из-за растущего торгового дефицита с Китаем в 2001–2018 гг., что составило 2,46 % от общей занятости в США [8].

Связывая потери рабочих мест с дефицитом внешней торговли, эксперты выделяют проблему роста американского импорта из Китая, который вырос почти до 440 млрд долл. США в 2001–2018 гг., увеличив торговый дефицит США с Китаем с 83 млрд долл. США в 2001 г. до почти 420 млрд долл. США в 2018 г. По оценкам специалистов Института экономической политики, миллионы рабочих мест были частично потеряны из-за того, что «импорт вытесняет товары, которые в противном случае производились бы в Соединенных Штатах» [8]. Это имеет рациональное подтверждение, выраженное в статистических данных. Однако, если рассматривать динамику уровня безработицы США за время введения тарифов Д. Трампа (2017–2019 гг.; рис. 2), то можем отметить умеренное снижение уровня безработицы в этот период.

Это объясняется тем, что в исследовании [8] все же не учтены все факторы, повлиявшие на рост безработицы в США. В частности, процессы модернизации и диверсификации промышленного производства, информатизации и внедрения новых технологий, роста конкуренции и другие факторы также способствовали высвобождению рабочей силы и снижению ее стоимости.

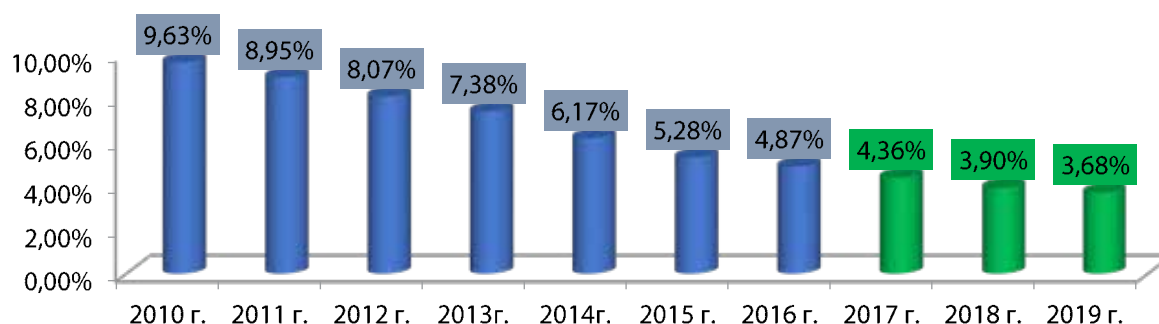


Рис. 2. Динамика уровня безработицы США за 2000–2019 гг., %

Источник: разработка автора на основе [14].

Таким образом, стоимость рабочей силы не является главным фактором при выборе альтернативной стратегии — организации производства в офшоре или на аутсорсинге. Следует учитывать стоимость внутрирегиональных поставок, падение спроса и необходимость защиты собственных рынков и создания рабочих мест внутри страны. Все это стало основой Трамповской экономической политики, направленной в первую очередь на снижение дефицита торгового баланса посредством ведения торговых войн.

2 сентября 2017 г. Д. Трамп поручил своим помощникам выйти из торгового соглашения с Южной Кореей. 23 января 2017 г. Д. Трамп подписал распоряжение о выходе из дальнейших переговоров по Транстихоокеанскому партнерству. Он пообещал заменить его серией двусторонних соглашений. 16 августа 2017 г. администрация Д. Трампа начала пересматривать условия объединения НАФТА с Канадой и Мексикой. Североамериканское соглашение о свободной торговле является крупнейшим в мире торговым соглашением. Американский президент пригрозил выйти из НАФТА и ударить по Мексиканскому импорту 35%-м тарифом [2].

В начале 2018 г. Трамп заявил: «Торговые войны хороши и легко выигрываются». Он инициировал три направления: глобальный тариф на сталь, тариф на европейские автомобили и тарифы на китайский импорт. После заявления Трампа мировые фондовые рынки рухнули в страхе перед торговой войной между тремя крупнейшими экономиками мира [3]. Это не остановило Д. Трампа, и 8 марта 2018 г. он вводит 25%-й тариф на сталь и 10%-й — на импорт алюминия. США являются крупнейшим в мире импортером стали благодаря таким потребителям, как автопроизводители. Однако введенные тарифы снизили прибыль «большой тройки» автопроизводителей. Чтобы удовлетворить акционеров, они перекладывали эти расходы на потребителей. Издержки от тарифов уже перевесили любые выгоды налогового плана Д. Трампа.

3 апреля 2018 г. Д. Трамп объявил о введении 25%-х тарифов на 50 млрд долл. США на импортную электронику, товары аэрокосмической промышленности и технику из Китая. Цель проекта: вынудить Китай отказаться от требований от американских компаний передавать свои собственные технологии китайским корпорациям, чтобы получить доступ к их рынку. Китай требует, чтобы иностранные компании, которые хотят продавать свою продукцию в Китае, делились своими коммерческими секретами. Впоследствии он ввел 25%-е пошлины на 50 млрд долл. США американского экспорта в Китай.

6 апреля 2018 г. Трамп объявил тарифы еще на 100 млрд долл. США китайского импорта и потребовал, чтобы Китай прекратил субсидирование 10 приоритетных отраслей промышленности, заявленных в его плане «Сделано в Китае 2025» [4]. К ним относятся: робототехника, аэрокосмическая промышленность и программное обеспечение. Китай также

планирует стать основным мировым центром искусственного интеллекта к 2030 г. Поэтому требования США противоречат национальным интересам Китая.

Стоит отметить, что по некоторым направлениям Китай пошел на уступки. Так, 15 мая 2018 г. он согласился снять пошлины на импорт американской свинины и разрешить компании Qualcomm приобрести NXP. В обмен на это Соединенные Штаты обязались снять пошлины с китайской телекоммуникационной компании ZTE.

В конце 2018 г. несколько американских компаний сформировали «тарифы внутри страны», поскольку они стали нести существенные потери от роста цен на импортные материалы [3]. По оценкам Федеральной резервной системы США, тарифы Д. Трампа обходятся среднему американскому домохозяйству в 1245 долл. США в год. Это включает в себя рост цен и снижение темпов экономического роста [9]. В августе 2019 г. инвестиционный банк Goldman Sachs предупредил, что торговая война может спровоцировать рецессию мировой экономики. По оценкам экспертов она уже снизила валовой внутренний продукт (ВВП) на 0,6 % [11].

Несмотря на противоречивые результаты объявленных торговых войн, 20 мая 2019 г. Д. Трамп ввел четвертый тариф — 25 % на товары общей стоимостью 200 млрд долл. США. По оценкам ФРС, это обойдется среднему домохозяйству в 831 долл. США в год [2].

В ответ 1 июня 2019 г. Китай ввел 25%-й тариф на американские товары стоимостью 60 млрд долл. США. Некоторые инвесторы начали высказывать обеспокоенность в том, что Китай может продать часть своего долга в размере 1,1 трлн долл. США. Это привело бы к повышению процентных ставок и замедлению роста экономики США. Ситуация обострилась еще больше, когда Д. Трамп пригрозил расширить четвертый тариф до дополнительных 325 млрд долл. США китайского импорта. Это повысило бы цены практически на весь китайский импорт. Однако это решение было отложено, чтобы стимулировать возобновление торговых переговоров с Китаем [12]. Переговоры велись медленно и практически безрезультативно. И уже 13 августа 2019 г. Д. Трамп вводит 10%-й тариф на китайскую электронику и одежду. Тариф был введен с 15 декабря, чтобы ограничить ущерб в сезон праздничных покупок, однако он начал действовать с 1 сентября 2019 г. по другим статьям импорта.

Все введенные меры увеличили долю налогов на международную торговлю от общей выручки в США в 2019 г. до рекордных 2,15 % (рис. 3).

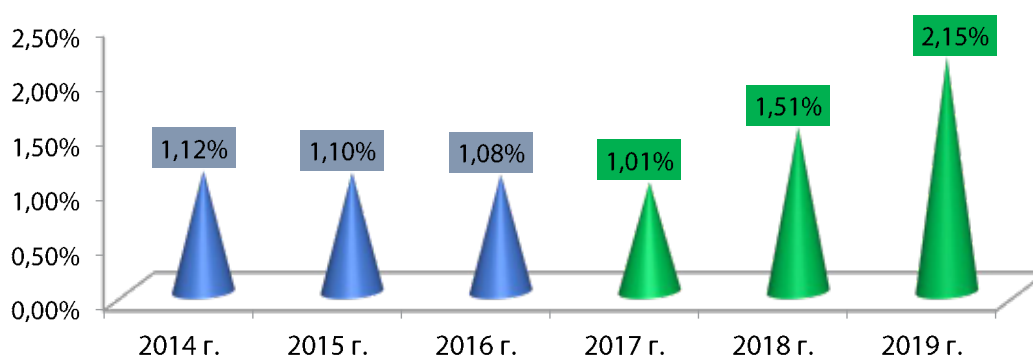


Рис. 3. Динамика доли налогов на международную торговлю от общей выручки в США за 2014–2019 гг., %

Источник: разработка автора на основе [14].

В ответ на действия США другие страны стали заключать торговые соглашения, исключая участие Соединенных Штатов. Так, в апреле 2018 г. ЕС обновил свое соглашение с Мексикой, сняв почти все тарифы. В июле 2018 г. ЕС подписал торговое соглашение с Японией,

которое снижает или прекращает действие тарифов почти на все товары. Это самое крупное из существующих двусторонних торговых соглашений, охватывающее товары на сумму 152 млрд долл. США.

Восемь стран подали жалобы на действия США во Всемирную торговую организацию (ВТО). Шесть из них — Канада, Индия и Мексика, Европейский союз, Норвегия и Швейцария — указали, что они являются союзниками. Два других заявителя — это Китай и Россия [13].

Опасения США, которые лежат в основе этой двусторонней торговой напряженности, проистекают из конкретных практик, свойственных экономической модели Китая, которые систематически отклоняют конкурентное поле в пользу китайских компаний внутри страны и по всему миру. Прогресс по конкретным вопросам торговли потребует от Китая выполнения своих обязательств перед ВТО и проведения определенных реформ, которые, вероятно, коснутся областей государственного контроля над экономикой [13]. Кроме того, новые торговые правила необходимы для учета экономической практики Китая, не охватываемой его обязательствами в рамках ВТО, в том числе в таких областях, как государственные предприятия и субсидии.

В данном ключе ВТО должна занимать центральное место в урегулировании торговой напряженности между США и Китаем. С этой точки зрения можем в общих чертах описать многоплановую стратегию, включая двусторонние, многосторонние и односторонние действия, а также работу с союзниками, которые вместе станут позитивными последующими шагами для этих критических экономических отношений. Принимая этот многогранный подход, США также должны оставаться верными своим ценностям и не принимать краткосрочные решения. В частности, создание управляемых торговых отношений с Китаем не будет конструктивным результатом. Заключенная сделка должна решить реальные проблемы на свободном рынке и укрепить многостороннюю глобальную торговую систему и верховенство закона.

Все эти вопросы подчеркивают сложность двусторонних переговоров между США и Китаем, а также позволяют сделать ставку на успешное разрешение конфликта. Разумное урегулирование разногласий между США и Китаем займет определенное время. Учитывая то, что тарифы, введенные сегодня США и Китаем, не соответствуют принципам ВТО, поэтому любая сделка между этими странами должна быть нацелена на то, чтобы вернуть тарифы к их уровням, когда будут достигнуты конкретные контрольные показатели, но с возможностью для отката тарифов в случае несоблюдения договоренностей.

Такой подход является прагматическим компромиссом, который признает, что США и Китай, вероятно, сосредоточатся на двусторонних переговорах для решения своих торговых вопросов, одновременно сводя к минимуму ущерб, наносимый ВТО как институту.

Проведенное исследование позволяет установить ключевое противоречие экономических политик США и Китая. В частности, экономическая модель Китая имеет ряд долгосрочных последствий для США и во всем мире. Во-первых, движение к самодостаточности в новых технологиях несовместимо с торговой системой, основанной на сравнительных преимуществах. Во-вторых, использование государственных предприятий, их доступ к субсидиям и ограниченное верховенство закона в Китае поддерживают государственные компании в Китае и во всем мире. В-третьих, ожидается, что использование Китаем промышленной политики для выбора ключевых производителей приведет к избыточному производству и демпингу за рубежом. Это уже произошло, например, в стальных и солнечных фотоэлектрических отраслях промышленности США [6], и ожидается, что это произойдет в более передовых отраслях, определенных в недавней промышленной политике Китая, таких как робототехника, высокоскоростное железнодорожное производство, новые энергетические транспортные средства и аккумуляторы [7, с. 326].

Несмотря на быстрый рост своей экономики и принятие роли для конкуренции и рынков, Коммунистическая партия Китая (КПК) по-прежнему твердо контролирует экономику Китая. Китай не первая страна с экономической моделью, основанной на государственном контроле и координации между правительством и бизнесом в экономических и торговых приоритетах. Элементы всех этих систем присутствовали и продолжают присутствовать в таких странах, как Япония или Южная Корея. И все же экономическая модель Китая отличается от японской и южнокорейской. Кроме того, из-за огромных размеров экономика Китая повлияет на остальной мир так, как этого не сделала даже экономика Японии.

Согласно данным, опубликованным Всемирным банком, в 2019 г. на долю Китая приходилось 28,37 % мирового промышленного производства. Это выше показателя США на 11,72 %, которые до 2010 г. имели самый большой объем промышленного производства в мире. Экономика США в последнее время менее зависима от обрабатывающей промышленности. В 2019 г. на долю обрабатывающего сектора приходилось всего 11 % ВВП [14].

Стоит отметить, что США последовательно уступают Китаю свои лидирующие позиции. В 2019 г. на долю Соединенных Штатов приходилось 14,67 % мирового ВВП после корректировки на паритет покупательной способности (ППС), Китая — 20,1 %. К 2024 г. его доля по прогнозам Всемирного банка снизится до 13,86 %, Китая — 23,3 % [14].

Д. Трамп пообещал обеспечить рост экономики на 6 % [10], чтобы увеличить налоговые поступления, но многие экономисты в своих исследованиях указывали, что это будет слишком быстро для здорового экономического роста. Проблема заключается в том, что такой быстрый темп роста приведет к инфляции, циклу бума — спада, а затем к краху экономики. В данной связи налоговый план Д. Трампа реалистичнее рассматривать в более скромных темпах роста — 3 % [6, 7].

Рассмотрим с критической точки зрения давление Соединенных Штатов в торговых войнах, которое имеет абсолютно определенную цель. Наиболее вероятная причина, стоящая за программой администрации Д. Трампа по наказанию своего крупнейшего экономического партнера — Китая, довольно прямолинейна: сорвать беспрецедентный рост конкурентоспособной глобальной сверхдержавы и дестабилизировать ее. Современный Китай с таким же охватом и весом, как и сами США, является очевидной угрозой для страны, поскольку он пытается распространить свою экономическую идеологию, которая помогла КНР сохранить свое мировое влияние.

В предыдущие десятилетия Китай проводил крайнюю политику, направленную на усиление темпов экономического роста и передачу контроля над своими позициями в руки китайского руководства. Примечательно, что контроль над собственной экономикой, торговлей и политикой оставил Китай в кажущемся незыблемым положении, где он постоянно совершенствовался. Однако этот решительный подъем мог продлиться лишь столь долго и дать лишь такое преимущество, прежде чем страна столкнется с риском перегрева или постоянного вытеснения торговых партнеров неконкурентоспособной политикой. Поэтому Китай в течение последних нескольких лет пытался отойти от роста, основанного на экспорте и сомнительном кредитовании, чтобы сосредоточиться на более надежных (и социально стабилизирующих) внутренних источниках роста. В ходе этого сдвига был объявлен целевой показатель роста ВВП в размере 6,5 % и продолжена борьба с коррупцией. Попутно риск неожиданного кризиса или рецессии, наступающих в особо уязвимой фазе, грозит вызвать страх у глобальных инвесторов и торговых партнеров о потере влияния Китая на международных рынках.

Учитывая, что цели администрации Д. Трампа состоят в том, чтобы сорвать устойчивый переход Китая как постоянного игрока высокого уровня на мировой арене, последние и необъяснимые меры американского правительства имеют гораздо больше смысла. Политика введения повышенных тарифов, как было описано выше, быстро перевела диалог Китая

и США в острую фазу, а сумма потерь для Китая на сегодня составляет 505 млрд долл. США. Смысл этой ускоренной серии налогов на импорт — чтобы у страны не было пространства для маневра и снижения оказываемого давления. Например, USDCNH за последние четыре месяца вырос почти на 10 %, что помогает значительно снизить торговое давление. При потерях в 200 млрд долл. США будет трудно использовать сочетание местных программ поддержки роста наряду с жизнеспособной схемой манипулирования обменными курсами для поддержания стабильности и достижения целей ведения торговой войны с Китаем.

Способы ведения торговых войн, разжигаемых Америкой, многочисленны и разнообразны. Война с Китаем принимает все новые формы. Это не первый случай, когда США разжигают международные экономические войны, особенно с промышленно развитыми странами. Соединенные Штаты ввели так называемые «протекционистские тарифные барьеры на импорт» в 25 % и так называемый «таможенный тариф» в 10 % на некоторые товары, например импорт технологий. Соединенные Штаты разожгли войну на фондовой бирже, начали повышать и опускать цену на нефть, спровоцировали экономические кризисы и впустили много казначейских облигаций, не соблюдая баланса. Кроме этого, США делали много других экономических действий и вводили средства контроля, которые стали причиной больших потерь для других государств [1, с. 43–44]. Например, они повлияли на количество проектов и предприятий, обусловили рост процентной ставки на кредиты, повлияли также на рост цен в этих странах из-за увеличения расходов на произведенный материал, таких как стоимость энергии и сырья. Негативные последствия коснулись международных торговых экспортных сделок из-за высокой цены доллара, будь то в США или государствах, которые используют доллар в качестве инструмента для внешних финансовых операций.

Америка держит почти все козырные карты в торговой войне с Китаем, и почти ни одна из предполагаемых точек давления Пекина не является реальной угрозой для США. Если Китай сохранит свою внутривнутриполитическую стабильность и высокие темпы экономического роста, то этот напряженный переходный период будет продолжаться еще по меньшей мере пару десятилетий. Торговая война между США и Китаем не заканчивается еще и потому, что Дональд Трамп и Си Цзиньпин не желали идти на компромиссы. Политические противоречия в американо-китайских отношениях, которые обострились в последнее время, неблагоприятно влияют на саму атмосферу торговых переговоров.

Торговая война между США и Китаем — это не только результат различий в сфере бизнеса, но и столкновения неолиберальной системы экономического развития, основанной на законах свободного рынка, со смешанной экономикой, где государство имеет существенное влияние на процессы; а также один из фронтов геополитической конкуренции двух ядерных держав за лидерство в Азиатско-Тихоокеанском регионе.

В торговой битве между Вашингтоном и Пекином американская и китайская экономики понесли ограниченные потери, видя частичную реализацию требований, выдвинутых администрацией Дональда Трампа. В 2018–2019 гг. двухсторонний товарооборот между Соединенными Штатами и Китаем сократился примерно на 100 млрд долл. США. Причем США смогли сократить свой торговый дефицит с КНР на 75 млрд долл. США. Кроме того, уровень безработицы снизился до нового пятилетнего минимума в 3,5 % благодаря усилиям, предпринятым властями США. Тем не менее с повышением тарифных барьеров был нанесен удар по сельскому хозяйству и автомобильной промышленности. Американские тарифы на китайский импорт негативно сказались на прогнозах экономического роста Китая, который, как ожидается, упадет до 6,8 % в 2021 г. с учетом экономических последствий вспышки коронавируса.

Негативные последствия политики Д. Трампа, экономической борьбы и соперничества в форме торговых войн между крупными государствами влечет вред всему человечеству,

а не только крупным государствам. Причиной тому служит глобальная экономическая взаимозависимость на финансовых рынках и доминирование доллара по отношению ко всем валютам. Наиболее пострадавшими странами, к сожалению, являются страны переходного периода из-за их неспособности предотвратить эти потрясения и кризисы.

Литература:

1. Виноградов, А. О. Американо-китайская экономическая конфронтация: идеология, хронология, значение / А. О. Виноградов, А. И. Салицкий, Н. К. Семенова // Вестник РУДН. Серия «Международные отношения». — 2019. — № 1. — С. 35–46.
2. Companies Scramble to Prepare for Trump's New Taxes on Chinese Goods [Electronic resource] // Politico. — Mode of access: https://www.politico.com/story/2019/05/07/trumps-taxes-chinese-goods-1415667?wpisrc=nl_finance202&wpmm=1. — Date of access: 28.07.2020.
3. From Seafood to Mattresses: How the Latest Tariffs Would Affect U.S. Businesses [Electronic resource] // The Wall Street Journal. — Mode of access: https://www.wsj.com/articles/from-seafood-to-mattresses-how-the-latest-tariffs-would-affect-u-s-businesses-1531424044?mod=article_inline. — Date of access: 27.07.2020.
4. How 'Made in China 2025' Frames Trump's Trade Threats [Electronic resource] // Bloomberg. — Mode of access: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-04-10/how-made-in-china-2025-frames-trump-s-trade-threats-quicktake>. — Date of access: 27.07.2020.
5. In Message to Trump, Europe and Mexico Announce Trade Pact [Electronic resource] // The New York Times. — Mode of access: <https://www.nytimes.com/2018/04/21/us/politics/mexico-european-union-trade-trump.html>. — Date of access: 27.07.2020.
6. Lawder, D. IMF's Lagarde says China needs to do more to cut steel capacity // Reuters. March 1, 2018. [Electronic resource]. — Mode of access: www.reuters.com/article/us-imf-lagarde-china-steel/imfs-lagarde-says-china-needs-to-do-more-to-cut-steel-capacity-idUSKCN1GD661. — Date of access: 27.07.2020.
7. Kenderdine, T. China's Industrial Policy, Strategic Emerging Industries and Space Law / T. Kenderdine // Asia & the Pacific Policy Studies. — 2017. — Vol. 4. — No. 2. — P. 325–342.
8. Recommendations for creating jobs and economic security in the U.S. Report [Electronic resource] / Josh Bivens // March 27, 2018. — Mode of access: <https://files.epi.org/pdf/142207.pdf>. — Date of access: 29.07.2020.
9. The Impact of the 2018 Trade War on U.S. Prices and Welfare [Electronic resource] // The National Bureau of Economic Research. — Mode of access: <https://www.nber.org/papers/w25672.pdf>. — Date of access: 27.07.2020.
10. Trump's economic strategy. The US/China/Europe relations. [Electronic resource]. — Mode of access: <https://medium.com/@tatiano/trumps-economic-strategy-the-us-china-europe-relations-ae13502f3bf0>. — Date of access: 29.07.2020.
11. Trump's Trade War Could Spark a Recession, Goldman Sachs Warns [Electronic resource] // NBCNews. — Mode of access: <https://www.nbcnews.com/business/economy/trump-s-trade-war-could-spark-recession-warns-goldman-sachs-n1041501>. — Date of access: 28.07.2020.
12. U.S. and China Agree to Restart Trade Negotiations Following Meeting Between Trump and Xi at Group of 20 Summit [Electronic resource] // The Washington Post. — Mode of access: https://www.washingtonpost.com/business/economy/trade-war-hangs-in-balance-as-trump-and-xi-finally-meet/2019/06/28/bb065eb2-9a02-11e9-830a-21b9b36b64ad_story.html?wpisrc=nl_finance202&wpmm=1. — Date of access: 26.07.2020.
13. United States Trade Representative. 2018 Report to Congress on China's WTO Compliance. February 2019. [Electronic resource]. — Mode of access: <https://ustr.gov/sites/default/files/2018-USTR-Report-to-Congress-on-China%27s-WTO-Compliance.pdf>. — Date of access: 27.07.2020.
14. World Bank Group. [Electronic resource]. — Mode of access: <http://www.worldbank.org>. Date of access: 26.07.2020.

УДК 621.396.96

ДЛИТЕЛЬНОЕ НАКОПЛЕНИЕ ОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА ПРИ ВЫСОКОМ РАЗРЕШЕНИИ ПО ДАЛЬНОСТИ И УГЛОВЫХ РЫСКАНИЯХ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ЦЕЛИ

LONG-TERM ACCUMULATION OF THE REFLECTED SIGNAL FOR HIGH-RANGE RESOLUTION RADARS TAKING INTO ACCOUNT ANGULAR YAW OF TARGET

С. В. Козлов,

профессор кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, доктор технических наук, доцент, г. Минск, Республика Беларусь

Ле Ван Кыонг,

аспирант кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск Республика Беларусь

В. В. Радионович,

аспирант кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск Республика Беларусь

S. Kozlov,

Professor of Information Radioengineering Department of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, D. Sci., Associate Professor, Minsk, Republic of Belarus

Le Van Cuong,

PG student of Information Radioengineering Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

V. Radionovic,

PG Student of Information Radioengineering Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Дата поступления в редакцию — 27.04.2021 г.

Приведены способы цифровой обработки при высоком разрешении по дальности и длительном накоплении (ДН) сигнала, отраженного от многоэлементной радиолокационной цели при ее угловых рысканиях. Они предусматривают компенсацию миграции дальности и частоты для всех возможных значений радиальных скорости и ускорения цели при внутрипериодной обработке (ВПО). При последующем адаптивном комбинированном накоплении (КомБН) принимаемый сигнал в каждом элементе разрешения по дальности разделяются на фрагменты, для которых выполняется когерентное накопление (КН) путем преобразования Фурье с последующим некогерентным накоплением (НН) путем отбора и суммирования квадратов спектральных отсчетов с наибольшей амплитудой. Предложен критерий разделения принимаемого сигнала на фрагменты. Приведены результаты математического моделирования.

Methods of digital processing with high range resolution *and long-term accumulation* of the signal reflected from a multi-element radar target during its angular yaw are presented. They provide compensation for the range and frequency migration for all possible values of the radial velocity and acceleration of the target during *intraprocess*. With subsequent adaptive *combined accumulation*, the received signal in each range resolution element is divided into fragments, for which *coherent accumulation* is performed by Fourier transform followed by *incoherent accumulation* by selection and summation of the squares of spectral samples with the largest amplitude. A criterion for dividing the received signal into fragments is proposed. The results of mathematical modeling are presented.

Ключевые слова: радиальное ускорение, миграция дальности и частоты, блестящие точки, центр масс цели, угловые рыскания, когерентное накопление, комбинированное накопление.

Keywords: radial acceleration, range and frequency migration, scatterers of the aircraft, target center of mass, angular yaw, coherent accumulation, combined accumulation.

Введение.

Одним из возможных методов повышения дальности обнаружения воздушных объектов при низком отношении сигнал/шум является увеличение времени накопления отраженного сигнала (ОС). Если изменение дальности до цели за время наблюдения больше разрешающей способности по дальности, имеет место миграция дальности (МД). Аналогично, если изменение доплеровского сдвига частоты ОС за время наблюдения превышает величину, обратную времени наблюдения, имеет место миграция частоты (МЧ). Варианты алгоритмов коррекции МД и МЧ в спектральной области и когерентного накопления ОС для точечной цели приведены в [1, 2]. Для многоэлементной, состоящей из множества пространственно-распределенных областей отражения — блестящих точек (БТ), цели использование этих алгоритмов осложняется ее угловыми рысканиями [3, 4]. При рысканиях различные блестящие точки (БТ) цели будут иметь разные и изменяющиеся в процессе наблюдения относительно общей средней величины значения радиальной скорости и ускорения. Кроме того, наложение сигналов, отраженных от различных БТ, находящихся в одном или соседних элементах разрешения, приводит к появлению флуктуаций ОС, время корреляции τ_c которых для типовых аэродинамических целей (самолетов), как правило, меньше или сравнимо с временем наблюдения T_H [5]. Это требует адекватного учета при обработке сигнала.

Цель статьи — модификация способов ДН ОС при наличии миграции дальности и частоты применительно к сложной многоэлементной радиолокационной цели.

Выявление закономерностей для случая гармонических угловых колебаний цели.

Пусть на интервале наблюдения строительная ось цели совершает гармонические колебания в горизонтальной плоскости с амплитудой по углу $\Delta\gamma$, периодом повторения T и начальной фазой φ . Закон поступательного движения центра масс цели $x(t), y(t), z(t)$. Координаты $n = 1, N$ видимых БТ цели определяются радиусами R_n и углами γ_n БТ, например в горизонтальной плоскости. Тогда закон изменения координат, дальности и производных дальности до БТ может быть записан в виде:

$$X_n(t) = x(t) + R_n \cos(\gamma_n(t) + \Delta\gamma \cos(\omega t + \varphi) + \gamma_n); Y_n(t) = y(t) + R_n \sin(\gamma_n(t) + \Delta\gamma \cos(\omega t + \varphi) + \gamma_n); Z_n(t) = z(t);$$

$$r_n(t) = \sqrt{X_n^2(t) + Y_n^2(t) + Z_n^2(t)}; V_n(t) = \frac{dr_n(t)}{dt}; a_n(t) = \frac{d^2r_n(t)}{dt^2},$$

где $\gamma_n(t) = \arccos \dot{y}(t) / \dot{x}(t)$ — курс цели;

$$\omega = 2\pi/T.$$

Иллюстрация возникающих при угловых рысканиях цели эффектов приведена на рис. 1, где показаны модель цели в виде совокупности из 19 идентичных БТ и радиальные скорости и ускорения трех БТ с наибольшим (треугольники на рис. 1) отклонением от центра масс. Иллюстрация выполнена для $x(0)=30$ км; $\dot{x}(0)=-0,30$ км/с; $y(0)=30$ км; $\dot{y}(0)=0$ км/с; $\dot{j}(0)=30$ м/с²; $z(0)=5$ км, $T=2$ с; $\Delta\gamma=2^\circ$.

Как видно из рис. 1, б, в, радиальные скорости ускорения отдельных БТ различны и изменяются на интервале наблюдения нелинейно, при этом радиальные ускорения БТ колеблются относительно радиального ускорения центра масс цели с амплитудой, определяемой расстоянием БТ до центра масс и периодом рысканий.

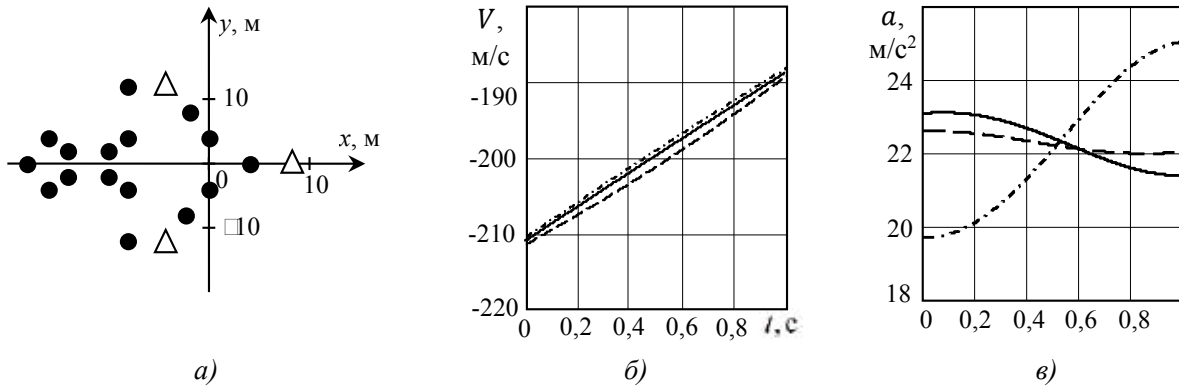


Рис. 1. Расположение БТ на цели (а) и зависимости радиальных скоростях (б) и ускорениях (в) БТ от времени наблюдения

Для реализации длительного когерентного накопления (КН) необходимо, чтобы за время КН модуль максимального изменения $a = \max |a(t) - a(0)|, t \in [0 \dots T_n]$ ускорения цели был меньше, чем разрешающая способность по ускорению $a = \lambda / 2T_n^2$ [1].

Зависимость $\Delta a(T_{\text{кн}})$ для различных значений длины волны λ приведена на рис. 2. Сравнивая характерные значения изменения ускорения из рис. 1, в с величиной Δa на рис. 2, можно сделать вывод, что когерентное накопление сигналов, отраженных от отдельных БТ, возможно при относительно небольшой длительности интервала накопления 0,01–0,1 с. При дальнейшем увеличении времени накопления ОС будет мигрировать в соседние доплеровские фильтры и эффективность КН снизится.

Способы когерентной, некогерентной и комбинированной обработки.

В указанных условиях потенциально возможна реализация КН, некогерентного (НН) и комбинированного (КомБН) когерентно-некогерентного накопления.

Входными данными для всех видов обработки является матрица \mathbf{U} размерностью $K \times M$ комплексных отсчетов $\dot{U}_{k,m}$ принимаемой реализации, где $m = 1, M$ — индекс «быстрого» времени в пределах одного периода повторения; $k = 1, K$ — индекс «медленного» времени по периодам повторения. Последовательность операций при обработке приведена на рис. 3.

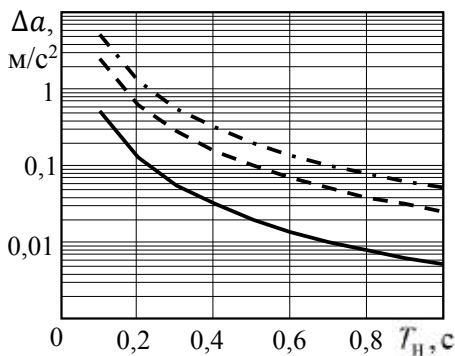


Рис. 2. Зависимости разрешающей способности по ускорению от времени накопления для различных значений длин волн. Сплошная кривая — $\lambda = 1$ см, штрих $\lambda = 5$ см, штрих-пунктир — $\lambda = 10$ см

Способы предполагают единый предварительный этап, на котором выполняется ВПО с одновременным устранением МД и составляющей МЧ, обусловленной квадратичным и последующими членами изменения дальности в соответствии с ожидаемыми значениями радиальной скорости V_{0r} , ускорения a_r и производной (при необходимости) ускорения a'_r с использованием [1]. В результате матрица \mathbf{U} преобразуется в матрицу \mathbf{Y} с комплексными отсчетами $\dot{Y}_{k,m}$ при устранении МД. Каждый столбец матрицы \mathbf{Y} содержит отсчеты $\dot{Y}_{k,m}$ сигналов на выходе ВПО, приведенные по дальности к первому импульсу пачки.

При КН далее проводится быстрое преобразование Фурье (БПФ) по столбцам матрицы \mathbf{Y} [1] с последующим вычислением квадратов модулей спектральных отсчетов. При НН проводится суммирование квадратов модулей результатов ВПО по столбцам матрицы \mathbf{Y} . Процедуры КН и НН после компенсации миграции дальности полностью аналогичны известным. Процедура КомбН в сравнении с традиционной [1] имеет следующие существенные особенности. Каждый столбец матрицы \mathbf{Y} разделяется на Q_ϕ фрагментов — подпачек по $K_1 = K / Q_\phi$ импульсов и вычисляется БПФ по каждой подпачке. Доплеровский сдвиг частоты ОС в процессе радиолокационного наблюдения может последовательно находиться в нескольких элементах разрешения по частоте, причем закон изменения доплеровского смещения частоты неизвестен. Однако если отношение сигнал/шум по когерентно накапливаемым фрагментам достаточно велико, то максимум амплитудного спектра будет соответствовать среднему доплеровскому сдвигу частоты сигнала в пределах фрагмента. Поэтому при КомбН из результатов БПФ для каждого фрагмента выбираются и суммируются максимальные значения квадратов модулей спектральных отсчетов.

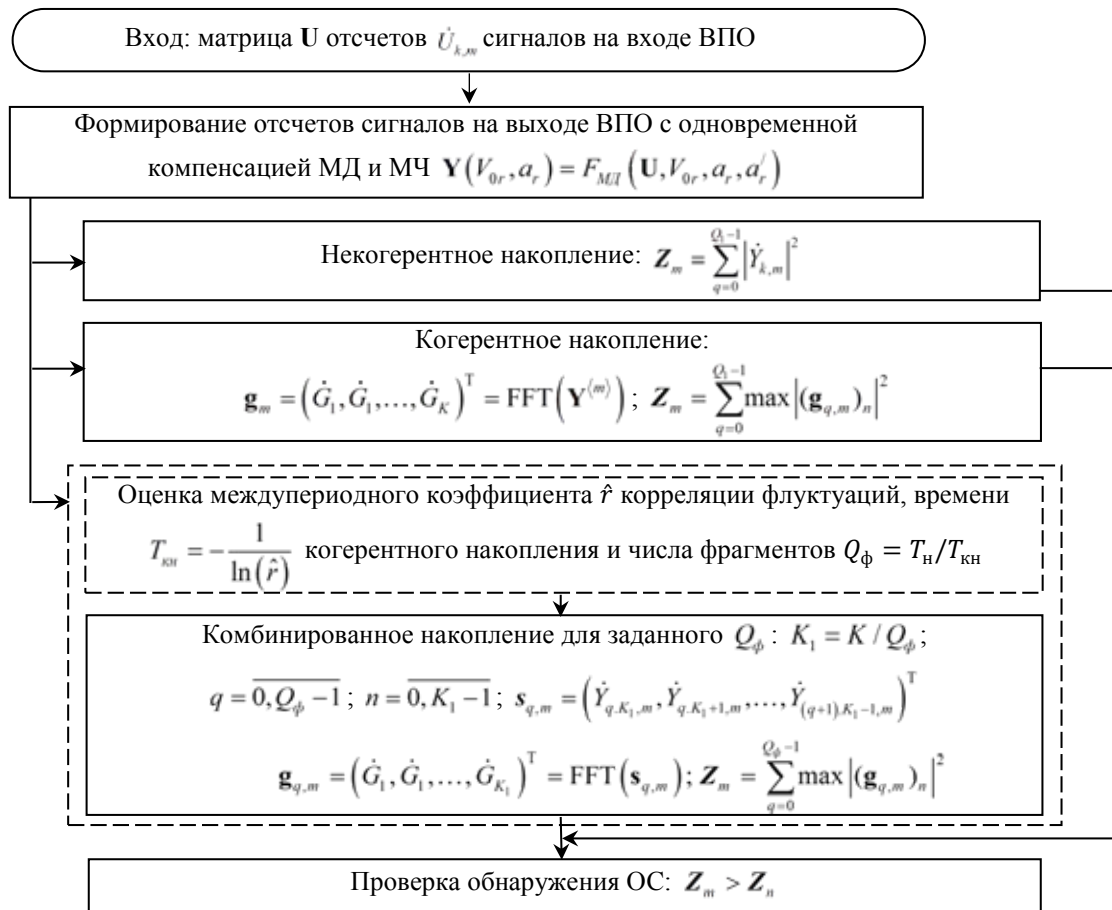


Рис. 3. Алгоритмическая схема обработки

Определение числа фрагментов Q_ϕ выполняется на основе оценки междупериодного коэффициента корреляции флуктуаций ОС, или организуется многоканальная по Q_ϕ обработка с выбором результатов по определенному критерию.

Результаты обработки Z_m для каждого отсчета по быстрому времени сравниваются с соответствующим виду обработки порогом Z_n . Цель считается обнаруженной, если порог превышен хотя бы для одного отсчета быстрого времени.

Алгоритм оценивания междупериодного коэффициента корреляции флуктуаций и особенности организации многоканальной по времени когерентного накопления обработки.

Так как междупериодные коэффициенты корреляции флуктуаций сигналов для разных элементов разрешения по дальности, в которых находится отраженный от цели сигнал, различны и априори неизвестны, то для выбора оптимального времени КН [5] возникает необходимость их адаптивного оценивания по принятой реализации [8].

С учетом специфики, обусловленной предварительной компенсацией миграции дальности и частоты, возможный алгоритмов оценки заключается в следующем. Оценим мощность ОС, попадающего в m -м отсчет дальности. С учетом возможности оценки мощности шума по всей «шумовой дорожке» на участках, где сигнала нет, оценку $\hat{P}_{ш}$ мощности шума считаем известной с высокой точностью $\hat{P}_{ш} \rightarrow P_{ш}$. Так как с учетом некоррелированности сигнала и шума $\frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} |\dot{U}_{m,k}|^2 \approx \hat{P}_{с_m} + P_{ш}$, где $\dot{U}_{m,k}$ — отсчеты сигнала на выходе ВПО после компенсации миграции дальности, то наиболее простой алгоритм оценки мощности ОС имеет вид:

$$\hat{P}_{с_m} = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} |\dot{U}_{m,k}|^2 - \hat{P}_{ш}. \quad (1)$$

Отметим, что в соответствии с (1) оценка $\hat{P}_{с_m}$ может оказаться меньше нуля, что будет соответствовать либо шумовому отсчету, либо отсчету, содержащему предельно слабый и, следовательно, необнаруживаемый сигнал, по которому дальнейшие оценки не проводятся.

Оптимальный алгоритм оценки коэффициента корреляции предполагает вычислении логарифма функции правдоподобия (ФП):

$$\psi_m(r, \bar{F}_{DS}) = \mathbf{u}_m^+ \mathbf{R}^{-1}(r, \bar{F}_{DS}) \mathbf{u}_m + \ln |\mathbf{R}(r, \bar{F}_{DS})|. \quad (2)$$

где $\mathbf{u}_m = (\dot{U}_{m,0}, \dot{U}_{m,1}, \dots, \dot{U}_{m,K-1})^T$ — вектор, составленный из отсчетов медленного времени для m -го отсчета быстрого времени;

$\mathbf{R}(r, \bar{F}_{DS})$ — оценка корреляционной матрицы (КМ) суммы флуктуирующего сигнала с междупериодным коэффициентом корреляции флуктуаций r и средним доплеровским сдвигом частоты \bar{F}_{DS} и шума с элементами:

$$R_{k_1, k_2} = r^{|k_1 - k_2|} e^{j2\pi F_{DS}(k_1 - k_2)T_r} \hat{P}_{с_m} + \begin{cases} P_{ш}, & \text{при } k_1 = k_2; \\ 0, & \text{при } k_1 \neq k_2. \end{cases} \quad (3)$$

При типовых значениях $r = 0,5-0,95$ элементы как прямой, так и обратной КМ быстро убывают при удалении от главной диагонали, поэтому прямую и обратную КМ можно заменить ленточными, выполняя вычисление эрмитовой формы в (2) путем суммирования по главной диагонали матрицы и $N - 1$ перекрестным элементам в столбце от главной диагонали. Для этого вычисляется редуцированная корреляционная матрица $\mathbf{R}_p(r, \bar{F}_{DS})$ флуктуирующего сигнала размером $N \times N$ элементов согласно (3) и проводится ее обращение $\mathbf{Q}_p(r, \bar{F}_{DS}) = \mathbf{R}_p^{-1}(r, \bar{F}_{DS})$. В полученной матрице $\mathbf{Q}_p(r, \bar{F}_{DS})$ далее используется только первый столбец.

Редуцированная решающая статистика при накоплении сигнала по лентам корреляционной матрицы будет иметь вид:

$$\psi_{p_m}(r, \bar{F}_{DS}) = \sum_{k=0}^{K-1} Q_{p_{0,0}} |\dot{U}_{m,k}|^2 + 2 \sum_{n=1}^{N-1} \sum_{k=0}^{K-n-1} Q_{p_{0,n}} \dot{U}_{m,k} U_{m,k+n}^* + \frac{K}{N} \ln |R_p(r, \bar{F}_{DS})|. \quad (4)$$

Тогда оценка междупериодного коэффициента корреляции флуктуаций отраженного сигнала для m -го отсчета по дальности:

$$\hat{r}_m = \underset{r}{\operatorname{argmin}} \psi_{p_m}(r, \bar{F}_{DS}). \quad (5)$$

Из-за необходимости максимизации по двум параметрам в (5) оценка коэффициента \hat{r}_m оказывается достаточно сложной. Альтернативным вариантом является прямой перебор числа Q_ϕ фрагментов, на которые разбивается интервал наблюдения, что в вычислительном плане может оказаться предпочтительнее оценки (5). Отметим, что при прямом переборе величина Z_m монотонно возрастает с увеличением Q_ϕ , достигая максимума при $Q_\phi = K$, то есть при некогерентном накоплении. Поэтому необходимо обоснование критерия оптимизации времени КН и числа Q_ϕ обрабатываемых фрагментов.

Отметим, что при типовых для длительного накопления значениях $Q_\phi = 10 \dots 50$ можно ожидать нормализации величины Z_m как для отсутствия, так и для наличия полезного сигнала. Поэтому в качестве оптимизируемого показателя примем величину:

$$\Lambda_m(Q_\phi) = \frac{Z_m(Q_\phi) - \bar{Z}_ш(Q_\phi)}{\sigma_ш(Q_\phi)}, \quad (6)$$

где $\bar{Z}_ш(Q_\phi)$, $\sigma_ш(Q_\phi)$ — среднее значение и среднее квадратическое отклонение выходного сигнала при наличии только шума при разделении интервала наблюдения на фрагментов.

Показатель (6) соответствует расстоянию Махалонобиса между двумя статистическим распределениями, для одного из которых (при наличии полезного сигнала) математическое ожидание принято равным значению выходного сигнала накопителя, а среднее квадратическое отклонение для обоих распределений принято одинаковым. Таким образом (6) представляет собой нормированное расстояние между выходным сигналом накопителя при наличии полезного сигнала и средним значением выходного сигнала при наличии только шума. Нормировка проводится путем деления на среднее квадратическое отклонение шума на выходе накопителя.

Тогда оптимальная оценка числа фрагментов, на которые нужно разделить сигнал:

$$\hat{Q}_{\phi_m} = \operatorname{arg max} \Lambda_m(Q_\phi), \quad (7)$$

откуда альтернативная (5) оценка коэффициента корреляции:

$$\hat{r}_m = e^{-\hat{Q}_{\phi_m}/K}. \quad (8)$$

Отметим, что после вычисления (6) может быть решена задача обнаружения. Для этого $\Lambda_m(Q_\phi)$ сравнивается с нормированным порогом $\ell = \Phi^{-1}(1 - F_{лт})$, где $\Phi^{-1}(1 - F_{лт})$ — функция, обратная интегралу вероятности вида $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt$, $F_{лт}$ — вероятность ложной

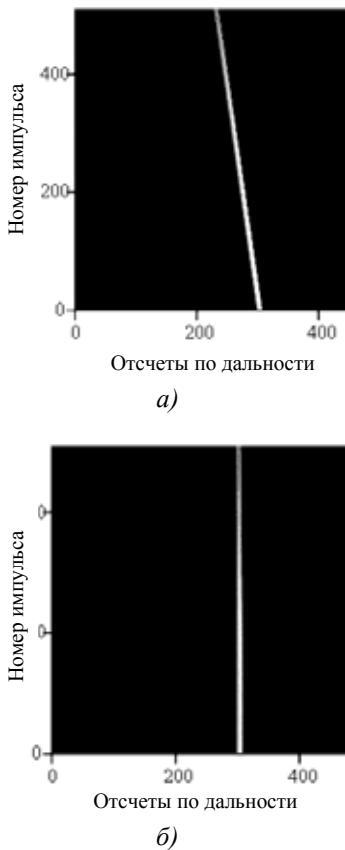


Рис. 4. Яркое РЛИ на выходе ВПО без (а) и при наличии (б) компенсации МД

тревоги. Ниже приведены результаты моделирования предлагаемых алгоритмов для детерминированной модели рысканий и модели рысканий в виде случайного процесса, обусловленного турбулентными свойствами атмосферы.

Закономерности компенсации миграции дальности и накопления отраженного сигнала при детерминированной модели рысканий.

На рис. 4 приведено яркостное радиолокационное изображение (РЛИ) в координатах дальность (горизонтальная ось) без и при наличии компенсации МД ($T_H = 512$ мс, период повторения импульсов $T_r = 1$ мс, $\lambda = 10$ см, гипотетический случай отсутствия угловых рысканий цели). До компенсации МД сигнал от цели представлен в виде яркой наклонной линии, повернутой относительно оси дальности на угол, определяемый радиальной скоростью и ускорением цели. При достаточно большом ускорении эта линия визуально будет соответствовать параболе. После компенсации МД наклонная линия преобразуется в вертикальную, что обеспечивает возможность дальнейшего накопления в каждом элементе разрешения по столбцам матрицы. Изменение яркости свидетельствует об амплитудных флуктуациях ОС. На рис. 5 приведены формируемые при длительном когерентном накоплении радиолокационные изображения (РЛИ) цели при различной степени рассогласования параметров движения цели и параметров системы обработки. Цель (см. рис. 1) совершала разворот с ускорением $3g$, отношение сигнал/шум на выходе ВПО по одной БТ цели составляло $-10,9$ дБ (потенциальное отношение сигнал/шум по всей продолжительности наблюдения для гипотетического случая когерентного суммирования отраженных от всех БТ сигналов составляет 26 дБ), разрешение по дальности, радиальной скорости и ускорению составляло 3 м, $0,2$ м/с и $0,78$ м/с² соответственно. Горизонтальная ось на рисунках соответствует доплеровскому сдвигу частоты, вертикальная — дальности. Как видно из рис. 5, при отсутствии угловых рысканий и точном согласовании параметров движения цели и системы обработки формируется характерное РЛИ объекта в виде совокупности ярких по отношению к фону точек, распределенных по дальности и доплеровскому сдвигу частоты. Размер изображения цели по дальности соответствует ее наблюдаемой радиальной протяженности, по частоте — определяется разностью доплеровских частот отдельных БТ цели, что создает предпосылки для оценивания размера объекта в картинной плоскости. При рассогласовании радиального ускорения объекта и системы обработки РЛИ «размывается» преимущественно по оси частот, и при достаточно большом рассогласовании обнаружение цели становится затруднительным.

На рис. 6 приведен формируемые РЛИ при точном совпадении параметров ВПО при компенсации МД и МЧ с параметрами движения центра масс цели и различных периодах рыскания $T_{рыск}$ при КН, НН ($Q_\phi = 8$). Пунктирной линией для случаев НН накопления показан порог, сформированный исходя из предположения о нормализации фона при вероятности ложной тревоги 10^{-6} . При выбранных исходных данных за время накопления блестящие точки цели смещаются на расстояние равное в среднем 22 элементам разрешения по дальности. Смещение цели за время наблюдения примерно соответствует ее длине.

На рис. 6 приведен формируемые РЛИ при точном совпадении параметров ВПО при компенсации МД и МЧ с параметрами движения центра масс цели и различных периодах рыскания $T_{рыск}$ при КН, НН ($Q_\phi = 8$). Пунктирной линией для случаев НН накопления показан порог, сформированный исходя из предположения о нормализации фона при вероятности ложной тревоги 10^{-6} . При выбранных исходных данных за время накопления блестящие точки цели смещаются на расстояние равное в среднем 22 элементам разрешения по дальности. Смещение цели за время наблюдения примерно соответствует ее длине.

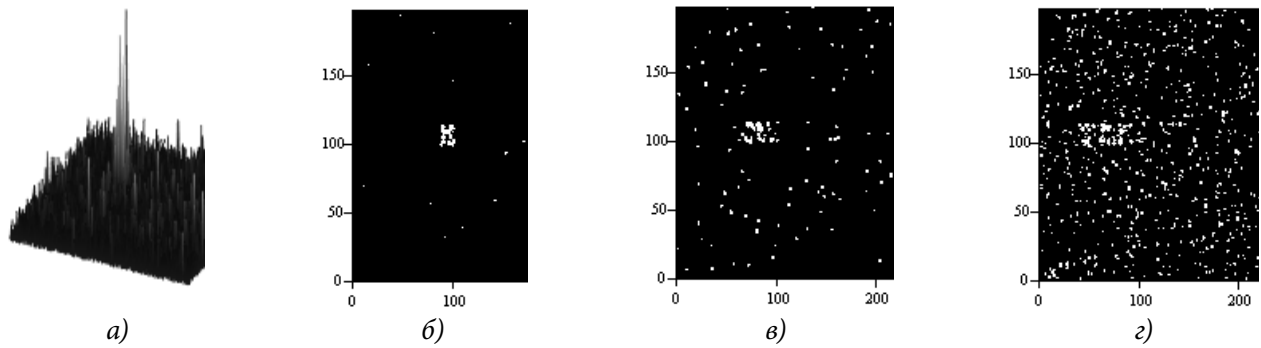


Рис. 5. Трехмерное (а) и яркостное (б–г) РЛИ цели в координатах дальность — доплеровский сдвиг частоты при точном (а, б) согласовании параметров системы обработки и рассогласовании по ускорению 20 м/с^2 (в) и 40 м/с^2 (г)

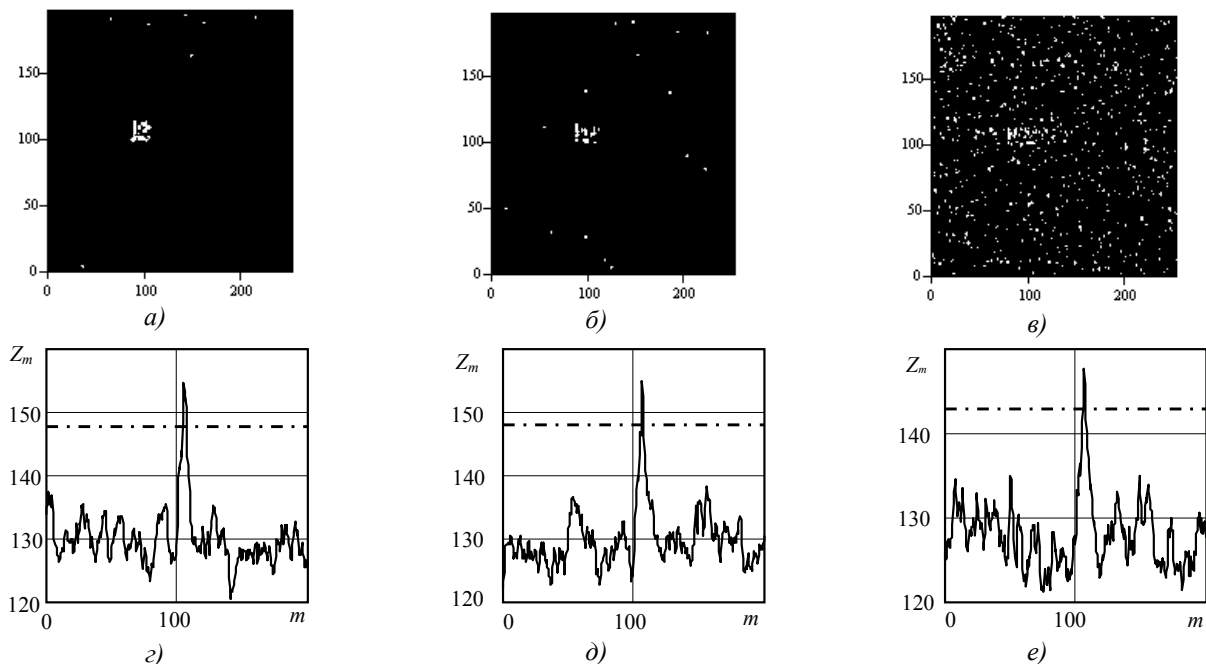


Рис. 6. РЛИ цели в координатах дальность — доплеровский сдвиг частоты (а–в), результат НН (г–е) при периоде рысканий 2 с (а, г), 1 с (б, д) и 0,25 с (в, е)

Как видно из результатов моделирования, при достаточно малой угловой скорости рысканий с периодом повторения $T_{\text{рыск}} = 2 \text{ с}$ РЛИ объекта при КН практически не изменяется в сравнении со случаем отсутствия рысканий. При увеличении скорости рысканий происходит размывание РЛИ по оси частот, и при достаточно большой скорости рысканий визуальное обнаружение цели по результатам КН становится затруднительным. При НН уверенное обнаружение цели обеспечивается для всех значений периода угловых рысканий.

Результаты моделирования длительного накопления отраженного сигнала при случайных рысканиях цели при полете в турбулентной атмосфере.

Рассмотренный выше случай ввиду использования гармонических угловых рысканий является модельным и позволяет выявить основные закономерности ДН. В реальных условиях радиолокационного наблюдения за самолетом его угловые рыскания будут определяться

турбулентностью атмосферы и представлять собой случайный процесс с заданными статистическими свойствами.

Для оценки эффективности ДН по типовым радиолокационным целям с учетом турбулентности атмосферы необходима соответствующая модель ОС. В настоящее время широко используется модель радиолокационных характеристик вторичного излучения аэродинамических целей, реализованная в специализированном программном комплексе Back Scattering Simulation (BSS), созданной Я. Д. Ширманом [6] и развиваемом его учениками. Комплекс обеспечивает воспроизведение отраженных от маневрирующих аэродинамических объектов сигналов при узкополосном и сверхширокополосном зондировании. В качестве входных параметров цели используются: координаты положения центра масс цели; координаты положения БТ относительно центра масс; параметры движения цели.

Исследование эффективности ДН проводилось при следующих исходных данных в программном комплексе BSS:

- наблюдаемая радиолокационная цель — среднеразмерный самолет, в качестве которого принимался заданный в программном комплексе объект типа F-15;
- параметры режима полета: начальный азимут цели — 0 град; начальная дальность до центра масс цели — 50 км; высота полета — 4000 м; начальный курсовой угол — 225 град; скорость полета — 1100 км/ч;
- параметры зондирования и обработки: когерентные пачки линейно-частотно-модулированных радиоимпульсов с прямоугольной огибающей (без оконной обработки); длительность импульса — 10 мкс; девиация частоты — 50 МГц; длина волны — 3 см; поляризация сигнала — горизонтальная; частота повторения импульсов — 1000 Гц; размер строка дальности — 600 м, число элементов дальности в строке — 512.

С указанными выше параметрами зондирующего сигнала цель занимает примерно 5–7 элементов разрешения. Результаты моделирования ОС (шумы отсутствовали) приведены на рис. 7.

Как видно из рис. 7, совокупный ОС заметно мигрирует по дальности. Флуктуации ОС в различных элементах разрешения по дальности также различны в процессе наблюдения: имеются как относительно стабильные элементы, так и интенсивно флуктуирующие. Для турбулентной атмосферы флуктуации происходят с меньшим временем корреляции и с большей интенсивностью.

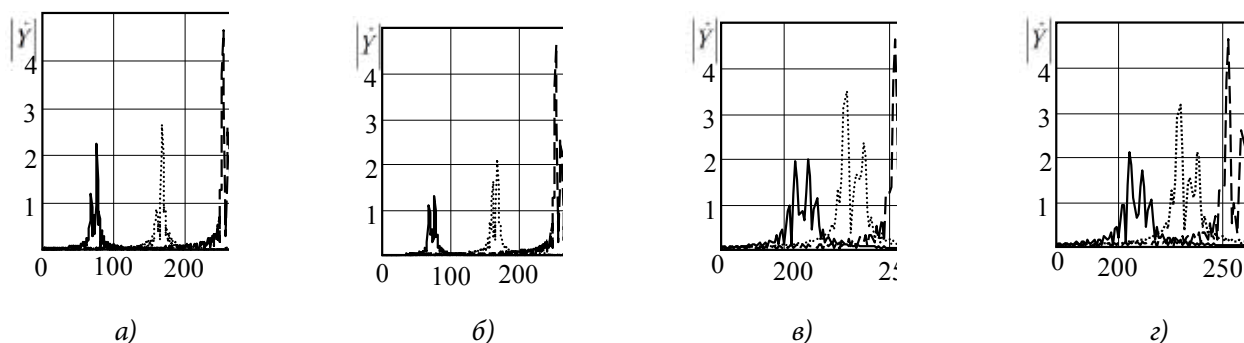


Рис. 7. Пример отраженного сигнала на выходе ВПО (без компенсации МД) при времени наблюдения $t = 1$ с (а, б) и 256 мс (в, г) в случаях без учета атмосферы (а, в) и турбулентности ясной погоды (б, г) (длинный штрих — $k = 0$; круглые точки $k = 500$ (а, б), 128 (в, г); сплошная линия $k = 999$ (а, б), 255 (в, г))

На рис. 8 показан результат КН и НН при времени наблюдения 1 с и 256 мс. Несмотря на то, что пик сигнала при КН сформировался правильно, эффективность КН из-за флуктуаций сигнала оказалась низкой. Об этом свидетельствует сравнение амплитуды сигналов на выходе ВПО (см. рис. 7) и после КН (рис. 8, а, б), а также то, что результат КН за время 256 мс оказался существенно лучше, чем за время 1 с.

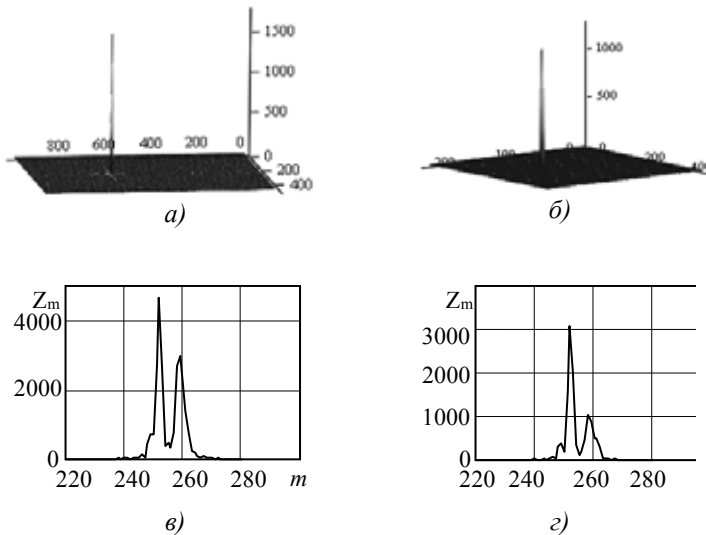


Рис. 8. Трехмерное РЛИ цели при КН в координатах дальность — доплеровский сдвиг частоты (а, б) и результат НН (в, г) для цели F15 при времени наблюдения 1 с (а, в) и при 256 мс (б, г) в случае турбулентности ясной погоды

стическим усреднением при отсутствии шума, составили $\hat{r}_{252} = 0,997$ и $\hat{r}_{258} = 0,996$. Оценки (5) при указанных выше значениях ОСШ составили $\hat{r}_{252} = 0,994$ и $\hat{r}_{258} = 0,988$ при смещении оценки частоты относительно доплеровского сдвига частоты центра масс цели около -50 Гц (смещение по скорости $-0,75$ м/с). Указанное смещение обусловлено угловым движением БТ относительно центра масс.

На рис. 9 для числа учитываемых перекрестных членов $N = 64$ в (4) и двух элементов разрешения с наибольшей амплитудой ОС с индексами $m = 252, 258$ приведены зависимости решающей статистики (4), формируемой при оценке (5) междупериодного коэффициента корреляции флуктуаций ОС для различных значений доплеровского сдвига частоты δF относительно доплеровского сдвига частоты, обусловленного движением центра масс цели. Оценки проводились при среднем на интервале наблюдения отношении сигнал/шум на выходе ВПО по БТ с $m = 252, 258$, равным -13 и -15 дБ соответственно.

Выборочные коэффициенты корреляции флуктуаций отраженного сигнала, определенные статистическим усреднением при отсутствии шума, составили $\hat{r}_{252} = 0,997$ и $\hat{r}_{258} = 0,996$. Оценки (5) при указанных выше значениях ОСШ составили $\hat{r}_{252} = 0,994$ и $\hat{r}_{258} = 0,988$ при смещении оценки частоты относительно доплеровского сдвига частоты центра масс цели около -50 Гц (смещение по скорости $-0,75$ м/с). Указанное смещение обусловлено угловым движением БТ относительно центра масс.

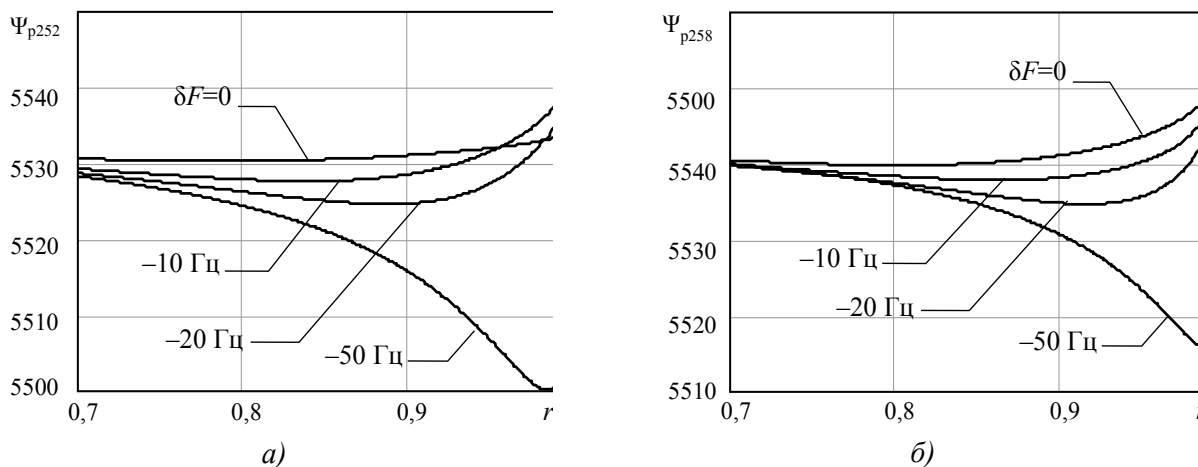


Рис. 9. Зависимость решающей статистики (4) от междупериодного коэффициента корреляции флуктуаций для различных значений доплеровского сдвига частоты

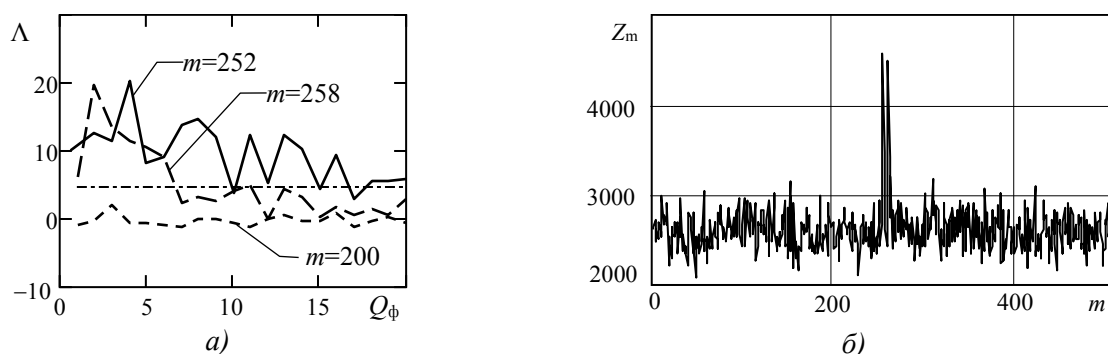


Рис. 10. Зависимость Λ_m от числа фрагментов Q_ϕ (а) и выходной сигнал системы обработки (б) при $Q_\phi = 4$

Отметим, что при указанных значениях \hat{r}_m время оценка $\hat{\tau}_m = -T_r / \ln \hat{r}_m$ времени корреляции флуктуаций ОС составит $\hat{\tau}_m = 166$ мс и $\hat{\tau}_m = 83$ мс. Полученные значения превышают известные данные для времени корреляции флуктуаций ОС для среднеразмерной цели порядка десятков мс [5]. Вместе с тем данные [5] относятся к узкополосному зондирующему сигналу. В настоящем случае, так как протяженность элемента разрешения по дальности в 5–7 раз меньше радиального размера цели, отражение формируется небольшим (одной-тремя) БТ, поэтому время корреляции флуктуаций возрастает.

На рис. 10, а для тех же исходных данных, что и на рис. 8, приведен вид функций $\Lambda_{252}(Q_\phi)$, $\Lambda_{258}(Q_\phi)$ для элементов разрешения, где находится сигнал, и для сравнения $\Lambda_{200}(Q_\phi)$ где сигнал отсутствует. Штрихпунктирной линией на рис. 10, а обозначен порог при вероятности ложной тревоги 10^{-6} . Оптимальным при $m = 252$ является разделение общей продолжительности наблюдения на $Q_\phi = 4$ фрагмента по 250 мс, но для элемента разрешения с наибольшей амплитудой обнаружение будет происходить и при других значениях Q_ϕ . Сигнал от цели (рис. 10, б) после обработки хорошо выделяется на фоне шумов.

Отметим, что предлагаемый вариант перебора по числу Q_ϕ фрагментов, на которые разделяется принимаемая реализация в вычислительном плане может оказаться предпочтительнее предварительной совместной оценки коэффициента корреляции ОС и доплеровского сдвига частоты согласно (5).

Заключение.

Разработанные способы обеспечивают возможность накопления и обнаружения сигнала, отраженного от многоэлементной радиолокационной цели в ситуациях, когда цель испытывает угловые рыскания в турбулентной атмосфере, а изменение дальности и радиальной скорости цели на интервале наблюдения существенно превышают размеры элементов разрешения по соответствующим параметрам. Применение способов целесообразно для повышения дальности обнаружения при низких отношениях сигнал/шум.

Литература:

1. Козлов, С. В. Модель и базовый алгоритм длительного когерентного накопления отраженного сигнала при ненулевых высших производных дальности до радиолокационной цели / С. В. Козлов, Ле Ван Кыонг // Доклады БГУИР. — 2021. — № 2. — С. 49–57.
2. Ле Ван Кыонг Экономичные алгоритмы длительного когерентного накопления отраженного сигнала при наличии миграции по дальности и ее производным / Ле Ван Кыонг, С. В. Козлов// Информационные

радиосистемы и радиотехнологии 2020: материалы Республиканской научно-практической конференции, Минск, БГУИР, 28–29 октября 2020 г. — Минск, 2020. — С. 173–177.

3. Доброленский, Ю. П. Динамика полета в неспокойной атмосфере/ Ю. П. Доброленский — М.: Машиностроение, 1968. — 256 с.

4. ISAR Autofocus Imaging Algorithm for Maneuvering Targets Based on Phase Retrieval and Gabor Wavelet Transform / Hongyin S., Ting Y., Zhijun Q // Remote Sens. 2018, 10, 1810; doi:10.3390/rs10111810.

5. Охрименко, А. Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба / А. Е. Охрименко. — Ч. 1. — М., 1983. — 456 с.

6. Shirman, Y. D. Radar Target Backscattering Simulation Software and User's Manual / Y. D. Shirman. Artech House, Boston, London, 2002. — 69 p.

7. Shirman, Y. D. Computer Simulation of Aerial Target Radar Scattering, Recognition, Detection & Tracking / Y. D. Shirman. — Artech House, Boston, London, 2001. — 294 p.

8. Адаптивное к корреляционным характеристикам отраженного сигнала устройство междупериодной обработки / С. А. Габец, С. Ю. Седышев // Изв. НАН РБ. — 2015. — № 4. — С. 100–106.

УДК 658.7+339.18

ИНТЕГРАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

INTEGRATION OF LOGISTICS FLOWS IN INDUSTRY

В. А. Скориков,

соискатель ученой степени канд. экон. наук, исследователь в области экон. наук, Белорусский государственный экономический университет, магистр экон. наук, г. Минск, Республика Беларусь

V. Skorikov,

PhD Applicant, Researcher in the Field of Economic Sciences, Belarusian State University of Economics, Minsk, Republic of Belarus

Дата поступления в редакцию — 19.03.2021 г.

В статье изложены аспекты интегрированного управления логистическими потоками в разрезе областей функциональной логистики (закупка, производство, распределение) и ресурсной логистики. Подробно представлены параметры логистических потоков предприятий промышленности. Описана математическая взаимосвязь финансовых потоков с материальными, информационными, кадровыми и сервисными.

The article describes the aspects of integrated logistics flow management in the context of functional logistics (procurement, production, distribution) and resource logistics. The parameters of logistics flows of industrial enterprises are presented in detail. The mathematical relationship of financial flows with material, information, personnel and service flows is described.

Ключевые слова: интеграция, логистика, логистические потоки, управление.

Keywords: integration, logistics, logistics flows, management.

Отличительной характеристикой современного этапа развития логистики является интеграция цепей поставок, в ходе которой образуются активные взаимосвязи ее участников посредством логистических потоков.

Вопросам управления цепями поставок, повышения эффективности функционирования товаропроводящих систем, координированного взаимодействия производителей, поставщиков, потребителей, логистических посредников посвящены труды известных белорусских и зарубежных ученых — Дроздова П. М., Елового И. А., Ерчак О. В., Ивутья Р. Б., Полещук И. И.,

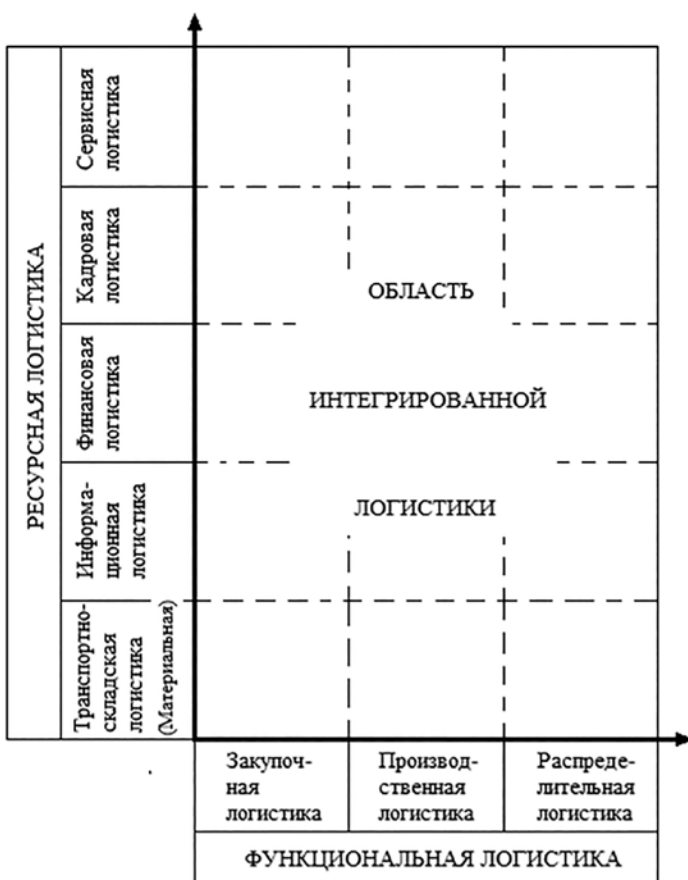
Дыбской В. В., Кристофера М., Лукинського В. С., Лукинського В. В., Миротина Л. Б., Сергеева В. И., Уварова С. А., Уолтерса Д., Хэндфилда Р. Б., Шапиро Дж., Щербакова В. В и др.

В настоящее время крупнейшие профессиональные логистические организации, в том числе общепризнанный лидер в области операционного менеджмента, которым является Ассоциация операционного менеджмента (Association for Operations Management, APICS) (США), объединяют лучшие мировые и национальные практики реального сектора в сфере логистической деятельности.

В начале 2019 г. APICS была создана Ассоциация по управлению цепями поставок (Association for Supply Chain Management, ASCM), которая сегодня является ведущим поставщиком инноваций, научно-исследовательских, образовательных и сертификационных программ, которые повышают качество цепочки поставок [1].

Повышенный и сосредоточенный интерес профессионального сообщества в данной области свидетельствует об устойчивом тренде интеграционного управления в промышленности, т. к. логистическая деятельность охватывает все стадии воспроизводственного цикла. Поэтому повышение эффективности на уровне интегрированного управления логистическими потоками становится приоритетным направлением в логистическом менеджменте [2].

Следует отметить, что в специальной литературе не достаточно четко описаны характеристики и параметры логистических потоков, а вопросам интеграции потоков уделено мало внимания, зачастую ограничиваясь комментариями о существовании взаимосвязи между ними.



Область интегрированной логистики предприятия промышленности

Источник: собственная разработка автора.

Поэтому важным аспектом интегрированной логистики является обеспечение целостного понимания о взаимосвязи материального потока и информационного, финансового, сервисного потоков, что обусловлено эволюционным развитием логистики. На рисунке представлена область компетенций, охватываемая интегрированной логистикой промышленного предприятия.

Концепция управления цепями поставок нацелена на снижение общих издержек в цепи создания стоимости продукта. В процессном понимании цепи поставок представляют собой совокупность логистических потоков, среди которых основным является материальный поток, вспомогательными — транспортный поток, обслуживающими — финансовый, информационный, кадровый и сервисный потоки. В свою очередь, на материальном потоке фокусируется добавленная стоимость на каждом этапе создания продукта [3]. Поэтому эффективным управлением логистическими

потоками обуславливается улучшение экономических результатов деятельности предприятий промышленности.

Интегрированная логистика в промышленной сфере является инструментом менеджмента для управления потоками логистической системы в базисных областях деятельности предприятия: закупка, производство, распределение.

Следует отметить, что в условиях глобальной конкуренции дальнейшее повышение экономической эффективности в промышленности возможно при системном подходе к вопросам управления ресурсными потоками.

Ведущие промышленные корпорации выполняют управление запасами, закупками, транспортировкой, производством и распределением с помощью автоматизированных систем управления на базе общей информационной платформы, позволяющей синхронизировать бизнес-процессы и логистические потоки. Современная программно-аппаратная инфраструктура является платформой многочисленных участников цепей поставок для эффективного взаимодействия по снижению логистических затрат, сокращению сроков реагирования на рыночные изменения. Компании, которые относят к стратегическим активам управление цепями поставок и управление потоковыми процессами, работают на 70 % эффективнее своих конкурентов, что подтверждает актуальность данной концепции.

Современный этап экономического развития характеризуется значительным увеличением кооперационных связей и сфер взаимодействия предприятий, наблюдается слияние сфер производственного менеджмента и логистики.

Очевидно, что и в холдинговых моделях, применяемых в промышленности Республики Беларусь, логистическая интеграция должна осуществляется от организационной к информационной, материальной, финансовой, кадровой, что сформирует необходимую инфраструктуру для достижения как целей отдельного предприятия, так и общей (корпоративной) цели [4].

По ходу продвижения сквозь области закупки, производства и распределения материальный поток сопровождают информационный, финансовый и кадровый потоки [5]. Кроме того, логистическая система промышленного предприятия генерирует сервисный и транспортный потоки.

Очевидным фактом в практике управления является системная взаимосвязь логистических потоков.

В целях систематизации понятийного аппарата подробные характеристики и параметры логистических потоков предприятия промышленности приводятся в таблице.

Параметры логистических потоков предприятия промышленности

| Вид логистического потока | Характеристики потока | Параметры |
|---------------------------|------------------------------------|--|
| Материальный поток | Объем материального потока | Объем материальных ресурсов в стоимостном, количественном выражении от зарождения до окончания потока |
| | Интенсивность материального потока | Отношение среднего количества продукции за временной интервал |
| | Размерность материального потока | Отношение размерности продукции (ед., т, м ³ и т. п.) к размерности временного интервала (сут., месяц, год и т. п.) |
| | Интервал материального потока | Промежуток времени, расстояние между поставками |

Продолжение таблицы

| Вид логистического потока | Характеристики потока | Параметры |
|---------------------------|--------------------------------------|---|
| | Конфигурация материального потока | Схема движения материального потока |
| | Цена материального ресурса | Количество денежных единиц за единицу измерения |
| | Товарная номенклатура и ассортимент | Тип товара, бренд, модель, серия, партномер, артикул, штрихкод производителя |
| | Физико-химические характеристики | Плотность, теплопроводность, консистенция (насыпной, наливной, навалочный и т. п.) |
| | Количество, мера | Единицы, штуки, комплекты |
| | Весовые характеристики | Общая масса, масса брутто, масса нетто |
| | Габаритные характеристики | Линейные размеры (высота, ширина, длина, глубина), объем, площадь |
| | Вид тары и упаковка | Контейнер, ящик, бочка, барабан, канистра, фляга, баллон, мешок, банка, бутылка, коробка, пакет, лоток, туба, ампула, стаканчик, флакон, кипа, рулон, металлическая тара, стеклотара, бумажная, картонная, деревянная и пластиковая тара, блистерная упаковка |
| Информационный поток | Вид информационного потока | Бумажный формат, электронный формат, речевой формат |
| | Количество информации | Бит, байт, килобайт, мегабайт |
| | Объем информационного потока | Массив данных, сведений, фактов, цифр в электронном или бумажном формате для инициализации материального, финансового, транспортного, кадрового и сервисного потоков |
| | Скорость информационного потока | Количество информации, передаваемое или обрабатываемое в единицу времени |
| | Интенсивность информационного потока | Количество информации, передаваемое или обрабатываемое за временной интервал |
| | Направление информационного потока | Прием (входящий поток) или передача (исходящий поток) сообщений |
| Финансовый поток | Объем финансового потока | Направленно двигающаяся совокупность финансовых средств |
| | Стоимость финансового потока | Издержки на организацию финансового обеспечения |
| | Время финансового потока | Длительность финансового цикла |
| | Направление финансового потока | Поступление (приток) или выплата (отток) финансовых средств, кредиторская или дебиторская задолженность |
| Транспортный поток | Вид транспорта | Воздушный, водный, железнодорожный, автомобильный |
| | Маршрут транспортного потока | Путь следования транспортного средства |
| | Интенсивность транспортного потока | Количество грузового транспорта с требуемыми эксплуатационными параметрами, проезжающее по маршруту в заданный временной интервал |
| | Скорость сообщения | Отношение расстояния между пунктами сообщения ко времени нахождения транспортного средства в пути (времени сообщения) |

| Вид логистического потока | Характеристики потока | Параметры |
|---------------------------|--|---|
| | Время транспортного потока | Промежуток времени, необходимый для прохождения грузового транспорта с требуемыми эксплуатационными параметрами по маршруту |
| | Коэффициент использования грузоподъемности | Отношение фактической нагрузки к суммарной грузоподъемности транспортного средства |
| | Коэффициент использования грузоместимости | Отношение перевозимого объема груза к объему грузовых помещений транспортного средства |
| | Коэффициент использования пробега | Отношение полезного пробега (пробега с грузом) транспортного средства к общему пробегу за временной период |
| Кадровый поток | Объем кадрового потока | Численность персонала, необходимая для осуществления трудовых функций в определенный период времени |
| | Источники кадрового потока | Учреждения образования, центры занятости населения, кадровые агентства, отделы кадров предприятий |
| | Текучесть кадров | Коэффициент текучести кадров |
| | Размер оплаты труда | Вознаграждение за труд (оклад, тариф, выплаты, компенсации и т. д.) |
| Сервисный поток | Вид сервисного потока | Интернет-провайдинг, логистический провайдинг, финансовый провайдинг, консалтинг, маркетинг, рекрутинг, аутстаффинг, сюрвейеринг, сорсинг, бенчмаркинг, тренинг, мониторинг |
| | Объем сервисного потока | Наборы услуг для оказания логистического обслуживания с обеспечением выполнения 7 правил логистики |
| | Интенсивность сервисного потока | Количество услуг за временной интервал |

Источник: собственная разработка автора на основе источников [6, 7].

В современной научной литературе логистические потоки не рассматриваются целостно, как комплекс связей элементов одной системы, что не позволяет иметь полное системное аналитическое представление о степени влияния сопутствующих потоков на материальный, который в ходе взаимодействия изменяет свои характеристики [8].

Поэтому актуальной задачей является разработка базовой математической модели взаимосвязи материального, сервисного, финансового, информационного и кадрового потоков и ее модификаций.

В частности, модель взаимосвязи финансовых потоков с материальными, трудовыми, информационными можно представить в виде производственной функции [9]:

$$V = A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta} \cdot e^{\gamma t}, \quad (1)$$

где V — поток материальных ресурсов, в единицу времени;

A — масштабирующий коэффициент;

K — объем капитала, используемого для производства материальных ресурсов;

α — эластичность потока материальных ресурсов по капиталу;

L — поток трудовых ресурсов;
 β — эластичность потока материальных ресурсов по труду;
 γ — декремент научно-технологической эволюции;
 e — основание натурального логарифма;
 t — текущее время.

Тем не менее в предлагаемой записи не учтен поток сервисных услуг.

Кроме того, для моделирования логистических потоков необходимо иметь количественное исчисление относительного объема информационного потока, отражающего степень достаточности информационного потока для инициализации материального, финансового, кадрового и других потоков.

С учетом дополнения производственная функция принимает следующий вид:

$$V = A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta} \cdot SR^{\varepsilon} \cdot e^{\gamma t} \cdot I^*, \quad (2)$$

где SR — поток сервисных услуг;

ε — эластичность потока материальных ресурсов по сервису, генерируемому логистической системой;

I^* — относительный объем информационного потока.

Для получения математической взаимосвязи финансовых потоков с материальными перейдем к расчету необходимых финансовых ресурсов для закупки материальных ресурсов, которые определяются их стоимостью:

$$DF_i = P \cdot D_i, \quad (3)$$

где DF_i — сумма оттоков финансовых ресурсов в i -м периоде;

P — стоимость материального ресурса с учетом транспортировки;

D_i — объем материальных ресурсов в i -м периоде.

Если поток материальных ресурсов V тождественен объему D , то математическое описание связей в системе логистических потоков примет следующий вид:

$$DF_i = P \cdot A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta} \cdot SR^{\varepsilon} \cdot e^{\gamma t} \cdot I^*. \quad (4)$$

Таким образом, получена математическая взаимосвязь логистических потоков, где материальные потоки определены в функции факторов производства — труда, капитала, предпринимательского потенциала (в виде сервисных услуг, профессиональной компетенции), информации. Данная математическая взаимосвязь позволяет проанализировать степень влияния различных факторов на формирование стоимости материальных ресурсов и принять корректирующие меры по оптимизации затрат.

Предприятия промышленности Республики Беларусь в основном осуществляют свою деятельность в условиях рынка покупателя, что обуславливает обладание быстрой реакцией на рыночные изменения и своевременной концентрацией необходимых ресурсов для выполнения заказов и запросов покупателей.

Так, задачу управления промышленным предприятием можно формализовать в виде линейной целевой функции максимизации прибыли:

$$F_i \rightarrow \max, \quad (5)$$

$$F_i = \sum_i CF_i - \sum_i DF_i, \quad (6)$$

где F_i — целевая функция;

CF_i — сумма поступлений (притоков) денежных средств в i -м периоде;

DF_i — сумма выплат (оттоков) денежных средств в i -м периоде.

В структуру притоков входит выручка от реализации товарной продукции на внутреннем и внешнем рынках, в оттоки включены затраты и издержки, связанные с движением и преобразованием материального потока.

Управление промышленным предприятием должно основываться на принципах логистического подхода и осуществления интеграции бизнес-процессов производства, маркетинга, снабжения и распределения товарной продукции путем согласованных действий всех элементов логистической системы.

В ходе развития промышленности наблюдается непрерывное повышение уровня интеграции в логистической деятельности хозяйствующих субъектов. Логистическая интеграция участников цепи поставок связана с расширением логистического сотрудничества, объединением логистических мощностей и направлена на то, чтобы достижения участников в каждой отдельной функциональной области вносили максимальный вклад в общий логистический потенциал, повышали уровень профессиональной компетенции и способствовали обретению эмерджентных свойств логистической системы.

Вывод.

Смысл интегрированной логистики заключен в комплексном управлении потоками в фазах снабжения, производства и распределения на основе четкого взаимодействия с поставщиками, посредниками, потребителями и другими субъектами логистической системы при наиболее эффективном использовании ресурсов.

Обладание знаниями в области взаимосвязи логистических потоков и степени их влияния друг на друга позволяет оптимизировать управленческие решения по ресурсному обеспечению хозяйственной деятельности предприятий промышленности.

Применение методов интегрированного логистического менеджмента позволит белорусским предприятиям промышленности на порядок повысить экономическую эффективность путем снижения уровня производственных запасов, сокращения сроков оборачиваемости оборотных средств и уменьшения совокупных логистических издержек.

Литература:

1. Официальный сайт Ассоциации операционного менеджмента (Association for Operations Management, APICS) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.apics.org>.
2. Щербаков, В. В. Логистика в пятом технологическом укладе: паритетность интересов науки и сетевой организации бизнеса / В. В. Щербаков // Интеграционный потенциал логистики в глобальной экономике: Материалы междунар. науч.-практ. конф. / Отв. ред. В.В. Щербаков. — СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2014. — С. 5–8.
3. Шиндина, Т. А. Интегрированная логистика в организации / Т. А. Шиндина, Е. Н. Салимоненко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». — 2014. — № 4. — Т. 8. — С. 195–198.
4. Еловой, И. А. Интегрированные логистические системы доставки ресурсов : теория, методология, организация / И. А. Еловой, И. А. Лебедева: под науч. ред. В. Ф. Медведева; Бел. гос. университет транспорта. — Минск: Право и экономика, 2011. — 461 с.

5. Пустынникова, Е. В. Оценка взаимосвязей в интегрированных структурах / Пустынникова Е. В. // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. — 2010. — № 3. — С. 83–85.
6. Дыбская, В. В. Логистическая координация при формировании сети распределения / В. В. Дыбская, А. Б. Виноградов, А. В. Фель // Логистика и управление цепями поставок. — 2019. — № 6(95). — С. 14–23.
7. Крылатков, П. П. Управление машиностроительным предприятием на основе концепции целостности : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / П. П. Крылатков. — Екатеринбург, 2013. — 440 л.
8. Лукинский, В. С. К вопросу об интеграции материального и финансового потока в цепях поставок / В. С. Лукинский, В. М. Бобкова, А. В. Бобков // Логистика и управление цепями поставок. — 2014. — № 2(61). — С. 15–21.
9. Минаков, В. Ф. Системный анализ логистических потоков / В. Ф. Минаков, А. А. Остоумов, М. В. Радченко // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. — 2015. — № 2. — С. 199–201.

УДК 621.833; 669.056.9:629.118.6

МЕТОДОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ

APPLICATION'S METHODOLOGY OF NANOSTRUCTURED MATERIALS IN SLIDING BEARINGS

И. Войтов,

ректор Белорусского государственного технологического университета, д-р техн. наук, профессор, г. Минск, Республика Беларусь

А. Цыганов,

первый проректор Белорусского государственного технологического университета, д-р техн. наук, профессор, академик НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

А. Калиниченко,

директор центра Белорусского государственного технологического университета, д-р техн. наук, г. Минск, Республика Беларусь

В. Басинюк,

директор центра ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», д-р техн. наук, г. Минск, Республика Беларусь

О. Девойно,

заведующий научно-исследовательской лабораторией Белорусского национального технического университета, д-р техн. наук, профессор, г. Минск, Республика Беларусь

I. Voitov,

Rector, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

A. Tsyganov,

First Vice Rector, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the NAS of Belarus, Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

A. Kalinichenko,

Director of the Center, Doctor of Technical Sciences, Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

V. Basiyuk,

Director of the Center, Doctor of Technical Sciences; Joint Institute of Mechanical Engineering of NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

O. Devoino,

Head of the Research Laboratory, Doctor of Technical Sciences, Professor; Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Дата поступления в редакцию — 27.04.2021 г.

В подшипниковых узлах достаточно широко используются пары скольжения (подшипники скольжения, направляющие, втулки), что позволяет повысить жесткость узлов, уменьшить их габаритные размеры, улучшить теплоотвод и обеспечить снижение шума и вибраций. Однако при использовании пар трения скольжения часто возникают более высокие, по сравнению с подшипниками качения, потери на трение, повышается вероятность заедания трущихся поверхностей. Устранение этих проблем крайне существенно при применении подшипников скольжения в прецизионном оборудовании и мехатронных системах.

Целью работы является разработка методических подходов к рациональному конструированию, а также изготовлению пар трения скольжения из композиционных антифрикционных материалов, модифицированных наноструктурными материалами, и используемых в прецизионных узлах трения. Диаметры подшипников скольжения могут быть достаточно большими, что позволяет достигнуть требуемую высокую точность механической обработки и нанометрическую шероховатость обрабатываемой поверхности. Показано, что приемлемые с позиций качества обработки алмазоподобным инструментом скорости резания (750 м/мин и более) могут быть достигнуты при размещении режущей кромки инструмента на диаметре 200 мм, что позволяет использовать в конструкции узла трения смазываемые подшипники скольжения, содержащие наноразмерные частицы. Вследствие этого комплексно решаются две задачи: достигается необходимая для сверхвысокой точности механической лезвийной обработки жесткость шпинделя; обеспечивается высокая плавность работы, позволяющая достичь нанометрическую шероховатость поверхности при снижении макроотклонений до 1 мкм от средней линии поверхности, что в совокупности чрезвычайно важно для ряда специальных применений.

Sliding pairs (sliding bearings, guides, and bushings) are widely used in bearing units resulting in the increase of the unit's rigidity, reduction of their overall dimensions, improvement of heat dissipation and reduction of noise and vibration. However, there are often higher friction losses in sliding friction pairs compared to rolling bearings, and the probability of jamming of the rubbing surfaces increases. The elimination of these problems is extremely important for the application of plain bearings in precision equipment and mechatronic systems.

Therefore, the aim of this work is to develop methodological approaches to rational design and manufacturing of sliding friction pairs from composite antifricition materials modified with nanostructured materials aiming the usage in precision friction units. The diameters of sliding bearings can be large enough to achieve the required high precision of machining and nanometric roughness of the surface to be processed. It is shown that acceptable cutting speeds (750 m/min or more) from the point of view of the quality of processing with a diamond-like tool can be achieved when the cutting edge of the tool is placed on a diameter of 200 mm. This size allows the use of lubricated sliding bearings containing nanoscale particles in the design of the friction unit. As a result, two tasks are solved in a complex way. Firstly, the rigidity of the spindle required for ultra-high precision of mechanical blade processing is achieved. Secondly, high smoothness of operation is provided, which allows achieving nanometric surface roughness while reducing macro-deviations up to 1 μm from the midline of the surface. This together is extremely important for a number of special applications.

Ключевые слова: композиционный материал, пара трения, трение скольжения, мехатронная система, прецизионная обработка, наноструктурированные материалы.

Keywords: composite material, friction pair, sliding friction, mechatronic system, precision processing, nanostructured materials.

Введение.

В машиностроении в подвижных соединениях используются различные типы подшипниковых узлов, к наиболее простым и экономически целесообразным из которых можно отнести подшипники качения и скольжения. При этом, несмотря на более высокий комплекс служебных свойств у пар трения качения по КПД и ресурсу, в отдельных узлах достаточно широко используются пары трения скольжения (подшипники скольжения, направляющие, втулки) [1–11]. Это позволяет повысить жесткость узлов, уменьшить их габаритные размеры, улучшить теплоотвод и обеспечить снижение шума и вибраций. Однако в ряде случаев при использовании пар трения скольжения возникают более высокие, по сравнению с подшипниками качения, потери на трение, повышается вероятность возникновения ситуаций, при которых возникает заедание трущихся поверхностей. В первую очередь, эти проблемы имеют существенное значение при применении подшипников скольжения в прецизионном оборудовании, которое функционирует при стабилизированных по температуре и влажности внешних условиях. Сюда же можно отнести и мехатронные системы. Например, устранение указанных выше недостатков подшипников скольжения важно для вертикальных высокоскоростных прецизионных электрошпинделей, к которым предъявляются высокие

требования к жесткости, что обусловлено их применением для механической обработки в точном электронном машиностроении.

В ряде случаев обеспечение высокой жесткости может быть достигнуто применением подшипников скольжения с композиционными антифрикционными покрытиями, в частности, за счет использования в них наноматериалов. Наночастицы могут применяться либо в составе твердых смазок, либо в антифрикционных покрытиях. Применение наночастиц позволило существенно снизить объемный износ поверхностей трения [4–6, 9, 11].

Поэтому целью работы является разработка методических подходов к рациональному конструированию и изготовлению пар трения скольжения, используемых в прецизионных узлах трения для скоростной механической обработки, на основе применения покрытий из композиционных антифрикционных материалов, модифицированных наноструктурированными материалами.

Разработка методических подходов.

Применительно к точному электронному машиностроению скорость механической лезвийной обработки определяется двумя факторами: частотой вращения электрошпинделя и радиусом расположения режущей кромки.

При скоростях вращения 10–18 об⁻¹ и высоких требованиях к жесткости подшипникового узла и плавности его функционирования практически к безальтернативному варианту исполнения подшипниковых узлов можно отнести использование подшипников скольжения с композиционными антифрикционными покрытиями, работающих при линейных скоростях скольжения 8–10 м/с.

Некоторые моменты к созданию покрытий для высокоскоростных подшипников скольжения рассматривались ранее [7], однако ряд вопросов требует более детального рассмотрения. В парах трения скольжения на основе современных, в том числе наноструктурированных,

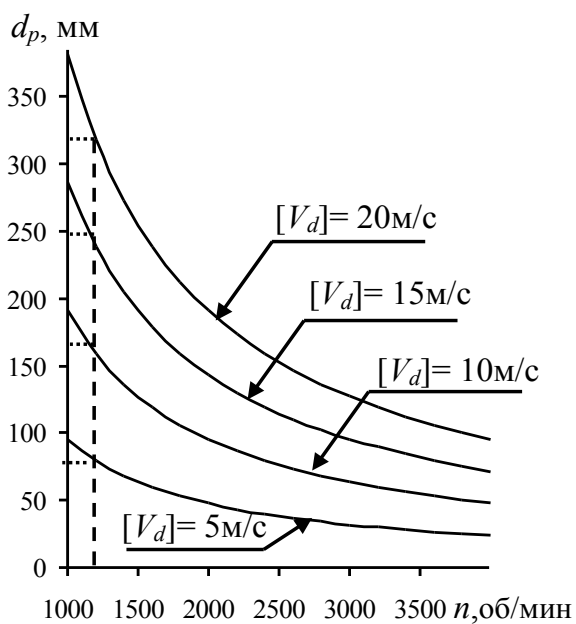


Рис. 1. Зависимость диаметра d_p подшипника скольжения от частоты вращения вала для различной допустимой линейной скорости скольжения $[V_d]$

композиционных материалов скорости скольжения и давления при смазке могут достигать 20 м/с и 6–8 МПа соответственно при коэффициенте трения равным 0,004–0,006. С учетом этого диаметры подшипников скольжения могут быть достаточно большими (рис. 1), что позволяет достигнуть требуемой сверхвысокой точности механической обработки и нанометрическую шероховатость обрабатываемой поверхности. Например, диаметры подшипников скольжения при использовании даже традиционных композитов типа бронзографита или железографита при допустимых скоростях скольжения (8–10 м/с) могут составлять вполне приемлемую величину (140–170 мм) с учетом крайне небольших удельных давлений, характерных для чистовой обработки алмазоподобным инструментом.

Значительный интерес представляет использование алюминиевых сплавов при изготовлении электрошпинделей с позиций улучшения их динамических свойств, включая

повышение собственных частот механических колебаний для предотвращения резонансов, и теплообмена при работе электрошпинделя с принудительным охлаждением его основных компонентов. Это позволяет минимизировать, по сравнению со стальным шпинделем, массу вала и улучшить теплообмен при его охлаждении. Рабочие поверхности подшипников скольжения при этом могут быть выполнены непосредственно на валу электрошпинделя, а для повышения износостойкости узла трения на валу можно сформировать композиционные антифрикционные покрытия, содержащие наноразмерные компоненты, тем более что имеются примеры успешного применения подшипников скольжения на основе алюминиевого сплава [6].

Известны способы создания антифрикционных покрытий различными методами, включая вакуумное напыление или золь-гельную технологию. В целом при реализации вакуумного напыления толщина покрытия, как правило, незначительна (не превышает 0,01 толщины керамического элемента), а это может приводить к «продавливанию» слоя при значительных давлениях [6, 8, 9].

Поэтому была предложена методология создания достаточно толстых антифрикционных покрытий на алюминиевых деталях. Для проведения исследований была предложена базовая технологическая схема, в рамках которой изготавливались образцы в виде диска из сплава алюминия, на которых анодно-катодной микродуговой обработкой формировалось МДО-покрытие толщиной 90–110 мкм, служащее в последующем в качестве подложки. Такая толщина МДО-покрытия исключает «продавливание» опорной поверхности и возникновение заедания при попадании абразивных частиц.

Анализ показал, что для МДО-покрытия, имеющего близкий к технической керамике состав, характерно наличие существенно большей, по сравнению с традиционной прессованной керамикой, макро- и микропористости, причем эта микропористость неравномерно распределена по толщине МДО-покрытия. В прилегающем к границе с основой слое могут быть и значительные по объему макропоры, которые способствуют отслоению МДО-покрытия от основы при растяжении, сжатии, изгибе, а также в ряде случаев по истечении определенного времени вследствие внутренних напряжений на границе МДО-покрытия и основы даже при отсутствии внешних нагрузок.

Необходимо отметить наличие развитой топографии поверхности МДО-покрытия, а также трещин на границе перехода от МДО-покрытия к материалу основы. Развитая топография поверхности будет способствовать повышению адгезии с ней плакирующего покрытия из антифрикционного материала. Однако наличие трещин на границе слоев может оказывать существенное влияние на снижение усталостных свойств деталей при циклическом нагружении. Для удаления наружного дефектного слоя покрытие подвергалось механическому снятию слоя толщиной около 20 мкм.

Неоднородность структуры и наличие пор и трещин приводит к тому, что даже после суперфинишной механической обработки полированием (рис. 2, а) топография поверхности МДО-покрытия остается шероховатой (рис. 2, б). С одной стороны, полирование снижает суммарную площадь точечных контактов при трении и существенно ограничивает возможности обеспечения наиболее рациональной с позиций износа толщины масляной пленки. С другой стороны, наличие шероховатости способствует лучшему удержанию поверхностью МДО-покрытия смазочного материала.

Структурно-фазовый анализ показывает наличие в составе МДО-покрытия фаз $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, существенно отличающихся по свойствам, а также сплава алюминия основы, что может оказывать определенное влияние на механические свойства детали.

Для повышения антифрикционных свойств керамического покрытия (основной компонент покрытия — это керамика Al_2O_3) целесообразно ввести дополнительно в поверхность-

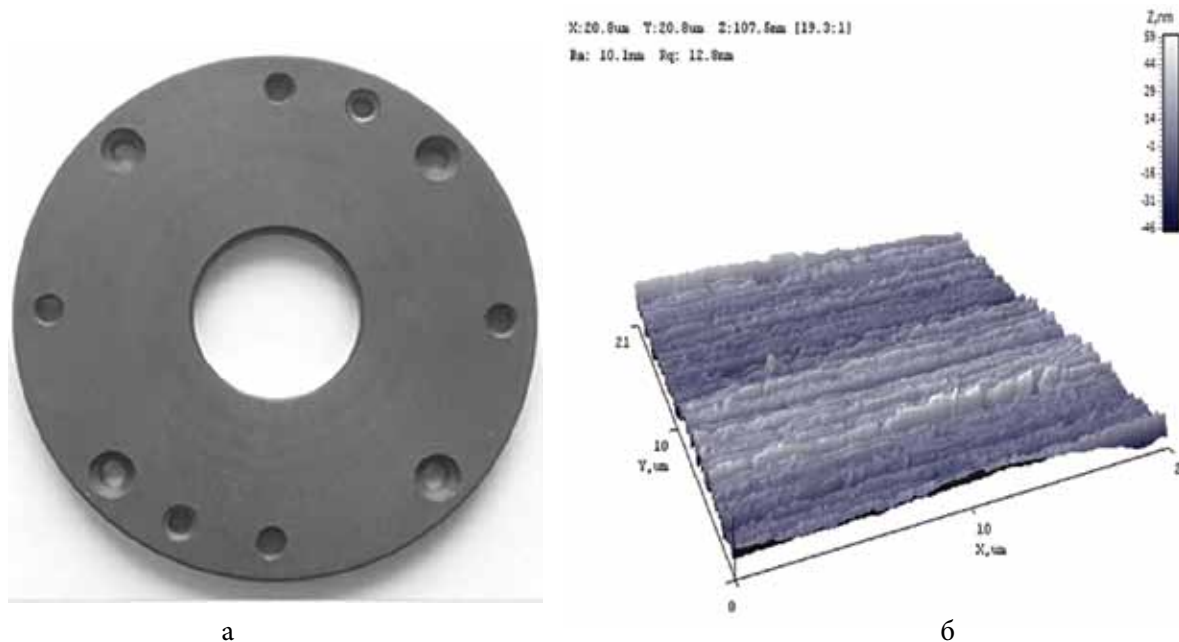


Рис. 2. Образец с механически обработанной поверхностью МДО-покрытия (а) и топография этой поверхности (б)

ный слой антифрикционный материал. Таким материалом может быть наноструктурированная медь или ее сплавы. Существуют различные методы нанесения антифрикционных наноструктурированных покрытий на основе медных сплавов на керамику.

Нами было предложено наносить наноструктурированное покрытие на основе медных сплавов методом плакирования гибким инструментом с последующим воздействием лазерного луча. Поскольку медь и ее сплавы характеризуются высокой отражательной способностью, то на плакированный слой был нанесен слой светопоглощающего материала в виде полос (рис. 3, а), содержащий наночастицы, для исследования целесообразности и эффективности их нанесения при различных режимах лазерного воздействия (рис. 3, б).

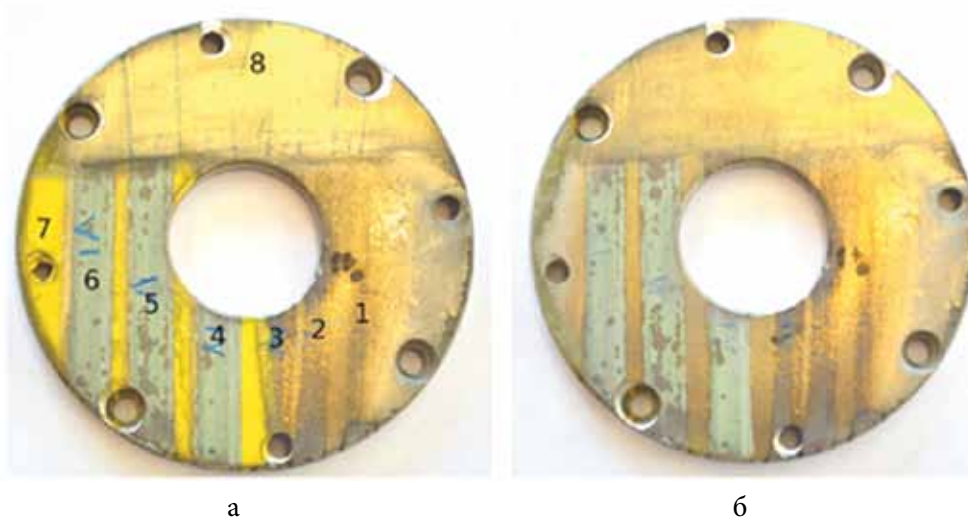


Рис. 3. Образец, плакированный антифрикционным сплавом со светопоглощающим покрытием (а) и оплавленный лазерной обработкой (б)

При правильном подборе материала светопоглощающего покрытия возможно обеспечить не только лучшее поглощение энергии лазерного луча, но и осуществить модифицирование, в том числе наночастицами, материала антифрикционного плакирующего покрытия. В ходе экспериментов изменялся диаметр лазерного пучка, который составлял 5, 10 и 15 мм, что при постоянной мощности излучения позволило менять плотность энергии и оценить ее влияние на качество и состав покрытия после обработки. Обработка плакированной поверхности проводилась как с нанесенным светопоглощающим покрытием, так и без него, что позволило оценить влияние светопоглощающего покрытия на структуру всего композиционного покрытия. Анализ результатов использования нанесенного на поверхность плакирующего МДО-покрытие антифрикционного материала светопоглощающего покрытия, содержащего наноразмерные частицы, показал, что в этом случае существенно повышается эффективность последующей лазерной обработки.

Оценка возможности, условий и режимов реализации, принятой в качестве базовой схемы формирования композиционного покрытия с учетом особенностей МДО-покрытий при их плакировании и последующем лазерным оплавлением антифрикционного материала на основе наноструктурированной меди подтвердила ее перспективность. При этом решающее значение имеет выбор рациональных толщин МДО-покрытия и плакирующего его поверхность слоя антифрикционного материала, а также режимов лазерного оплавления этого материала без расплавления прилегающего к МДО-покрытию материала основы.

К одному из перспективных путей формирования таких покрытий можно отнести реализацию следующей технологической схемы:

- формирование в качестве подложки на рабочих поверхностях пар трения скольжения методом анодно-катодной микродуговой обработки (МДО) покрытия толщиной 90–110 мкм, которое исключит «продавливание» опорной поверхности и возникновение заедания при попадании абразивных частиц с последующим удалением дефектного слоя;
- поверхностное плакирование МДО-покрытия антифрикционным материалом, например наноструктурированным композитом на основе медного сплава;
- для обеспечения высоких адгезионных свойств антифрикционного плакирующего слоя на поверхности МДО-покрытия целесообразно формирование на поверхности МДО-покрытия наноразмерного слоя из материала, заполняющего в процессе его нанесения впадины, поры и трещины на его поверхности (например, медного слоя, наносимого электронно-лучевой или лазерной обработкой) для обеспечения высоких адгезионных свойств антифрикционного покрытия.

Предварительные испытания показали перспективность предлагаемой технологии изготовления электрошпинделей для прецизионной обработки.

Выводы.

Анализ результатов исследований показал перспективность использования комбинированных технологий формирования покрытий на деталях из алюминиевых сплавов. Технология создания подшипника скольжения включает формирование покрытия анодно-катодной микродуговой обработкой, нанесение на МДО-покрытие слоя антифрикционного материала на основе медного сплава плакировкой и слоя светопоглощающего материала с последующим лазерным оплавлением. Путем подбора материала светопоглощающего покрытия в процессе лазерной обработки может быть осуществлено модифицирование антифрикционного материала, в том числе наночастицами. Преимуществом предлагаемой технологии является то, что непосредственно на валу могут быть созданы рабочие поверхности подшипников качения с композитом на основе МДО-покрытия, плакированного наноструктурированным

антифрикционным слоем на основе меди. Как результат, возможно создание прецизионного узла трения с качественно новым комплексом служебных свойств, включая динамические и жесткостные характеристики.

Литература:

1. Подшипники скольжения. Меньше трение, выше ресурс. — INNA FAG, 2008. — 14 с.
2. Сигитов, Е. А. Перспективы применения многоступенчатых фрикционных передач для сверхпрецизионной обработки / Е. А. Сигитов, М. В. Виноградов // Вестник СГТУ. — 2011. — № 2(56). — Вып. 2. — С. 144–150.
3. Черногоров, Е. Подшипники скольжения / Е. Черногоров. — Челябинск: Россия, 2013. — 10 с.
4. Wisniewska-Weinert, H. Sintered Steels and Bronzes Modified with MoS₂ Nanoparticles: Sliding Bearings Development and Applications [Electronic resource] / H. Wisniewska-Weinert, V.Leshchynsky. — Mode of access: <https://www.epma.com/publications/euro-pm-proceedings/product/ep14087>. — Date of access: 16.08.2020.
5. Nanocomposite sliding bearings for aircraft air bleed valves [Electronic resource]. — Mode of access: <https://cordis.europa.eu/project/id/INTAS2004-80-7362>. — Date of access: 16.08.2020.
6. Kumar, A. John Presin. Sliding Wear Analysis on A390 Aluminium Nanocoated with Sol-Gel-Synthesized Particles for Bearing [Electronic resource] / Kumar A. John Presin, Singh D. Kingsly Jeba // International Journal of Green Nanotechnology: Materials Science & Engineering. — 2010. — 1:2. — Mode of access: M81-M88, DOI: 10.1080/19430840903430352. — Date of access: 16.08.2020.
7. Kalinichenko, A. S. Some specific features of bearing units development based on sliding friction pairs for precision electrospindles / A. S. Kalinichenko, V. L.Basiniuk, E. I. Mardasevich // Наука и техника. — 2019. — Т. 18. — № 3. — С. 195–199.
8. Доценко, В. Н. Вопросы исследования керамических и гибридных подшипников качения и их применение в авиационных двигателях / В. Н. Доценко, С. В. Никитин // Авиационно-космическая техника и технология. — 2008. — № 8(55). — С. 138–144.
9. Загашвили, Ю. В. Производство изделий из современных композиционных материалов, модифицированных наноразмерными компонентами / Ю. В. Загашвили, В. И. Кулик, А. С. Орыщенко // Инновации. — 2007. — № 12(110). — С. 94–98.
10. Исаева, Е. А. Создание компенсаторов термических напряжений для перспективного авиационного ГТД методами порошковой металлургии / Е. А. Исаева, С. А. Перевоин, Д. А. Исаев // Известия МГТУ МАМИ. — 2013. — Т. 2. — № 2(16). — С. 331–336.
11. Панов, А. Д. Трибологические особенности конструкционных керамических материалов в подшипниках скольжения [Электронный ресурс] / А. Д. Панов, И. М. Панова // Науковедение. — 2015. — Т. 7. — № 1. — С. 1–9. — Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-1-technics>. — Дата доступа 22.01.2019.

УДК 004.932.72

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЧНЫХ ПИКСЕЛЕЙ ПОЛУТОНОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ ОПЕРАЦИИ ДВУМЕРНОЙ СВЕРТКИ

ANALYSIS OF METHODS AND ALGORITHMS FOR DETERMINING BOUNDARY PIXELS OF A HALF-TONE IMAGE IN A TWO-DIMENSIONAL CONVERSION OPERATION

Д. В. Заерко,

аспирант кафедры «Информатика» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

В. А. Липницкий,

профессор кафедры «Информатика» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, доктор технических наук, г. Минск, Республика Беларусь

D. Zaerko,

PhD Student of the Informatics Department, Belarusian State University of Informatics and Radio electronics, Minsk, Republic of Belarus

V. Lipnitski,

Professor of the Informatics Department, Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics, PhD in Engineering, Minsk, Republic of Belarus

Дата поступления в редакцию — 01.04.2021 г.

Широко известные методы устранения цифрового шума на растровых полутоновых изображениях основаны на использовании операции двумерной свертки. Однако сам алгоритм двумерной свертки обладает особенностью на краях изображения: требуется дополнительный набор пикселей, выходящий за границы первоначальной пиксельной матрицы кодов. Один из возможных вариантов решения этой проблемы, интегрированный в алгоритм двумерной свертки, — весовой метод определения граничных пикселей. В статье рассматриваются альтернативные к весовому методы. Проводится сравнительный анализ дисперсий кодов полутонов пикселей для каждого из рассматриваемых методов. Объект исследования в статье — пиксельная матрица полутонового изображения. Предмет изучения — алгоритмы заполнения граничных пикселей близким кодом полутона при операции двумерной свертки. Основная цель — сравнительный анализ алгоритмов заполнения кодов полутона для граничных пикселей растрового изображения в операции двумерной свертки, по критерию дисперсии кодов. Для анализа предложены методы: среднеарифметический, среднеарифметический взвешенный, мода, дублирования близлежащего кода полутона. Сформулированы рекомендации по анализу дисперсий в условиях ограниченного числа оценочных пикселей, по выбору лучшего из рассмотренных методов.

Operation of two-dimensional conversion is well-known surround methods of digital noise filtration in half-tone images. However, algorithm of two-dimensional conversion have feature on border of image: algorithm mast have addition set of pixels which out of border origin plutonic pixels matrix. One of solution variance that problem use special included algorithm in two-dimensional conversion — weight method of determining boundary pixels. In articles reviewed alternative methods for weight method. A comparative analysis of the variances of the pixel halftone codes is carried out for each methods. The object of research is pixel matrix half-tone images. The subject of research is algorithm of filled boundary pixels similar code halftone by two-dimensional conversion operation. The main target is comparative analysis of algorithms for filling halftone codes for boundary pixels of bitmap for two-dimensional conversion operation by dispersion value. The analysed methods are simple arithmetic mean, arithmetic weighted, mode, duplication of nearby semitone codehalftone. Article is described recommendations for choosing the best method and analyzing variances in conditions of a limited number of estimated pixels.

Ключевые слова: Пиксельная матрица, дефекты цифрового изображения, подавление цифрового шума, операция двумерной свертки, шумофильтрация, граничные пиксели, полутоновые изображения, дисперсия, среднеарифметическое, среднеарифметическое взвешенное, мода.

Keywords: Pixel matrix, digital image defects, digital noise suppression, convolution, noise filtering, boundary pixels, half-tone image, dispersion, simple arithmetic mean, arithmetic weighted average, mode.

Введение.

В современных системах передачи информации часто задача экономии ресурсов достигается путем осознанного или неосознанного ухудшения качества передаваемых данных. В таких условиях процесс предварительной обработки призван устранить полученные дефекты, используя различные инструменты, например масочную фильтрацию.

Операция двумерной свертки [1, 2] широко распространена при выполнении различного рода фильтраций растровых изображений. Например, масочная фильтрация — один из наиболее часто используемых вариантов решения проблемы шумофильтрации и цифровых изображений [3, 4, 5, 6, 7]. Методы — линейное усреднение точек по соседям, гауссовское размытие, медианная фильтрация — основаны на алгоритме двумерной свертки. Однако, как и любой алгоритм, он сам имеет свои слабые и сильные стороны. Один из недостатков — необходимость дополнительно определять поведение алгоритма на граничных пикселях изображения [3, 8, 9]. Этой проблеме зачастую не уделяется должного внимания, и ее решение сводится к простому копированию кода полутона соседнего пикселя, «обнулению» кода и т. д. Данная проблема присутствует при работе со всеми растровыми изображениями: как при

одноканальной передаче (полутоновые), так и для многоканальной (RGB) передаче цифровых изображений [10].

На практике подобное тривиальное решение ведет к существенным цветовым искажениям на границах изображения. Оно будет передаваться «по цепочке» при каждом шаге прохождения ядра свертки и увеличиваться, учитывая другие искаженные пиксели. Кроме того, при повторном применении операции двумерной свертки искажение может затрагивать уже пиксели, находящиеся вне границ. Ситуация особенно заметна на изображениях малой размерности.

Возникает вопрос: какой метод заполнения граничных пикселей выбрать для наиболее корректной работы операции двумерной свертки? Решать данный вопрос нужно, желательнее учитывая наличие ограниченных ресурсов системы, влияющее на выбор числа анализируемых кодов полутонов и возможное наличие искаженных кодов полутонов для отдельных пикселей.

Сравнительный анализ методов.

Ранее в публикациях [8, 9] был описан алгоритм определения кодов полутонов граничных пикселей при работе двумерной свертки. В этих работах был описан алгоритм весового определения верного полутона пикселя среди t^2 анализируемых. Величина t , как правило, выбирается произвольно или исходя из ресурсных возможностей системы, однако наилучшие результаты на практике были показаны при $t = 3$. Один из аспектов описанного весового метода — выбор верного кода полутона (или триплета) при заполнении граничного пикселя. Под верным кодом полутона пикселя имелся в виду код, наиболее близкий по значению со смежными t^2 пикселями. Огромное влияние также имеет не только число анализируемых кодов полутонов пикселей, но и сам алгоритм выбора. Ранее был продемонстрирован выбор кода полутона, исходя из максимальной частоты встречаемости этого кода среди t^2 пикселей (мода). Было замечено, что результат был лучше, чем при вычислении среднеарифметического значения полутона, и предлагалось использование весового метода (мода).

Далее попробуем провести сравнение методов для поиска наилучшего и определить, чем же они отличаются и каковы слабые и сильные стороны использования того или иного метода вычисления кода полутона пикселя. При работе с реальными изображениями и анализе их граничных пикселей ответ на этот вопрос не очевиден и требует исследований. Например, среднеарифметический подсчет даст усредненное значение, которое будет практически всегда выделяться среди смежных пикселей по столбцу (если только не все пиксели будут иметь один код) и значение будет очень чувствительным к отдельным значениям в анализируемом множестве. Такие отдельные значения не редкость при дефектах передачи.

Проведем сравнение методов и оценим их с точки зрения изменения кодов полутонов к смежным трем значениям в ближайшем столбце, через дисперсию и исходя из работы алгоритма.

Опишем подробнее идею сравнения кодов полутонов пикселей по шагам.

1. Проведем вычисления значений кода граничного пикселя, используя различные алгоритмы вычисления среднего (мода, среднее арифметическое, средне взвешенное, копия последнего существующего пикселя из смежного столбца по горизонтали).

2. Проведем вычисление дисперсии ряда пикселей из t ближайших смежных значений. Анализируемые значения должны быть близки к вычисляемому пикселю, т. к. даже незначительное изменение их дисперсии явно будет свидетельствовать об изменении полутонов для человеческого глаза.

3. Проведем вычисление дисперсии ряда пикселей, состоящих из t ближайших смежных значений и $(t + 1)$ -го значения, вычисленного на шаге 1.

4. Сравним дисперсии шага 2 и 3. Оценим, насколько влияет добавление нового значения на изменение дисперсии. Разница значений дисперсии будет характеризовать насколько получаются близкие значения по полутонам к смежным пикселям.

5. Сравним математические ожидания от разницы дисперсий для каждого из алгоритмов вычисления среднего (мода, среднее арифметическое, среднее взвешенное, копия последнего существующего пикселя из смежного пикселя по горизонтали).

6. Опираясь на значения дисперсий для каждого метода, сделаем выбор лучшего алгоритма для заполнения граничных пикселей.

Для оценки выбора того или иного метода расчета проведем 20 тестовых вычислений значений средних по каждому из 4 алгоритмов. Представим краткие сведения и основные формулы по каждому из методов вычисления среднего [11].

Средняя арифметическая простая. В нашем случае матричного представления пикселей, с учетом величины $t \geq 3$, вычисляется по формуле:

$$a_{ms}^+ = \frac{\sum_{i,j} a_{i,j}^+}{t^2}.$$

Оценка среднеарифметическим методом возможна, исходя из сгруппированности данных. Группировка, очевидно, осуществляется по величине $t \geq 3$.

Среднеарифметическая взвешенная. При расчете средних величин отдельные значения усредняемого признака могут дублироваться. В таких случаях расчет средней величины по сгруппированным данным или вариационным рядам.

Такого рода оценка так же вероятна, т. к. для оценки граничного пикселя используется матрица смежных пикселей и на практике имеет место дублирование кодов полутонов пикселей.

Мода a_{mode}^+ как структурная оценка среднего успешно использована выше. Ее применение обусловлено практическим использованием матриц смежных пикселей: частое дублирование одинаковых полутонов при небольших значениях t . Формулы, приведенные в [9], фактически описывают вычисление моды через *относительные накопленные частоты*. В их повторном описании нет смысла. В качестве нейтрального теста также откажемся от сложных вычислений и продублируем крайний смежный существующий пиксель изображения a_{copy}^+ . Такой вариант часто используется на практике.

В качестве тестового изображения используем полутоновую модель изображения на рисунке.



Полутоновое изображение

Полутоновая модель рассматривается в качестве простейшей, однако аналогичное исследование можно провести и для более сложных моделей, например для RGB и т. д. Ограничим *глубину оценки граничного пикселя* величиной $t = 3$ и оценим по пяти группам граничных пикселей с каждой из сторон изображения. При получении дробных значений округление будет производиться в большую сторону.

Полученные результаты по каждому из методов вычисления среднего представим в табл. 1–4 и введем обозначения при оценке среднего: по среднему арифметическому методу (ms), среднеарифметическому взвешенному (mw), моде ($mode$), простом дублировании полутона пикселя ($copy$).

$A^+ = \{a_{i,j}^+\}_{t \times t}$ — матрица для оценки граничного пикселя при $t = 3$.

$D_{ms}^{before}(9)$ — дисперсия до включения граничного пикселя при $t = 3$.

$D_{ms}^{after}(9)$ — дисперсия после включения граничного пикселя при $t = 3$.

$\Delta_{ms}(9)$ — разница дисперсий $D_{ms}^{before}(9)$ и $D_{ms}^{after}(9)$ при $t = 3$.

$D_{ms}^{before}(3)$ — дисперсия по смежным пикселям (по трем) к граничному до включения граничного пикселя.

$D_{ms}^{after}(3)$ — дисперсия по смежным пикселям (по трем) к граничному после включения граничного пикселя.

$\Delta_{ms}(3)$ — разница дисперсий $D_{ms}^{before}(3)$ и $D_{ms}^{after}(3)$.

Предварительно представим группы матричных элементов, используемых для анализа граничного элемента: $A^+ = A_1^+, A_2^+, \dots, A_{20}^+$.

$$\begin{aligned}
 A_1^+ &= \begin{pmatrix} 246 & 246 & 246 \\ 246 & 246 & 246 \\ 246 & 246 & 246 \end{pmatrix}, A_2^+ = \begin{pmatrix} 245 & 240 & 240 \\ 246 & 249 & 249 \\ 251 & 245 & 238 \end{pmatrix}, A_3^+ = \begin{pmatrix} 247 & 231 & 240 \\ 234 & 251 & 240 \\ 244 & 250 & 239 \end{pmatrix}, A_4^+ = \begin{pmatrix} 245 & 250 & 248 \\ 241 & 248 & 251 \\ 245 & 242 & 245 \end{pmatrix}, \\
 A_5^+ &= \begin{pmatrix} 240 & 253 & 235 \\ 243 & 253 & 237 \\ 244 & 239 & 247 \end{pmatrix}, A_6^+ = \begin{pmatrix} 246 & 246 & 246 \\ 246 & 246 & 246 \\ 246 & 246 & 246 \end{pmatrix}, A_7^+ = \begin{pmatrix} 247 & 241 & 247 \\ 244 & 243 & 249 \\ 246 & 249 & 245 \end{pmatrix}, A_8^+ = \begin{pmatrix} 254 & 240 & 226 \\ 248 & 238 & 254 \\ 242 & 245 & 246 \end{pmatrix}, \\
 A_9^+ &= \begin{pmatrix} 240 & 240 & 238 \\ 250 & 250 & 248 \\ 243 & 242 & 242 \end{pmatrix}, A_{10}^+ = \begin{pmatrix} 234 & 235 & 237 \\ 245 & 246 & 248 \\ 247 & 248 & 248 \end{pmatrix}, A_{11}^+ = \begin{pmatrix} 208 & 230 & 246 \\ 219 & 238 & 249 \\ 236 & 244 & 249 \end{pmatrix}, A_{12}^+ = \begin{pmatrix} 203 & 221 & 246 \\ 203 & 222 & 247 \\ 207 & 227 & 244 \end{pmatrix}, \\
 A_{13}^+ &= \begin{pmatrix} 191 & 212 & 244 \\ 190 & 212 & 246 \\ 189 & 213 & 247 \end{pmatrix}, A_{14}^+ = \begin{pmatrix} 201 & 220 & 248 \\ 202 & 221 & 249 \\ 201 & 220 & 248 \end{pmatrix}, A_{15}^+ = \begin{pmatrix} 198 & 211 & 246 \\ 197 & 210 & 245 \\ 198 & 215 & 246 \end{pmatrix}, A_{16}^+ = \begin{pmatrix} 247 & 246 & 246 \\ 249 & 249 & 246 \\ 242 & 243 & 246 \end{pmatrix}, \\
 A_{17}^+ &= \begin{pmatrix} 246 & 245 & 241 \\ 240 & 242 & 252 \\ 252 & 252 & 241 \end{pmatrix}, A_{18}^+ = \begin{pmatrix} 246 & 246 & 246 \\ 246 & 246 & 246 \\ 246 & 246 & 246 \end{pmatrix}, A_{19}^+ = \begin{pmatrix} 238 & 244 & 243 \\ 249 & 231 & 250 \\ 196 & 208 & 239 \end{pmatrix}, A_{20}^+ = \begin{pmatrix} 241 & 242 & 249 \\ 252 & 239 & 240 \\ 241 & 195 & 179 \end{pmatrix}.
 \end{aligned}$$

Таблица 1

Результаты вычислений среднего по алгоритму простого среднего арифметического

| A^+ | $\overline{a_{ms}^+}$ | $D_{ms}^{before}(9)$ | $D_{ms}^{after}(9)$ | $\Delta_{ms}(9)$ | $D_{ms}^{before}(3)$ | $D_{ms}^{after}(3)$ | $\Delta_{ms}(3)$ |
|---------|-----------------------|----------------------|---------------------|------------------|----------------------|---------------------|------------------|
| A_1^+ | 246 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A_2^+ | 245 | 20,94 | 18,62 | -2,32 | 10,33 | 8,25 | -2,08 |
| A_3^+ | 242 | 46,94 | 41,73 | -5,21 | 46,33 | 30,91 | -15,41 |
| A_4^+ | 246 | 11,61 | 10,32 | -1,28 | 5,33 | 4,91 | -0,41 |
| A_5^+ | 243 | 42,52 | 37,82 | -4,70 | 4,33 | 3 | -1,33 |
| A_6^+ | 246 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A_7^+ | 246 | 7,25 | 6,45 | -0,79 | 4,33 | 3 | -1,33 |

| A^+ | $\overline{a_{ms}^+}$ | $D_{ms}^{before} (9)$ | $D_{ms}^{after} (9)$ | $\Delta_{ms} (9)$ | $D_{ms}^{before} (3)$ | $D_{ms}^{after} (3)$ | $\Delta_{ms} (3)$ |
|------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|
| A_8^+ | 244 | 75 | 66,57 | -8,32 | 4,33 | 2,91 | -1,42 |
| A_9^+ | 244 | 20,5 | 18,23 | -2,26 | 0,33 | 0,92 | 0,58 |
| A_{10}^+ | 243 | 35,61 | 31,65 | -3,95 | 0,33 | 5,67 | 5,33 |
| A_{11}^+ | 235 | 201,52 | 179,15 | -22,37 | 3 | 44,25 | 41,25 |
| A_{12}^+ | 224 | 325,52 | 289,37 | -36,15 | 2,33 | 118,92 | 116,58 |
| A_{13}^+ | 215 | 665,61 | 591,65 | -73,95 | 2,33 | 236,66 | 234,44 |
| A_{14}^+ | 223 | 419,5 | 372,9 | -46,60 | 0,33 | 160,67 | 160,33 |
| A_{15}^+ | 218 | 457,27 | 406,48 | -50,80 | 0,33 | 191,58 | 191,25 |
| A_{16}^+ | 246 | 5,5 | 4,88 | -0,61 | 0,33 | 0,25 | -0,08 |
| A_{17}^+ | 246 | 26,25 | 23,34 | -2,90 | 7 | 5,67 | -1,33 |
| A_{18}^+ | 246 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A_{19}^+ | 234 | 362,77 | 322,48 | -40,29 | 10,33 | 21,58 | 11,25 |
| A_{20}^+ | 231 | 653,86 | 581,21 | -72,65 | 19 | 54,91 | 35,92 |

Из значений в столбце $\Delta_{ms} (9)$ (разности) можно судить об общем тренде на уменьшение дисперсии, это является хорошим результатом. Среднее уменьшение дисперсии при вычислении значения полутона пикселя по алгоритму среднего арифметического составляет: $\Delta_{ms} (9) \approx -18,75$. По трем смежным значениям ситуация иная $\Delta_{ms} (3) \approx 38,67$. Однако, сравнивая значения полутонов непосредственно смежных пикселей, примыкающих к вычисленному, заметна разница полутонов (10–12 тонов).

Таблица 2

Результаты вычислений среднего по алгоритму взвешенного среднего арифметического

| A^+ | $\overline{a_{mw}^+}$ | $D_{mw}^{before} (9)$ | $D_{mw}^{after} (9)$ | $\Delta_{mw} (9)$ | $D_{mw}^{before} (3)$ | $D_{mw}^{after} (3)$ | $\Delta_{ms} (3)$ |
|---------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|
| A_1^+ | 246 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A_2^+ | 246 | 20,94 | 18,62 | -2,32 | 10,33 | 8,25 | -2,08 |
| A_3^+ | 241 | 46,94 | 41,89 | -5,15 | 46,33 | 31 | -15,33 |
| A_4^+ | 246 | 11,61 | 10,32 | -1,29 | 5,33 | 4,92 | -0,42 |
| A_5^+ | 245 | 42,52 | 38,04 | -4,48 | 4,33 | 4,67 | 0,33 |
| A_6^+ | 246 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A_7^+ | 246 | 7,25 | 6,45 | -0,79 | 4,33 | 3 | -1,33 |
| A_8^+ | 246 | 75 | 67,21 | -7,79 | 4,33 | 3,58 | -0,75 |
| A_9^+ | 244 | 20,5 | 18,23 | -2,27 | 0,33 | 0,91 | 0,58 |

| A^+ | $\overline{a_{mw}^+}$ | $D_{mw}^{before} (9)$ | $D_{mw}^{after} (9)$ | $\Delta_{mw} (9)$ | $D_{mw}^{before} (3)$ | $D_{mw}^{after} (3)$ | $\Delta_{ms} (3)$ |
|------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|
| A_{10}^+ | 245 | 35,61 | 32,01 | -3,6 | 0,33 | 2 | 1,67 |
| A_{11}^+ | 238 | 201,52 | 179,78 | -21,73 | 3 | 27 | 24 |
| A_{12}^+ | 221 | 325,52 | 290,54 | -34,98 | 2,33 | 153,67 | 151,33 |
| A_{13}^+ | 214 | 665,61 | 272,9 | -73,87 | 2,33 | 252,25 | 249,92 |
| A_{14}^+ | 223 | 419,5 | 372,9 | -46,6 | 0,33 | 160,67 | 160,33 |
| A_{15}^+ | 220 | 457,27 | 406,71 | -50,56 | 0,33 | 164,91 | 164,58 |
| A_{16}^+ | 246 | 5,5 | 4,88 | -0,61 | 0,33 | 0,25 | -0,08 |
| A_{17}^+ | 247 | 26,25 | 23,51 | -2,73 | 7 | 6,92 | -0,08 |
| A_{18}^+ | 246 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A_{19}^+ | 236 | 362,77 | 322,71 | -40,07 | 10,33 | 14,92 | 4,58 |
| A_{20}^+ | 233 | 653,86 | 581,65 | -72,20 | 19 | 42,91 | 23,92 |

Из значений в столбце $\Delta_{mw} (9)$ можно сделать вывод такой же, как и в предыдущем случае — об общем тренде на уменьшение дисперсии. Среднее уменьшение дисперсии при вычислении значения полутона пикселя по алгоритму среднего арифметического взвешенного составляет: $\Delta_{mw} (9) \approx -18,55$. По трем смежным значениям разнится: $\Delta_{mw} (3) \approx 38,05$.

Однако, сравнивая значения полутонов непосредственно смежных пикселей, примыкающих к вычисляемому, видим, что разница полутонов меньше, чем в первом случае.

Таблица 3

Результаты вычислений среднего по алгоритму моды

| A^+ | $\overline{a_{mode}^+}$ | $D_{mode}^{before} (9)$ | $D_{mode}^{after} (9)$ | $\Delta_{mode} (9)$ | $D_{mode}^{before} (3)$ | $D_{mode}^{after} (3)$ | $\Delta_{mode} (3)$ |
|------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| A_1^+ | 246 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A_2^+ | 245 | 20,94 | 18,62 | 2,32 | 10,33 | 8,25 | -2,08 |
| A_3^+ | 240 | 46,94 | 42,04 | 4,90 | 46,33 | 31,58 | -14,75 |
| A_4^+ | 245 | 11,61 | 10,44 | 1,17 | 5,33 | 4 | -1,33 |
| A_5^+ | 253 | 42,52 | 46,93 | -4,40 | 4,33 | 31,33 | 27 |
| A_6^+ | 246 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A_7^+ | 247 | 7,25 | 6,62 | 0,62 | 4,33 | 2,92 | -1,42 |
| A_8^+ | 254 | 75 | 77,34 | -2,34 | 4,33 | 26,25 | 21,92 |
| A_9^+ | 240 | 20,5 | 19,56 | 0,92 | 0,33 | 1,58 | 1,25 |
| A_{10}^+ | 248 | 35,61 | 34,04 | 1,57 | 0,33 | 0,25 | -0,75 |
| A_{11}^+ | 249 | 201,52 | 197,51 | 4,01 | 3 | 456,67 | 455,33 |
| A_{12}^+ | 203 | 325,52 | 335,34 | -9,81 | 2,33 | 284,92 | 282,58 |

| A^+ | $\overline{a_{mode}^+}$ | $D_{mode}^{before} (9)$ | $D_{mode}^{after} (9)$ | $\Delta_{mode} (9)$ | $D_{mode}^{before} (3)$ | $D_{mode}^{after} (3)$ | $\Delta_{mode} (3)$ |
|------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| A_{13}^+ | 212 | 665,61 | 592,50 | 73,12 | 2,33 | 560,33 | 560 |
| A_{14}^+ | 201 | 419,5 | 422,77 | -3,26 | 0,33 | 568,25 | 567,92 |
| A_{15}^+ | 198 | 457,27 | 448,27 | 9,01 | 0,33 | 0,25 | -0,08 |
| A_{16}^+ | 246 | 5,5 | 4,89 | 0,61 | 0,33 | 20,67 | 13,67 |
| A_{17}^+ | 252 | 26,25 | 27,34 | -1,09 | 7 | 0 | 0 |
| A_{18}^+ | 246 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7,33 | -3 |
| A_{19}^+ | 243 | 362,77 | 329,80 | 32,99 | 10,33 | 14,92 | -4,08 |
| A_{20}^+ | 241 | 653,86 | 591,43 | 62,42 | 19 | 14,92 | -4,08 |

По значениям в столбце $\Delta_{mode} (9)$ наблюдается тренд на значительное увеличение дисперсии. Среднее увеличение дисперсии при вычислении значения полутона пикселя по моде составляет: $\Delta_{mode} (9) \approx 8,63$. По трем смежным значениям: $\Delta_{mode} (3) \approx 95,05$.

Сравнивая значения полутонов непосредственно смежных пикселей, примыкающих к вычисляемому, заметна значительная разница полутонов.

Таблица 4

Результаты вычислений при копировании ближайшего смежного элемента по горизонтали (вертикали)

| A^+ | $\overline{a_{copy}^+}$ | $D_{copy}^{before} (9)$ | $D_{copy}^{after} (9)$ | $\Delta_{copy} (9)$ | $D_{copy}^{before} (3)$ | $D_{copy}^{after} (3)$ | $\Delta_{copy} (3)$ |
|------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| A_1^+ | 246 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A_2^+ | 246 | 20,94 | 18,76 | 2,18 | 10,33 | 7,33 | -3 |
| A_3^+ | 234 | 46,94 | 47,78 | -0,83 | 46,33 | 45,58 | -0,75 |
| A_4^+ | 241 | 11,61 | 12,93 | -1,32 | 5,33 | 5,33 | 0 |
| A_5^+ | 243 | 42,52 | 37,82 | 4,07 | 4,33 | 3 | -1,33 |
| A_6^+ | 246 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A_7^+ | 249 | 7,25 | 7,55 | -0,30 | 4,33 | 4,25 | -0,08 |
| A_8^+ | 245 | 75 | 66,84 | 8,15 | 4,33 | 3 | -1,33 |
| A_9^+ | 242 | 20,5 | 18,5 | 2 | 0,33 | 0,25 | -0,08 |
| A_{10}^+ | 248 | 35,61 | 34,04 | 1,57 | 0,33 | 0,25 | -0,08 |
| A_{11}^+ | 249 | 201,52 | 197,51 | 4,02 | 3 | 2,25 | -0,75 |
| A_{12}^+ | 247 | 325,52 | 340,23 | -14,70 | 2,33 | 2 | -0,33 |
| A_{13}^+ | 246 | 665,61 | 688,44 | -22,83 | 2,33 | 1,58 | -0,75 |
| A_{14}^+ | 249 | 419,5 | 438,77 | -19,27 | 0,33 | 0,33 | 0 |
| A_{15}^+ | 245 | 457,27 | 476,99 | -19,71 | 0,33 | 0,33 | 0 |
| A_{16}^+ | 246 | 5,5 | 4,89 | 0,61 | 0,33 | 0,25 | -0,08 |
| A_{17}^+ | 245 | 26,25 | 23,38 | 2,87 | 7 | 4,92 | -2,08 |

Окончание таблицы 4

| A^+ | \overline{a}_{copy}^+ | $D_{copy}^{before}(9)$ | $D_{copy}^{after}(9)$ | $\Delta_{copy}(9)$ | $D_{copy}^{before}(3)$ | $D_{copy}^{after}(3)$ | $\Delta_{copy}(3)$ |
|------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|
| A_{18}^+ | 246 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A_{19}^+ | 244 | 362,77 | 331,6 | 31,18 | 10,33 | 8,25 | -2,08 |
| A_{20}^+ | 242 | 653,86 | 593,55 | 60,30 | 19 | 13,66 | -5,33 |

Значения столбцов $\Delta_{copy}(9)$, $\Delta_{copy}(3)$ разнонаправлены. Общий тренд дисперсии не прослеживается. Среднее увеличение дисперсии при дублировании значения полутона с соседнего составляет: $\Delta_{copy}(9) \approx 1,93$. По трем смежным значениям: $\Delta_{copy}(3) \approx -0,9$.

Сравнивая значения полутонов непосредственно смежных пикселей, примыкающих к вычисляемому, заметна незначительная разница полутонов, меньшая, чем в остальных случаях.

Теперь проанализируем полученные результаты в целом относительно всех методов.

1. Полученные дисперсии $D^{before}(9)$, $D^{before}(3)$ или $D^{after}(9)$, $D^{after}(3)$ для одного и того же метода существенно отличаются как по общему тренду, так и по значениям. Это указывает на высокую изменчивость пиксельной матрицы, вызванную различными причинами, зачастую ошибочными значениями, существенно отличающимися от смежных (шумы). Однако, учитывая особенности человеческого зрения и большое число пикселей, человеческий глаз воспринимает не отдельные пиксели, а их совокупность, группу. Такая особенность позволяет пренебрегать ошибками полутонов отдельных пикселей, но тем не менее при наличии достаточно большого числа таких пикселей, это явно влияет на качество изображения. Подход, по которому для оценки граничного пикселя оценивается группа t^2 близлежащих полутонов пикселей, а не отдельные, близлежащие полутона можно считать более информативным и верным. Кроме того, оценка отдельных пикселей, а не групп, может быть ошибочна при выборе искаженного одиночного кода полутона пикселя. Следовательно, далее будем опираться больше на оценку дисперсии всей группы.

2. Оценивая дисперсии методов, видим, что наилучший результат ожидаемо получен при копировании соседнего кода полутона пикселя. Однако такой метод чувствителен к ошибочным значениям полутона пикселя (даже не значительным). В случае ошибки наблюдается скачкообразное изменение значения дисперсии. На практике такая ситуация будет означать, что вместо отдельного искаженного полутона у пикселя или столбца пикселей, которые могут быть неразличимы с учетом остальных верных, будет воспроизведена копия ошибочного. В свою очередь, это будет уже визуально отличаться на изображении — не плавное изменение полутонов на краях изображения.

Таким образом, из оцениваемых методов и предполагающих вычисление кода полутона граничного пикселя по группе пикселей, лучшим результатом обладает среднеарифметический взвешенный метод оценки. Такой метод имеет преимущества в «сглаживании значений» и одновременном учете преобладающих кодов полутонов. Оценка дисперсии кода полутона граничного пикселя при $t = 5$ дает схожие результаты, как и при $t = 3$, поэтому было принято решение не загромождать таблицами текст и акцентировать внимание исключительно на результатах. Учитывая, что нет существенных различий между $t = 5$ и $t = 3$, можно сделать вывод о том, что можно обходиться величиной $t = 3$ при оценке кода полутона граничного пикселя без существенного отклонения кодов полутонов смежных пикселей.

Заключение.

В ходе сравнительного анализа методов для дальнейшего использования в алгоритме определения граничных пикселей наилучший результат, по критерию дисперсии, показал среднеарифметический взвешенный метод оценки. При этом результат оказался лучше как при $t = 5$, так и при $t = 3$. По результатам изучения можно сделать следующие рекомендации.

1. Отказаться от методов простого копирования соседних кодов полутонов при вычислении граничных пикселей как неверных, из-за частых и визуально воспринимаемых переходов полутонов.

2. Метод, используемый в [8, 9, 10], можно применять, однако рекомендуется к применению метод **среднеарифметической** взвешенной при вычислении граничных пикселей.

3. Оценка дисперсии должна проводиться по всей группе кодов полутонов $A^+ (D^{before}(9), D^{after}(9))$ без выделения отдельных частей ($D^{before}(3), D^{after}(3)$), исходя из большей информативности этой группы.

В условиях ограниченного числа оценочных пикселей, алгоритм среднеарифметической взвешенной показывал значения достаточно близкие к смежным кодам полутонов смежных пикселей исходя из оценки дисперсии. Алгоритм показывал лучшие результаты в случае малого числа оценочных пикселей. При наличии отдельных скачкообразных значений выполнял сглаживающий эффект, что положительно отражалось на значении оцениваемого кода полутона.

Оптимальный выбор алгоритма оценки кода полутона и величины t положительно отразится на потреблении ресурсов при обработке пиксельной матрицы. Проведенная оценка методов по критерию дисперсии кодов полутонов пикселей дает лишь приближенную оценку и требует дальнейшего анализа других методов.

Литература:

1. Брейсуэлл, Р. Н. Преобразование Хартли: пер с англ. / Р. Н. Брейсуэлл. — М.: Мир, 1990. — 175 с.
2. Хиршман, И. И., Уиддер, Д. В. Преобразования типа свертки / И. И. Хиршман, Д. В. Уиддер. — М.: Издательство иностранной литературы, 1958. — 312 с.
3. Гашников, М. В. Методы компьютерной обработки изображений / под ред. В.А. Сойфера. — 2-е изд., испр. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 784 с.
4. Лукин, А. Введение в цифровую обработку сигналов (Математические основы) / А. Лукин. — М.: МГУ, Лаборатория компьютерной графики и мультимедиа, 2002. — 54 с.
5. Форсайт, Д., Понс, Ж. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс. — М.: Вильямс, 2004. — 928 с.
6. Иванов, Д. Алгоритмические основы растровой графики / Д. Иванов, А. Карпов, Е. Кузьмин, В. Лемпицкий, А. Хропов. — Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Интернет-университет информационных технологий.
7. Сойфер, В. А. Компьютерная обработка изображений. Часть 2. Методы и алгоритмы / В. А. Сойфер // Со-росовский образовательный журнал. — 1996. — № 3. — 782 с.
8. Заерко, Д. В. Весовой метод решения проблемы граничных пикселей в алгоритме сверточной фильтрации цифрового шума / Д. В. Заерко, В. А. Липницкий // Кодирование и цифровая обработка сигналов в инфокоммуникациях: материалы международной научно-практической конференции. — Минск: БГУИР, 2020. — С. 59–62.
9. Заерко, Д. В. Алгоритм весового определения граничных пикселей / Д. В. Заерко, В. А. Липницкий // Системный анализ и прикладная информатика. — 2020. — № 4. — С. 23–30.
10. Заерко, Д. В. Применение алгоритма весового определения граничных пикселей для трехканальной модели передачи цвета / Д. В. Заерко, В. А. Липницкий // Информационные технологии и системы 2020: материалы международной научной конференции. — Минск: БГУИР, 2020. — С. 128–129.
11. Сизова, Т. М. Статистика: Учебное пособие / Т. М. Сизова. — СПб.: СПб ГУИТМО, 2005.— 188 с.

УДК 658.7.01+330.46

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В УМНУЮ СЕТЬ ПОСТАВОК: ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

PRODUCTION-LOGISTICS SYSTEM TRANSFORMATION INTO A SMART SUPPLY NETWORK: THEORETICAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS

О. В. Мясникова,

доцент кафедры логистики Института бизнеса Белорусского государственного университета, канд. экон. наук, доцент, г. Минск, Республика Беларусь

O. Miasnikova,

Associate Professor in the Department of Logistics, School of Business of the Belarusian State University, PhD in Economic Sciences, Associate Professor, Minsk, Republic of Belarus

Дата поступления в редакцию — 19.03.2021 г.

В работе раскрыты теоретико-методологические аспекты трансформации производственно-логистической системы. Сформулирована концепция трансформации производственно-логистической системы в Умную сеть поставок. Показана структура производственно-логистической системы. Предложены инструменты цифровой трансформации и сформулированы результаты их применения.

The work reveals theoretical and methodological aspects of the production-logistics system transformation. The production-logistics system structure is shown. The concept of the production-logistics system transformation into a Smart Supply Network has been formulated. Digital transformation tools are proposed and their applying results are formulated.

Ключевые слова: производственно-логистические системы, управление цепями поставок, Умная сеть поставок, цифровая трансформация, инновационное развитие.

Keywords: production and logistics systems, supply chain management, Smart Supply Network, digital transformation, innovative development.

Введение.

Глобальные тенденции повышения уровня автоматизации и интеллектуализации производства и цепей поставок связывают прежде всего с внедрением цифровых технологий, что нашло отражение в национальных программах развития: немецкой «Индустрия-4.0», американской «Интернет вещей», китайской «Сделано в Китае — 2025» и российской «Цифровая экономика». Вопросы освоения цифровых технологий, влияния цифровой трансформации на цепи поставок и создания Умных сетей поставок рассматриваются в ряде публикаций [1–4].

Концепция Индустрии 4.0, которую также называют концепцией «Умного производства» (Smart Manufacturing), базируется на идее создания полностью автоматизированных производств, на которых управление всеми процессами осуществляется в реальном режиме времени и с учетом меняющихся внешних условий. Создание таких предприятий предусматривает вертикальную интеграцию и цифровизацию внутренних процессов, создание гибких и реконфигурируемых производственных систем внутри предприятий.

Горизонтальная интеграция — объединение за рамками предприятия поставщиков, потребителей и всех ключевых партнеров по всей цепочке создания ценности, — также претерпевает трансформацию. Создание цепей добавленной стоимости на принципиально иных, цифровых подходах, прежде всего новых бизнес-моделях, вызвало необходимость адаптации цепей поставок к цифровому миру. Так, наблюдается переход от представления цепи

поставок как традиционно линейной по своей природе системы, где процессы выполняются дискретно последовательно и с учетом обратной связи, к Умной сети поставок (Smart Supply Network, SSN) как более гибкой и адаптивной форме интеграции.

Вместе с тем теоретико-методологические основы трансформации производственно-логистических систем (ПЛС), отвечающие современным требованиям цифровой трансформации экономики, еще не сложились и находятся в дискуссионном поле. Следует подчеркнуть, что само по себе внедрение новых цифровых технологий в отсутствие четкого стратегического видения и современных методов управления изменениями может не только не дать положительных результатов, но и вызвать негативные последствия, усилить отторжение инноваций персоналом.

Ожидается, что интеграция жизненных циклов продуктов и цифровой инженерной деятельности по всей цепочке создания ценности продукта и связанной с ней системой производства, сбыта и закупок в совокупности составит цифровую экосистему предприятия и будет выполняться на базе цифровых платформ. Вопросы трансформации ПЛС в целях встраивания в экосистему являются актуальными и недостаточно проработанными с методологических позиций.

Продолжая исследования в области формирования современных ПЛС, опубликованные в [5–11], в данной статье поставлена цель: сформулировать концепцию трансформации производственно-логистической системы в Умную сеть поставок. Задачами исследования являются раскрыть сущность и структуру ПЛС как объекта трансформации; сформулировать концепцию трансформации ПЛС в Умную сеть поставок; сформулировать результаты трансформации и инструменты их получения.

Методами исследования являются анализ, синтез, аналогия, абстракция, моделирование. Актуальность статьи определяется тем, что разработанный понятийно-терминологический аппарат и концепция формирования Умных сетей поставок позволит на научной основе создавать современные интегрированные структуры, обеспечить их выживаемость на рынке и повысить эффективность функционирования в цифровой экономике.

Производственно-логистическая система и ее структура как объект трансформации в цифровую эру.

Производственно-логистическая система — это сложная, динамичная, экономическая, открытая, адаптивная система с обратной связью, состоящая из относительно устойчивой совокупности звеньев цепи создания ценности, взаимосвязанных в пределах цикла производства в едином процессе управления материальными, сервисными и сопутствующими им потоками, обеспечивающих придание им количественных параметров и качественных характеристик в соответствии с требованиями внешней среды [5].

ПЛС являются сложными технико-экономическими системами. Их элементы обеспечивают движение потоков от продуцентов до конечного потребителя вдоль всей цепи создания ценности продукта (рис. 1). Современные ПЛС должны обеспечить исполнение интегрированного распределенного бизнес-процесса. Взаимодействующие в пределах цикла производства звенья выходят за рамки одного предприятия, одной страны, одного континента. Главной задачей формирования ПЛС как глобальной цепи создания ценности становится обеспечение согласованного бесперебойного движения потоков в транснациональных транспортных коридорах. Преобразование ПЛС в социокиберфизическую систему обусловлено конвергенцией физических процессов производства, обеспеченных непрерывным управлением в реальном времени, с программно-информационными системами, а также участие человека в системе и как ресурса, и как потребителя [5].

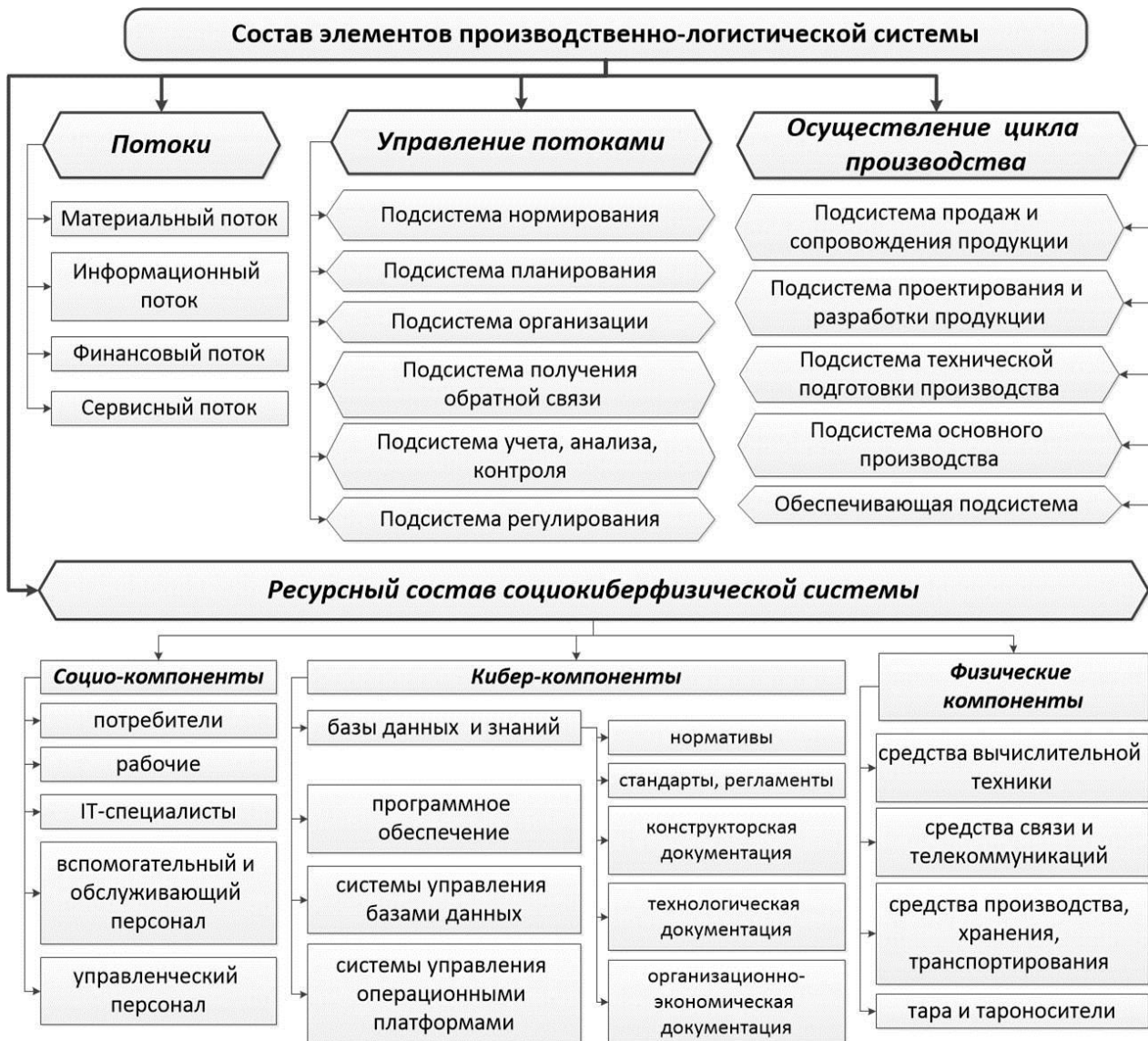


Рис. 1. Состав элементов производственно-логистической системы

Источник: разработано автором.

ПЛС должна включать в себя систему управления потоками и систему осуществления этапов цикла производства, подсистемы которой выполняют необходимые процессы по отношению к потокам. В системе потоки генерируются и поглощаются, преобразуются и продвигаются. В звеньях ПЛС потоки могут сходить, разветвляться, дробиться, изменять свое содержание и параметры. Целенаправленное изменение параметров потоков (объем, скорость, направление движения) и качественных его характеристик выполняется для максимального удовлетворения потребности рынка в конкретном товаре. В рамках цикла производства отдельные его подсистемы, процессы и операции могут выполняться различными звеньями-организациями, что приводит к образованию географически распределенного процесса и требует интеграции звеньев в единую систему по определенным принципам. Это приводит к необходимости трансформационных процессов в существующих ПЛС.

Концепция трансформации производственно-логистической системы в Умную сеть поставок.

Под цифровой трансформацией понимаем комплексное преобразование объекта, связанное с переходом к новым бизнес-моделям, каналам коммуникаций с клиентами и поставщиками, продуктам, бизнес- и производственным процессам, к новой корпоративной культуре, которые базируются на принципиально новых подходах к управлению данными с использованием цифровых технологий в целях существенного повышения его эффективности и долгосрочной устойчивости.

Элементы концепции цифровой трансформации ПЛС отражены на рис. 2.

Субъектами трансформации выступают проектные команды во главе с руководителем по цифровой трансформации (Chief Digital Transformation Officer, CDTO). Осуществляют управление процессами трансформации команды, сформированные из специалистов предприятия по направлениям: IT, производство, качество, технологии, техника, маркетинг, работа с персоналом, финансы.

Объектами трансформации выступают все элементы ПЛС (см. рис. 1).

Принципами цифровой трансформации ПЛС являются:

- 1) принцип адаптивности, реализуемый через обеспечение соответствия параметров ПЛС требованиям рынка к продукту;
- 2) принцип оптимальности, реализуемый через рациональную комбинацию управляемых потоков и элементов натурально-вещественного состава ПЛС;
- 3) принцип гибкости, реализуемый через подбор состава участников системы исходя из персонализированных требований к продукту;
- 4) принцип устойчивости, реализуемый через оптимальную локализацию звеньев системы;
- 5) принцип надежности, реализуемый через модельно-ориентированное проектирование системы;
- 6) принцип адекватности, реализуемый через управление поведением системы, основанное на данных;



Рис. 2. Элементы концепции цифровой трансформации ПЛС

Источник: разработано автором.

- 7) принцип сохраняемости, реализуемый через проактивное развитие ПЛС на протяжении ее жизненного цикла наиболее эффективными методами, приемами, инструментами;
- 8) принцип управляемости, реализуемый через формирование экосистем;
- 9) принцип устойчивого опережающего развития, реализуемый через резервирование точек роста и контроль ключевых технологий в экосистеме;
- 10) принцип безопасности, реализуемый через комплекс мер по решению проблем кибербезопасности, экологии и социальной напряженности.

Цель трансформации ПЛС в SSN заключается в придании ей способности создавать добавленную стоимость длительный период за счет решения задач обеспечения ее устойчивости, адаптивности, гибкости и эффективности [6].

Задачи трансформации ПЛС связаны с преобразованием указанных на рис. 1 элементов ПЛС и выполняемых в цепи поставок процессов: планировать (Plan), делать (Make), снабжать (Source), доставлять (Deliver), возвращать (Return) и предоставлять (Enable). Каждый из элементов и процессов трансформируется с помощью технологических инноваций: интегрированное планирование и выполнение, прозрачность логистики, закупки 4.0, Умное складирование, эффективное управление запасными частями, автономная логистика и логистика B2C, предписывающая аналитика цепочки поставок и интеллектуальные средства поддержки цепочки поставок [3, 7].

Результатами трансформации ПЛС является [8]:

- создание системы распределенных звеньев интегрированного бизнес-процесса на базе стека возможных участников и наращивание пассивных операционных цепочек под требования клиентов;
- функционирование единого информационного пространства на протяжении всего жизненного цикла продукции и единого центра управления сетью поставок через цифровые платформы;
- обеспечение клиентоориентированности и гибкости системы путем диверсификации товаров и услуг за счет гибкой разработки, оптимального подбора звеньев в динамичную сеть поставок;
- обеспечение омниканальности в системе за счет проактивной коммуникационной политики и обеспечение «бесшовных» интегрированных закупок, производства и поставок через все доступные каналы;
- преобразование системы для работы по бизнес-моделям экономики замкнутого цикла через механизмы индивидуализации производства, предоставления продукции во временное пользование, совместного потребления, возврата и переработки.

Оценка результатов трансформации ПЛС ведется по многокритериальной модели [7], охватывающей показатели (метрики) функционирования цепи поставок (ЦП) в соответствии с SCOR-моделью версии 12.0:

- надежность (Reliability) функционирования ЦП: обеспечение доставки нужного продукта, в нужное время и место, в надлежащем состоянии и упаковке, нужного количества, с правильной документацией, нужному потребителю;
- оперативное реагирование (Responsiveness): отклик цепи поставок на изменение спроса, который оценивается через длительность логистических циклов, т. е. скорость прохождения товара по цепи поставки к потребителю;
- маневренность (гибкость, динамичность) цепи поставок (Agility): темп, с которым цепь поставок реагирует на изменения ситуации на рынке в целях получения или сохранения конкурентных преимуществ;
- затраты (Cost): издержки, связанные с операциями в цепи поставок;

– эффективность управления активами в цепи поставок (Asset Management Efficiency): эффективность управления активами в обеспечении удовлетворения спроса.

Методами трансформации являются сохранение свойств объекта, улучшение свойств путем его модернизации, изменение свойств в целях сбалансирования системы, устранение объекта в силу неадекватности его задачам системы.

Выбор инструментов цифровой трансформации следует осуществлять исходя из желаемых результатов — преобразование линейной цепи поставок в связанную через цифровое ядро динамичную систему. Структура SSN и цифровые технологии, обеспечивающие ее функционирование, схематично представлены на рис. 3.



Рис. 3. Результат освоения цифровых технологий — Умная сеть поставок

Примечание: разработка автора на основе [1–4], опубликовано в [8, 7].

Цифровым ядром, объединяющим элементы умной сети поставок, является цифровая платформа (ЦП) [9, 10]. Она должна создаваться как **экосистема** — обладающая информационно-технологической инфраструктурой многосторонняя цифровая открытая площадка, объединяющая внешних партнеров. В ней реализуется принцип win-win при выборе пользователями платформы любого исполнителя или получения контракта. Координацию работы ее звеньев должна обеспечить стыковка различных цифровых и информационных технологий, что требует наличия сквозного документирования бизнес-процессов в сети, унификации данных в рамках электронных каталогов, интеграции ERP-систем, систем управления данными об изделии (PDM), управления событиями в цепях поставок (SCEM), мониторинга цепей поставок (SCMo). Основным функциональным элементом экосистемы ЦП является маркетплейс цифровых сервисов, где должны быть представлены специализированные цифровые платформы как площадки для конкурсного отбора звеньев SSN в систему управления потоками и систему осуществления этапов цикла производства [9].



Рис. 4. Состав инструментов и технологий цифровой трансформации ПЛС

Источник: разработано автором.

На рис. 4 сгруппируем *технологии и инструменты цифровой трансформации* по 4 основным направлениям.

Комплексное использование инструментов и технологий цифровой трансформации ПЛС позволяет обеспечить реализацию следующих теоретико-методологических подходов.

1. *Demand-driven / market-driven подход* — изменения, управляемые спросом/рынком, изменения на базе выявленных требований рынка к создаваемому и продвигаемому в SSN продукту. Предиктивное выявление и фиксация требований потребителей и на этой основе формулировка показателей продукта и технического и логистического сервиса становится источником создания системы целей и ограничений для структурных элементов SSN. Выстраивание системы адекватной рынку по функционалу и составу связывается нами с вовлечением потребителя продукта в процессы его проектирования и модификации. Реализация подхода требует создания действенного механизма обратной связи с пользователями продукта, обучения клиентов и их вовлечения в поиск инноваций, модернизацию продукта, а также механизма кооперации бизнеса с научным сообществом, межотраслевой коллаборации для моделирования различных сочетаний отраслевых решений в целях создания инновационного ценностного предложения для свободной рыночной ниши.

2. *Model-Based Design подход* — модельно-ориентированное проектирование системы. Состав системы неоднороден по функциональному назначению ее звеньев, составу и взаимосвязям разнородных объектов различной природы — физических, социальных, информационных. Описание системы, ее проектирование, создание и функционирование связываются нами с пришедшей на смену классического математического моделирования экономических систем технологией цифровых двойников (Digital Twin, DT) [6]. Цифровой двойник выступает программным аналогом материального объекта и позволяет осуществлять его виртуальное моделирование и оптимизацию.

В SSN необходимо комплексно использовать цифровые двойники продукции, которые представляют собой многоуровневую матрицу целевых показателей и ограничений (ресурс-

ных, технологических, экономических, экологических). Элементы изделия, оцифрованные по единым стандартам платформы и представленные в виде 3D-моделей, становятся пулом «заказов», размещенных на цифровой платформе. Унифицированные типовые изделия, элементы и узлы, доведенные до потенциальных участников SSN в виде данных, четко структурированных и легко интегрируемых в IT-систему производителей, не только позволяют повысить скорость «подборки» участника в SSN, но и ускорить сам процесс освоения нового изделия на предприятиях-производителях.

В свою очередь на базе цифровых двойников продукции необходимо выстроить цифровой двойник производства, что позволит подбирать потенциальных участников SSN под требования установленных ограничений. Цифровой двойник производства описывает комбинации объемов ресурсов различной природы (материальные, информационные, интеллектуальные, человеческие), необходимые для создания продукции. Достижение эффективной комбинации следует оценивать по многофакторной системе оценки, где цена приобретения уступает свои позиции стоимости владения. Особое внимание при моделировании следует уделить выстраиванию замкнутых цепей поставок, где поток материалов, энергии и отходов циркулирует в системе за счет повторного потребления продукта, повторного использования компонентов и рециркуляции материалов [7].

Создание цифровой модели позволяет отказаться от парадигмы последовательного проектирования системы, осуществлять модельные испытания, виртуальные эксперименты, сценарное моделирование на основе комбинаторики свойств и параметров цифровых двойников, что повысит эффективность дальнейшего функционирования SSN.

3. *Customer-centric подход* — клиенто-центричный подход: подбор состава участников SSN выполняется исходя из персонализированных требований потребителя к продукту. Производство кастомизированных продуктов и быстрый и гибкий переход производства на выпуск новых видов и моделей становятся базовым конкурентным преимуществом, что подвигает менеджмент искать замену традиционной вертикальной цепочки создания стоимости.

Пассивная горизонтальная «плоская» сеть и дезинтермедиация — удаление посредников из цепочки или их отсечение в серии транзакций — становится альтернативой цепи поставок в ее традиционной форме разделенных в последовательном процессе и организованных по критическому пути функций.

Участники SSN вступают в кооперацию, создавая цепочки «по надобности», так как являются носителями перекрываемых и взаимозаменяемых функций, востребованность которых определяется запросом клиента. Организовать сеть из стека возможных участников и наращивать наборы пассивных операционных цепочек под требования клиентов позволит работа через цифровые платформы. Вокруг каждой цифровой платформы зарождается соответствующая экосистема цифрового предприятия. Экосистема — это среда, внутри которой множество организаций решают общую задачу. Так, экосистема цифровых транспортных коридоров — это открытая цифровая среда обмена логистической информацией, возникающей в ходе связей и отношений субъектов, причастных к перевозочному процессу, субъектов логистической инфраструктуры, государственных органов управления, осуществляемых в цифровой форме на цифровых платформах и в информационных системах, объединенных открытой площадкой в единой информационной среде [10]. Их деятельность переплетена, а успешность взаимно обусловлена. В экосистеме ценности создаются благодаря объединению вклада множества участников и интеграции структурированных данных из множества источников. За счет эффекта масштаба экосистема становится экономически эффективной. Экосистема формирует стандарты и протоколы коммуникаций, придерживаться которых должны ее участники. Так, вместо ценовых предложений выстраиваются неценовые

барьеры входа на рынок. Стандарты становятся инструментом политики управляемого контролируемого отставания. Увидев новый стандарт, мы выстраиваем действие на его достижение. Но как только требования стандарта достигнуты, конкурент вводит заготовленный заранее новый стандарт, и гонка начинается заново. Разведка замыслов, возможность предвидеть и моделировать рынок, а не копировать и догонять становится задачей развития системы. В то же время иметь в запасе продукты новых поколений, «зарезервированные» для будущего, — объективная необходимость для выживания в конкурентной борьбе.

SSN должна постоянно динамично меняться, подстраиваясь под нужды потребителей. Применяя при ее создании методы комбинаторики, можно обеспечить совокупную оптимальность всей системы, а не только отдельных ее звеньев, подсистем, элементов.

4. *Data-driven подход* — подход к созданию и управлению системой на основе данных (датацентричный подход). В цифровой экономике данные выступают как стратегический актив. Они образуют большие массивы, которые в дальнейшем должны быть приведены к общему формату, очищены от лишнего, храниться в единой системе хранилища. Наличие данных позволяет выполнять моделирование и прогнозирование поведения системы. Реализация подхода связывается нами с решением технических и методологических вопросов машинного сбора доступных данных, их унификации, а также с освоением методов выявления зависимостей, закономерностей на базе неявных множеств, визуализации данных, прогнозирования и планирования на основе данных в режиме реального времени, выявления потенциальных узких мест, сопоставления и анализа данных для их устранения. Датацентричный подход позволяет осуществлять проактивное управление на основе системного моделирования, предотвращать возникновение сбоев в системе, применять предупредительные меры для снижения количества проблем и оперативно их решать в случае возникновения. Для SSN выявление несоответствий параметров системы требованиям рынка становится главной задачей, что требует создание в механизме адаптации к внешней среде не только блока инициативной обратной связи, но и блока анализа клиентского пути (customer journey), цифрового следа клиента, его скрытых потребностей и степени удовлетворенности. Это позволит применить Agile подход к проектированию SSN, использовать гибкое внесение изменений в разрабатываемую систему платформенных решений [9].

5. *Threat-driven подход* — подход к созданию и управлению системой, основанный на угрозах. Угрозы — люди или события, все то, что наносит ущерб системам и активам. Системы должны выделять соразмерный объем ресурсов для защиты своих активов, развивать навыки, необходимые для поддержки этих усилий.

В цифровой экономике все сделки происходят в цифровом пространстве в бизнес-приложениях, информационная подсистема сама становится реальностью, и нарушение ее целостности и достоверности данных как главного актива становится основной угрозой существованию бизнеса, т. к. перейти на «ручной» режим управления становится невозможным. В этой связи решение проблем кибербезопасности становится приоритетной задачей.

К глобальным угрозам следует отнести и угрозы нарушения надежности цепей поставок, например, вследствие кризисных явлений из-за пандемии коронавируса. Уязвимость цепи поставок продемонстрировала ситуация с концентрацией производств в одних регионах при минимальных запасах товарных и сырьевых ресурсов в других. Устранение подобных угроз связывается с трендами релокации производств из Азии в США и Европу, диверсификации цепей поставок в пользу местных производителей, сокращения протяженности цепи за счет посреднических структур и нарастания автоматизации производств. Создание гиперсвязанных производств, автоматических рабочих центров, роботизированных человеко-независимых систем, управляемых извне из любой точки мира, а также расположение

оборудования на мобильных платформах, что позволяет перемещать производства в нужную локацию, становится трендом обеспечения потребности цепей поставок в гибкости, скорости и перестройке на новые возможности.

Угрозы социальной напряженности связаны с растущей зависимостью от гаджетов, потерей когнитивных способностей мозга и, как следствие, обесцениванием человека как работника; ростом конкуренции среди интеллектуалов, увеличением образованной безработицы, интеллектуализацией труда, устранением профессий с монотонным умственным трудом, усложнением компетенций работников. Для устранения угроз необходимы комплексные решения по организации обучения, переподготовки и адаптации персонала к цифровой экономике, в том числе через развитие новых форм занятости, самозанятости и множественной занятости, формирование новых компетенций и навыков [11].

Заключение.

Трансформация ПЛС в соответствии с представленной концепцией, отвечающей современным условиям цифровой трансформации экономики, создает возможности ПЛС устойчиво генерировать добавленную стоимость, адаптироваться и гибко реагировать на спрос.

Литература:

1. The Rise of the Digital Supply Network: Industry 4.0 Enables the Digital Transformation of Supply Chains [Electronic resource] / Adam Mussomeli, Doug Gish and Stephen Laaper, Deloitte Insights 2016. — Mode of access: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3465_Digital-supply-network/DUP_Digital-supply-network.pdf. — Date of access: 07.08.2020.
2. Making maintenance smarter: Predictive maintenance and the digital supply network [Electronic resource] / Chris Coleman [et al.]. — Mode of access: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3828_Making-maintenance-smarter/DUP_Making-maintenance-smarter.pdf. — Date of access: 07.08.2020.
3. Industry 4.0: How Digitization Makes the Supply Chain More Efficient, Agile, and Customer-Focused [Electronic resource] / Stefan Schrauf, Philipp Bertram. — Mode of access: <https://www.pwc.ch/en/publications/2017/how-digitization-makes-the-supply-chain-more-efficient-pwc-2016.pdf>. — Date of access: 07.08.2020.
4. The Smart Factory: Responsive, Adaptive, Connected Manufacturing [Electronic resource] / R. Burke [et al.]. — Mode of access: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/industry-4-0/smart-factory-connected-manufacturing.html>. — Date of access: 07.06.2020.
5. Мясникова, О. В. Теоретико-концептуальные подходы к формированию производственно-логистической системы «Умного производства» как социкиберфизической системы / О. В. Мясникова // Экономика. Управление. Инновации. — 2020. — № 1(7) — С. 29–35.
6. Мясникова, О. В. Цифровая трансформация в решении задач развития производственно-логистических систем / О. В. Мясникова // Бизнес. Инновации. Экономика: сб. науч. ст. / Ин-т бизнеса БГУ. — Минск, 2019. — Вып. 3. — С. 196–201.
7. Мясникова, О. В. Развитие логистических систем в условиях цифровой трансформации бизнеса / О. В. Мясникова. — Минск: Колоград, 2019. — 203 с.
8. Мясникова, О. В. Трансформация цепей поставок как ответ на вызовы четвертой промышленной революции / О. В. Мясникова // Экономика. Управление. Инновации. — 2018. — № 1(3) — С. 50–54.
9. Мясникова, О. В. Платформенные решения для цифровой трансформации производственно-логистических систем / О. В. Мясникова // Цифровая трансформация. — 2020. — № 2(11). — С. 5–15 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2020-2-5-15>. — Дата доступа: 07.06.2020.
10. Мясникова, О. В. Разработка подходов к созданию организационно-функциональной структуры экосистемы цифровых транспортных коридоров Евразийского экономического союза / О. В. Мясникова, Т. Г. Таболич // Цифровая трансформация. — 2020. — № 1(5). — С. 23–35 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2020-1-23-35>. — Дата доступа: 07.06.2020.
11. Мясникова, О. В. Развитие производственно-логистических систем: возможности, угрозы и препятствия цифровой трансформации / О. В. Мясникова // Экономика. Управление. Инновации. — 2019. — № 1(5). — С. 31–36.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

В журнале «Новости науки и технологий» публикуются научные и проблемные статьи, а также краткие сообщения по вопросам экономики и управления народным хозяйством, развития науки и технологий в Республике Беларусь и других странах, посвященные пропаганде перспективных направлений науки и техники, производства, инновационной деятельности, международного сотрудничества.

Приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 21 января 2015 г. № 16 журнал включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по экономическим и техническим наукам.

Журнал включен в наукометрическую базу данных — Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Электронные версии статей, опубликованных в журнале, размещаются в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU.

Редакция журнала приглашает ученых и специалистов в качестве авторов статей журнала и просит при представлении материалов руководствоваться следующими правилами.

1. Рукопись статьи (далее — статья, произведение) на русском, или белорусском, или английском языках представляется в редакцию на бумажном носителе (формат А4) в двух экземплярах, пронумерованных и подписанных всеми авторами.

2. К статье о результатах работ, выполненных в организации, прилагают: ходатайство (сопроводительное письмо) организации об опубликовании статьи; заключение (акт экспертизы) об отсутствии в работе сведений, составляющих государственную тайну; рецензию (для научных статей). Нельзя направлять в редакцию работы, напечатанные в иных изданиях либо направленные в иные издания.

3. Электронный вариант статьи в форматах документов *.doc, *.docx и **метаданные произведения** представляются на электронном носителе (CD, DVD) либо электронным письмом с приложением на электронный почтовый ящик vl@belisa.org.by. Названия прикрепленных к письму файлов должны включать фамилии авторов.

4. В редакцию на бумажном носителе представляются **лицензионный договор и акт приема-передачи произведения**, оформленные и подписанные каждым автором. *Авторы, ранее заключавшие договор с журналом, предоставляют только акт приема-передачи произведения.*

5. Основной текст статьи набирается шрифтом типа Times, размер символов 12 п., одинарный интервал, абзацный отступ 1 см, поля: левое — 3, правое — 1, верхнее — 2, нижнее — 2 см, в текстовых редакторах Word под Windows, для формул — в формульном редакторе Word.

6. Рукописи статей должны включать следующие элементы:

- **индекс УДК** (<http://udc.biblio.uspu.ru>);
- **название статьи на русском и английском языках**;
- **сведения об авторах** (для каждого из авторов) **на русском и английском языках**: фамилия, имя, отчество; должность, ученая степень, ученое звание; название организации, в которой работает (учится), город, страна;

- аннотацию (резюме) (до 250 печатных знаков) к статье **на русском и английском языках**;

- ключевые слова или словосочетания (до 15) **на русском и английском языках** (ключевые слова или словосочетания отделяются друг от друга запятой);

- полный текст статьи;

- библиографический список литературы (только на языке оригинала).

7. Объем статьи не должен превышать 10 страниц (включая таблицы, иллюстрации (не больше 5) и список литературы). Принимаются краткие сообщения до трех страниц. Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 000 печатных знаков с пробелами).

8. Весь иллюстративный материал (кроме диаграмм MS Excel, MS Graph) предоставляется в наилучшем качестве в виде отдельных файлов с разрешением не менее 300 dpi, содержащих номер рисунка с расширением, указывающим на формат используемого файла (*1.TIF, *2.JPG и т. д.), а также (или) в форме отпечатанных фотографий. Каждый рисунок должен иметь название, которое помещается под рисунком. Если в тексте более одного рисунка, то они нумеруются арабскими цифрами (например: «Рис. 1. Название...»). Номер помещается перед названием. Таблицы вставляются в текст, они должны обязательно иметь название и заголовки всех граф.

9. Основным шрифтом набираются: греческие и русские буквы; математические символы (sin, lg); символы химических элементов (C, Cl, CHCl₃); цифры (римские и арабские); векторы, индексы (верхние и нижние), являющиеся сокращениями слов. Курсивом набираются латинские буквы: переменные, символы физических величин (в том числе и в индексе). Жирным шрифтом набираются векторы (стрелки сверху не ставятся), а также слова и цифры, которые нужно выделить. Формулы с дробями, знаками сумм, интегралов, верхними и нижними индексами набираются в редакторе формул MathType. Отдельно стоящие в тексте буквы (a, b, d, j, l, m, r и др.), знаки и символы (€, ±, ', ¹, ¥, °, Ъ и др.) набираются без использования редактора формул: они вставляются из меню Вставка/Символ. Если длина формулы превышает длину строки, то следует разорвать данную формулу на несколько строк в соответствии с правилами переноса математических формул.

10. Размерности всех величин, используемых в тексте, должны соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ).

11. Литература приводится общим списком в конце статьи. Ссылки на литературу в тексте идут по порядку и обозначаются цифрой в квадратных скобках (например: [1], [2]). Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003. Литература на английском языке набирается по тем же правилам, что и русскоязычная. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

12. Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, нумеруются в соответствии с порядком цитирования в тексте.

13. Представляя текст статьи для публикации в журнале, авторы гарантируют правильность всех сведений о себе, отсутствие плагиата и других форм неправомерного заимствования в представленной рукописи статьи, надлежащее оформление всех заимствований текста, таблиц, схем, иллюстраций.

14. Материалы и рукописи статей, представленные в редакцию с нарушением требований настоящих Правил, редакцией не рецензируются и не рассматриваются на предмет опубликования. Рукописи автору не возвращаются.

15. Оригиналы авторских рукописей хранятся в редакции в течение года, рецензий — в течение трех лет.

16. Рецензирование научных материалов осуществляется путем стороннего и внутреннего рецензирования. При стороннем рецензировании авторы прилагают к рукописи статьи внешнюю рецензию доктора или кандидата наук, заверенную в установленном порядке, при этом редакция оставляет за собой право проведения дополнительного внутреннего рецензирования. Внутреннее рецензирование осуществляется членами редакционной коллегии соответствующего научного профиля с ученой степенью доктора или кандидата наук, назначаемыми редакционной коллегией, редакционным советом или главным редактором. Основным критерием целесообразности публикации является новизна и информативность статьи. При наличии отрицательной рецензии статья возвращается автору для доработки с учетом замечаний рецензента. Переработанные авторами статьи повторно направляются на рецензирование. В случае повторной отрицательной рецензии статья снимается с дальнейшего рассмотрения редколлегией. Датой поступления статьи считается день получения редакцией окончательного варианта статьи. В случае отказа в опубликовании представленных материалов редакция не дает письменного заключения о причинах такого решения, не знакомит автора с результатами рецензирования и не возвращает поступившие материалы.

17. Редакция оставляет за собой право на редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

**Раздел подготовлен по материалам издательства
научной и медицинской литературы Elsevier,
а также материалов
Международного Комитета
по публикационной этике (COPE)**

18. Этика научных публикаций.

18.1. Все статьи, предоставленные для публикации в журнале «Новости науки и технологий», проходят рецензирование на оригинальность, этичность и значимость. Соблюдение стандартов этического поведения важно для всех сторон, принимающих участие в публикации: авторов, редакторов журнала, рецензентов, издателя.

18.2. Автор материала, представленного к опубликованию, не должен публиковать работы, которые описывают по сути одно и то же исследование, более чем один раз или более чем в одном журнале.

Предоставление рукописи более чем в один журнал одновременно означает неэтичное издательское поведение и является недопустимым.

18.3. Авторство необходимо ограничить теми лицами, которые внесли ощутимый вклад в концепцию, проект, исполнение или интерпретацию заявленной работы. Всех, кто внес ощутимый вклад, следует внести в список соавторов.

18.4. Автор должен гарантировать, что список авторов содержит только действительных авторов и в него не внесены те, кто не имеет отношения к данной работе, а также то, что все соавторы ознакомились и одобрили окончательную версию статьи и дали свое согласие на ее публикацию.

18.5. Редколлегия рецензируемого журнала «Новости науки и технологий» является ответственной за принятие решения о том, какие статьи будут опубликованы в журнале. Решение принимается на основании представляемых на статью рецензий. Редактор может советоваться с другими редакторами для принятия решений.

18.6. Редакционная коллегия журнала «Новости науки и технологий» при рассмотрении статьи на основании рекомендации Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь может произвести проверку материала с помощью системы «Антиплагиат».

18.7. Неопубликованные материалы, находящиеся в предоставленной статье, не должны быть использованы в собственном исследовании научного редактора и рецензентов без специального письменного разрешения автора.

18.8. Рецензенты должны идентифицировать опубликованную работу, которая не была процитирована автором. Любое утверждение, что наблюдения, происхождение либо аргумент ранее были сообщены, необходимо сопровождать соответствующей ссылкой. Рецензент также должен донести до сведения редакции о любой существенной схожести или частичном совпадении между рукописью, которая рецензируется, и другой уже опубликованной работой, которая ему знакома.

18.9. Приватная информация или идеи, возникшие в процессе рецензирования, должны оставаться конфиденциальными и не могут быть использованы в личных интересах. Рецензент не должен рассматривать рукопись, если имеет место конфликт интересов в результате его конкурентных, партнерских либо других отношений или связей с кем-либо из авторов, компаний или организаций, связанных с материалом публикаций.

18.10. Рецензенты или кто-либо из сотрудников штата редакции не должны разглашать никакую информацию о предоставленной рукописи кому-либо, кроме самого автора, рецензентов, потенциальных рецензентов, других редакционных советников и издателя, поскольку она является конфиденциальной.

**Материалы в редакцию следует направлять по адресу:
пр. Победителей, 7, 220004, г. Минск
ГУ «БелИСА» (журнал «Новости науки и технологий»)
Тел.: (+375 17) 203-41-23, 306-09-46,
факс: (+375 17) 226-63-25**



НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ДАТЧИКИ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

- Комплексные навигационные системы различной точности
- Инерциальные навигационные системы
- Блоки измерительные спутниковые
- Цифровые датчики пути
- Двухкоординатные датчики угла
- Цифровые указатели азимута
- Цифровые магнитные компасы
- Прецизионные датчики угла



Республика Беларусь, 220076, г. Минск, ул. Франциска Скорины, 21/1
Тел.: (+375 17) 311-05-69, факс: (+375 17) 311-05-68, e-mail: tsp@tspbel.com

