

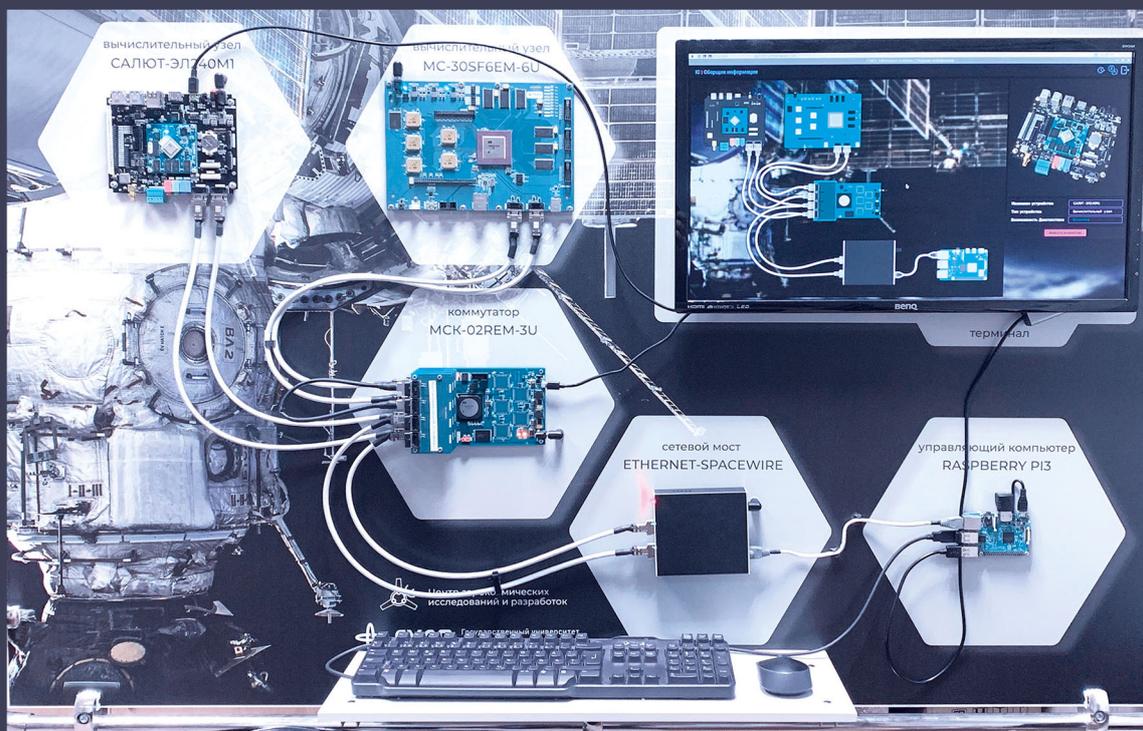
ISSN 2949-0693

# ИННОВАЦИОННОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Научный журнал

Том 3, № 3 • 2024

## INNOVATIVE INSTRUMENTATION





**ГУАП**

Санкт-Петербургский  
государственный  
университет  
аэрокосмического  
приборостроения

# ИННОВАЦИОННОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Научный журнал

Том 3, № 3 • 2024

# INNOVATIVE INSTRUMENTATION

Scientific Journal

Vol. 3, no. 3 • 2024



**SUAI**

Saint Petersburg  
State University  
of Aerospace  
Instrumentation

### Innovative Instrumentation

Founded in 2022

#### Founder

Saint Petersburg State University  
of Aerospace Instrumentation

#### Publisher

Saint Petersburg State University  
of Aerospace Instrumentation

#### Chief Editor

E. A. Frolova,  
D. Sc. in Technical Sciences, Associate Professor,  
Director at the Institute of Fundamental  
Training and Technological Innovation,  
Saint Petersburg State University  
of Aerospace Instrumentation

#### Deputy Chief Editor

S. A. Nazarevich,  
PhD in Technical Sciences,  
Associate Professor

#### Executive Secretary

V. A. Tushavin,  
D. Sc. in Technical Sciences, Associate Professor

#### Editorial Board

A. R. Bestugin, D. Sc., Prof.  
A. S. Budagov, D. Sc., Assoc. Prof.  
N. A. Zhilnikova, D. Sc., Assoc. Prof.  
M. L. Krichevsky, D. Sc., Prof.  
N. N. Maiorov, D. Sc., Assoc. Prof.  
A. V. Nebylov, D. Sc., Prof.  
A. O. Smirnov, D. Sc., Assoc. Prof.  
T. M. Tatarnikova, D. Sc., Prof.  
V. A. Tushavin, D. Sc., Assoc. Prof.  
V. G. Farafonov, D. Sc., Prof.  
E. A. Frolova, D. Sc., Assoc. Prof.  
V. F. Shishlakov, D. Sc., Prof.

### Scientific Journal

The journal was registered in the Federal Service for  
Supervision of Communications, Information Technology  
and Mass Media (Roskomnadzor),  
PI no. FS 77-83496 from June, 24, 2022

#### Publication frequency: 6 issues per year

The journal's pages are open for discussion  
materials; its content does not necessarily reflect  
the views of the founder and the editorial board.

Reprinting of publications from the journal  
"Innovative Instrumentation" to foreign editions  
is allowed by agreement with the editorial board.

Reference to the journal "Innovative Instrumentation"  
is mandatory.

#### Editorial and publisher's address

The Editorial and Publishing Center,  
SUAI, 67, lit. A, Bolshaya Morskaya str.,  
Saint Petersburg, 190000, Russian Federation  
Tel.: (812) 494-70-69  
E-mail: ip@guap.ru  
Website: <https://guap.ru/inps>

#### Editorial Council

Yu. A. Antokhina, D. Sc., Prof.  
A. V. Demidov, D. Sc., Prof.  
V. V. Ivanov, D. Sc., RAS Corr. Member  
G. A. Korzhavin, D. Sc., Prof.  
A. A. Ovodenko, D. Sc., Prof.  
V. V. Okrepilov, D. Sc., Prof., RAS Academician  
V. G. Peshehonov, D. Sc., Prof., RAS Academician  
V. I. Shevchenko, D. Sc.  
E. V. Shlyakhto, D. Sc., Prof., RAS Academician

Editor *V. A. Chernikova*  
Computer layout and design *Yu. V. Umnitsyna*

Submitted for publication 14.06.2024. Signed for printing: 18.06.2024. Format 60 × 84 1/8.

Printed at the Editorial and Publishing Center, SUAI,  
67, lit. A, Bolshaya Morskaya str., Saint Petersburg, 190000, Russian Federation

Free distribution

DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3

ISSN 2949-0693

### Инновационное приборостроение

Основан в 2022 г.

### Учредитель

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский  
государственный университет  
аэрокосмического приборостроения»

### Издатель

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский  
государственный университет  
аэрокосмического приборостроения»

### Главный редактор

Е. А. Фролова,  
доктор технических наук, доцент,  
директор института фундаментальной  
подготовки и технологических инноваций,  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский  
государственный университет  
аэрокосмического приборостроения»

### Заместитель главного редактора

С. А. Назаревич,  
кандидат технических наук, доцент

### Ответственный секретарь

В. А. Тушавин,  
доктор технических наук, доцент

### Редакционная коллегия

А. Р. Бестугин, д-р техн. наук, проф.  
А. С. Будагов, д-р экон. наук, доц.  
Н. А. Жильникова, д-р техн. наук, доц.  
М. Л. Кричевский, д-р техн. наук, проф.  
Н. Н. Майоров, д-р техн. наук, доц.  
А. В. Небылов, д-р техн. наук, проф.  
А. О. Смирнов, д-р физ.-мат. наук, доц.  
Т. М. Татарникова, д-р техн. наук, проф.  
В. А. Тушавин, д-р техн. наук, доц.  
В. Г. Фарафонов, д-р физ.-мат. наук, проф.  
Е. А. Фролова, д-р техн. наук, доц.  
В. Ф. Шишлаков, д-р техн. наук, проф.

### Научный журнал

Журнал зарегистрирован Федеральной службой  
по надзору в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций 24 июня 2022 г.  
(Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-83496  
от 24.06.2022 – печатное издание)

### Периодичность издания: 6 номеров в год

Страницы журнала открыты для дискуссионных  
материалов; его содержание не обязательно  
отражает точку зрения учредителя и редакции.

Перепечатка публикаций из журнала «Инновационное  
приборостроение» в зарубежные издания допускается  
по согласованию с редакцией.

Ссылка на журнал «Инновационное приборостроение»  
обязательна.

### Адрес редакции и издателя

Редакционно-издательский центр  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский  
государственный университет  
аэрокосмического приборостроения»,  
190000, Россия, г. Санкт-Петербург,  
ул. Большая Морская, д. 67, лит. А  
Тел.: (812) 494-70-69  
E-mail: ip@guar.ru  
Сайт: <https://guar.ru/inps>

### Редакционный совет

Ю. А. Антохина, д-р экон. наук, проф.  
А. В. Демидов, д-р техн. наук, проф.  
В. В. Иванов, д-р экон. наук, чл.-корр. РАН  
Г. А. Коржавин, д-р техн. наук, проф.  
А. А. Оводенко, д-р техн. наук, проф.  
В. В. Окрепилов, д-р экон. наук, проф., акад. РАН  
В. Г. Пешехонов, д-р техн. наук, проф., акад. РАН  
В. И. Шевченко, д-р физ.-мат. наук  
Е. В. Шляхто, д-р мед. наук, проф., акад. РАН

Редактор *В. А. Черникова*

Компьютерная верстка и дизайн *Ю. В. Умницыной*

Подписано к печати 14.06.2024. Дата выхода в свет: 18.06.2024. Формат 60 × 84 1/8.  
Уч.-изд. л. 12,6. Усл. печ. л. 12. Тираж 1000 экз. (1-й завод – 100 экз.). Заказ № 208.

Отпечатано в редакционно-издательском центре ГУАП  
190000, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

Распространяется бесплатно

## О ЖУРНАЛЕ

Научный журнал «Инновационное приборостроение» – периодическое научное СМИ, которое издается с 2022 г. Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП) с целью консолидации и развития научных знаний и практических наработок в основных сферах его научной деятельности. В журнале «Инновационное приборостроение» публикуются научные обзоры, статьи проблемного и научно-практического характера по следующим направлениям: приборостроение, метрология, стандартизация и управление качеством; радиотехника, инфокоммуникационные технологии и системы связи; кибберфизические системы и цифровая трансформация; фундаментальные науки и прикладные исследования; цифровая экономика и управление организацией.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ № ФС 77-83496 от 24.06.2022.

Научная статья  
УДК 330.131.7

DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-5-8

## Практика применения TQM в радиоэлектронной промышленности

Елена Александровна Фролова<sup>1</sup>

frolovaelena@mail.ru, orcid.org/0000-0001-9512-3879, SPIN-код: 9285-1102

Альбина Сергеевна Тур<sup>1</sup>

✉ liona1996@yandex.ru, SPIN-код: 7504-7880

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Описываются некоторые успехи и неудачи применения метода TQM на предприятиях оборонной промышленности и радиоэлектроники и содержатся рекомендации для тех, кто желает внедрить такой метод на своем рабочем месте.

**Ключевые слова:** улучшение качества, всеобщий менеджмент качества, постоянное совершенствование, планирование

**Для цитирования:** Фролова Е. А., Тур А. С. Практика применения TQM в радиоэлектронной промышленности // Инновационное приборостроение. 2024. Т. 3, № 3. С. 5–8. DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-5-8.

Original article

## Practical application of TQM in the radioelectronic industry

Elena A. Frolova<sup>1</sup>

frolovaelena@mail.ru, orcid.org/0000-0001-9512-3879, SPIN-code: 9285-1102

Albina S. Tur<sup>1</sup>

✉ liona1996@yandex.ru, SPIN-code: 7504-7880

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The article describes some of the successes and failures of the TQM method at defense and electronics companies and provides recommendations for those who wish to implement such a method in their own workplace.

**Keywords:** quality improvement, total quality management, continuous improvement, planning

**For citation:** Frolova E. A., Tur A. S. Practical application of TQM in the radioelectronic industry. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2024;3(3):5–8. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-5-8.

### Введение

Большинство сотрудников и владельцев бизнеса знакомы с терминами «TQM», «бережливое производство», «непрерывное совершенствование», «управление изменениями», «корпоративное сокращение штатов», «реинжиниринг» и «горизонтальное управление». Джек Стэк, президент корпорации *Springfield Remanufacturing Corporation*, создал подход, который называется «Большая игра в бизнес». Этот подход при помощи небольших заданий учит людей не только зарабатывать деньги для себя, но и в то же время повысить прибыль компании. Подход предлагает инструменты, которые необходимы для успешного выполнения работы и в то же время снижают производственные затраты и время выполнения заказа, а также позволяют отслеживать соблюдение требований к качеству.

Справиться с проблемами снижения затрат и обеспечения качества продукции может пока-

заться сложной задачей, но грамотное использование на практике широкого спектра инструментов, перечисленных выше, и есть ключ к достижению успеха в бизнесе [1].

### Триада качества

Любая организация, как правило, очень сильно фокусируется на финансовых ожиданиях (владельцев, акционеров и т. д.), или так называемой триаде качества (рисунок). Фактически в организации существует целое подразделение, бухгалтерия, которое работает восемь часов в день, пять дней в неделю, чтобы убедиться, что эти финансовые ожидания оправдались, часто в ущерб ожиданиям сотрудников и клиентов. Если ожидания сотрудников и клиентов не оправдываются, то вскоре начнутся проблемы, которые не будут быстро и успешно решены. Можно утверж-



- *Триада качества*
- *Quality triad*

дать, что на самом деле это удача, когда проблема достаточно велика – в таком случае ее легко заметить, потому что тогда появляется возможность возложить ответственность на сотрудника за неполадки. По крайней мере, в этом случае «старые методы» ведения дел могут быть непосредственно оспорены. Гораздо более тяжелые последствия возникают, когда проблемы не видны сразу.

Если не удастся достичь баланса между ожиданиями всех заинтересованных лиц, организация страдает от внутреннего разрушения, поскольку клиенты и сотрудники «разъедают» друг друга и себя в отчаянной попытке получить недостающее удовлетворение, или же они «тонут в бассейне» неэффективности, негативно влияя на прибыль и любые конкурентные преимущества процесса. Чтобы этого избежать, необходимо, чтобы все люди, задействованные в процессах, сообщили друг другу о своих потребностях [2]. Эта концепция может показаться очевидной, но практика продолжает доказывать тот факт, что результативность работы полностью зависит от налаженной коммуникации между группами и отдельными людьми, в противном случае эффективность работы пострадает. Для решения этой проблемы отлично подойдет организация междисциплинарных команд.

## Формирование команды

Часто многие цели должны продвигаться одновременно. Исследования и маркетинг – хорошие примеры этой концепции. Желательно выводить новые продукты на рынок, если они задуманы и сконструированы таким образом, чтобы продажи начались немедленно, одновременно с тем, как производственная линия готовится к выпуску нового продукта. Этот тип координации предполагает тесное общение между многими отделами, такими как отдел закупок, инженерный отдел, отдел охраны окружающей среды и безопасности, отдел менеджмента и отдел производства. При создании междисциплинарной команды, состоящей из ключевых представителей каждого из

указанных отделов, проблема может быть решена эффективно и продуктивно.

Совещания в таких группах, как правило, приносят результаты, поскольку в состав команды входят сотрудники, которые имеют непосредственное отношение к затронутой теме. Благодаря тому, что в команде есть ключевые сотрудники из разных подразделений, принимающие участие в планировании этапов, в процессе обсуждения снижается вероятность допущения ошибок. Члены команды становятся мотивированными работниками, потому что чувствуют, что контролируют ситуацию и испытывают удовлетворение от своей работы, потому что они решают собственные проблемы, а не слепо выполняют приказы начальника – человека, который слишком часто бывает так далек от реальной проблемы, что может оказаться неспособным диагностировать ее и предложить эффективное решение. В настоящей командной ситуации руководитель часто играет роль, скорее, тренера, когда он намечает основной план игры, а затем позволяет игрокам использовать свое мастерство и интеллект, чтобы найти выигрышное решение.

Для достижения высоких результатов командам необходимо дать правильный инструментарий и разрешить выражать свое согласие или несогласие [3]. Дискуссии и обоснованная критика позволяют избежать морального давления группы, снижения умственной активности и ошибочных суждений. Команда обязательно должна включать в себя заинтересованных в успешном результате сотрудников, которые пользуются заслуженным уважением и обладают достаточными навыками и опытом в своей области.

Для того, чтобы план TQM, или непрерывного совершенствования, стал успешным, необходимо потратить время на изучение ключевых этапов программы и внимательно ознакомиться с потенциальными «подводными камнями» и способами их преодоления. Конечно, ничего из этого не будет работать без чуткой поддержки и быстрого внимания со стороны руководства.

Зачастую сотрудники сталкиваются с тем, что при возникновении ежедневных проблем руководители не предпринимают действий по их решению. Во многих организациях решение таких проблем занимает продолжительное время, особенно в тех случаях, когда присутствует необходимость внесения изменений в конструкторскую и технологическую документацию, когда требуется согласование в различных структурных подразделениях, а также с заказчиком. Руководство может не предпринимать быстрого решения проблем по разным причинам: потому что не имеет достаточного представления о важности пробле-

мы и, соответственно, не уделяет должного внимания или потому что не обладает необходимым объемом информации о возникшей ситуации.

Решение этого затруднительного положения известно как «режим политики 24/72». Режим подразумевает, что если сотрудники нуждаются во внимании руководства, менеджеры уведомят их в течение 24 часов и примут решение в течение 72 часов. Если менеджер не может сделать это в 90 % случаев, то ему, возможно, потребуется переложить часть ответственности на нижестоящие подразделения, чтобы высвободить больше времени для управления ситуациями по мере их возникновения. В процессе TQM одной из конечных целей является предоставление линейным работникам максимальной способности принимать решения. Поступая таким образом, можно устранить основное «узкое место». Руководителю-менеджеру не придется обрабатывать запросы от сотни сотрудников, что тормозило бы общий план работы, каждому из них предоставляется свобода действий на согласование решения проблемы с тем или иным подразделением. Опытные команды могут параллельно заниматься решением проблем в различных проектах, но большинство, как правило, сталкиваются с рядом сложностей еще на ранних стадиях разработки проекта [4]. Осуществление максимального контроля самими сотрудниками в нужном векторе благоприятно сказывается на любых командах, функционирующих на предприятии. Быстрая реакция руко-

водства придает членам команды сил и позволяет им укреплять собственную уверенность в успехе.

Добиться желаемого признания можно, только ведя тщательный учет успехов и неудач и четко и лаконично показывая, какие программы работают, а какие нет. К сожалению, получение такого рода информации может быть трудным и отнимать много времени, если системы статистического управления технологическими процессами не внедрены.

## Заключение

Испытания, которым подвергаются бизнес-стратегии, бизнес-процессы или обычные процедуры, иногда могут отвлекать от основных целей проекта мелкими деталями и недочетами, в связи с чем прогресс существенно замедляется. Людям непросто принимать происходящие изменения и перемены, куда очевиднее применять проверенные и надежные концепции, даже если до успешного результата пара шагов. Тем организациям, которые внедряют метод постоянного совершенствования, следует действовать с особой осмотрительностью: просчитывать заранее и анализировать затраты/выгоды любого планируемого действия, обсуждать план с менеджерами всей командой, принимать обоснованные решения и действовать, руководствуясь ими, черпать опыт из неудач, ориентироваться на положительные результаты, оценивать прогресс.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Салтанова М. Д., Панькова А. И. TQM (Total Quality Management) – инструменты управления качеством // Инновационная экономика и право. 2020. № 1 (15). С. 129–130.
2. Организация системы планирования на предприятии / Т. В. Полякова [и др.] // Экономика, управление, финансы: Материалы IX Междунар. науч. конф. (СПб., 20–23 окт. 2018 г.). СПб.: Свое изд-во, 2018. С. 53–56.
3. Суржиков М. А., Салтанова Т. А. Создание среды TQM с вовлечением персонала на всех уровнях управления компанией // Вестн. Ростов. гос. эконом. ун-та. 2020. № 4 (72). С. 165–170.
4. Варулина А. С. Всеобщее управление качеством как инструмент управления инновационной деятельностью на предприятии (ретроспективный анализ) // Бизнес. Образование. Право. 2017. № 4 (41). С. 237–240.

## REFERENCES

1. Saltanova M. D., Pankova A. I. TQM (Total Quality Management) – quality management tools. Innovative economics and law. 2020;1(15):129–130. (In Russ.).
2. Polyakova T. V., Seliverstov A. S., Utkin D. Y. et al. Organization of the planning system at the enterprise. Economics, management, finance: Proceedings of the IX International scientific conference (SPb., 20–23 October 2018). SPb.: Svoye publishing house; 2018, pp. 53–56. (In Russ.).
3. Surzhikov M. A., Saltanova T. A. Creating a TQM environment with personnel involvement at all levels of company management. Bulletin of Rostov State University of Economics. 2020;4(72):165–170. (In Russ.).
4. Varulina A. S. General quality management as a tool for managing innovation activity at the enterprise (retrospective analysis). Business. Education. Pravo. 2017;(4(41)):237–240. (In Russ.).

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Фролова Елена Александровна**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой инноватики и интегрированных систем качества Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – методы управления качеством сложных технических систем.

**Тур Альбина Сергеевна**, старший преподаватель кафедры инноватики и интегрированных систем качества Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – управление качеством производства электронных компонентов.

**Frolova Elena A.**, D. Sc. in Technical Sciences, Associate Professor, Head at the Department of Innovation and Integrated Quality Systems, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – methods of quality management of complex technical systems.

**Tur Albina S.**, Senior Lecturer at the Department of Innovation and Integrated Quality Systems, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – quality management of the production of electronic components.

Поступила в редакцию 25.03.2024

Поступила после рецензирования 29.03.2024

Принята к публикации 12.05.2024

Received 25.03.2024

Revised 29.03.2024

Accepted 12.05.2024

## Организационный дизайн для технологических инноваций

Станислав Анатольевич Назаревич<sup>1</sup>

albus87@inbox.ru, orcid.org/0000-0002-0665-8036, SPIN-код: 7136-4599

Мария Юрьевна Белова<sup>1</sup>

marebel13@mail.ru, orcid.org/0009-0005-9959-8026, SPIN-код: 3178-7332

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Описана концепция современного подхода к организации производства – организационный дизайн. Определена взаимосвязь между выстраиванием организационного дизайна и внедрением технологических инноваций в рамках превентивной перестройки существующей системы на контрсистему для дублирования существующих функций или элементов целевой структуры. Результатом исследования является решение проблемы при формировании этапов развертывания основных процессов по реализации принципов организационного дизайна и внедрения в структурную целостность управляющих систем производственной иерархии посредством технологических инноваций.

**Ключевые слова:** организационный дизайн, технологические инновации, тренд, превентивная перестройка, структура организации, инфраструктура организации, управление изменениями

**Для цитирования:** Назаревич С. А., Белова М. Ю. Организационный дизайн для технологических инноваций // Инновационное приборостроение. 2024. Т. 3, № 3. С. 9–14. DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-9-14.

Original article

## Organisational design for technological innovation

Stanislav A. Nazarevich<sup>1</sup>

albus87@inbox.ru, orcid.org/0000-0002-0665-8036, SPIN-code: 7136-4599

Maria Yu. Belova<sup>1</sup>

marebel13@mail.ru, orcid.org/0009-0005-9959-8026, SPIN-code: 3178-7332

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** This article describes the concept of a modern approach to production organisation – organisational design. The interrelation between building organisational design and implementation of technological innovations within the framework of preventive restructuring of the existing system into a counter-system to duplicate existing functions or elements of the target structure is defined. The result of the research is the solution of the problem in the formation of the stages of deployment of the main processes for the implementation of the principles of organisational design and implementation in the structural integrity of the control systems of the production hierarchy by means of technological innovations.

**Keywords:** organisational design, technological innovation, trend, preventive redesign, organisation structure, organisation infrastructure, change management

**For citation:** Nazarevich S. A., Belova M. Yu. Organisational design for technological innovation. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2024;3(3):9–14. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-9-14.

### Введение

Трансформация бизнес-процессов и улучшения, направленные на создание уникальных возможностей предприятий и производств, реализуются посредством современных технологических инноваций, потенциал которых носит иррациональный характер в течение создания цепочки ценности при первой апробации. Наличие исключительно технологических решений вызывает определенную степень риска при реализации данного потенциала, из-за чего снижается степень готовности организации к интеграции

в свою деятельность инновационных решений. Переход к организационному дизайну обеспечивает соответствие параметров организационной системы, процессов и инфраструктуры организации требованиям технологических инноваций, складывающихся из трендов, коррелирующих с технологическими инновациями.

### Концепция организационного дизайна

Организационный дизайн представляет собой сложный процесс для традиционных систем,

влекущий за собой сопротивление персонала и сложность в реализации применяемых технологий, включая процессы системного инжиниринга и затрагивая, таким образом, только те элементы структурных подразделений, которые участвуют в процессе интеграции и подлежат частичной реструктуризации для дополнения функционала [1]. Концепция организационного дизайна послужила ответом на новые вызовы, которые возникли в ходе перестройки индустриальной промышленности.

Организационный дизайн направлен на минимизацию демотивации сотрудников с целью сохранения человеческого потенциала и обладает следующим функционалом:

1) мониторинг ключевых показателей – определение функционала персонала и выстраивание цепочки создания ценности;

2) процесс мнимой реструктуризации на бумаге. Плановые изменения, которые могут оптимизировать либо существующую цепочку создания ценности, либо ее постепенное сокращение (вывод продукта из оборота);

3) формирование контрсистемы для дублирования существующих функций или элементов целевой системы. Данная система будет необходима для осуществления наблюдений за измененной корпоративной культурой.

Действие организационного дизайна распространяется как на организационные задачи, включающие в себя процессы принятия решений, коммуникацию и выстраивание открытой культуры организации среди персонала, так и на параметры составляющей организационной системы, направленной на реинжиниринг инфраструктуры, целями которого являются адаптация изменений в технологической среде и интеграция новых решений в выстроенную новую контрсистему.

Параметры составляющей организационной системы:

1) структура организации является ключевым параметром взаимодействия с выстроенной культурой организации, формирующей иерархию между подсистемами и системами. Иррациональные решения не могут внедряться в консервативную структуру организации. Организационный дизайн позволяет быстро реагировать на изменения и трансформировать выстроенные взаимосвязи в дублирующей контрсистеме для создания возможности эффективного внедрения технологических инноваций;

2) процессы и процедуры обеспечивают рациональность внедрения технологических инноваций, основанных на анализе структуры и инфраструктуры организации, их когерентное взаимо-

действие для достижения поставленных целей и коммуникации с внешними стейкхолдерами;

3) для определения уровня готовности к изменениям и внедрению инноваций в основной системе необходимо исследовать инфраструктуру организации. Высокотехнологично спланированная инфраструктура позволяет итерационно внедрять инновации, коррелирует функции различных отделов и цехов;

4) внедрение инновационных решений влечет за собой появление новых рисков, контроль которых необходимо обеспечивать с помощью создания контроля по управлению изменениями и рисками. Управление изменениями направлено на усиленную структуризацию и встраивание стратегий по управлению ожиданиями и контролю мотивации персонала. Управление рисками направлено на их своевременное выявление для итерационного внедрения новых технологий в систему и контрсистему;

5) ключевыми параметрами составляющей организационной системы являются лидерство и управление. Руководители и их заместители, двигающие процесс контрсистемы в организационном дизайне, выстраивающие иерархичную структуру управления, необходимую для сопротивления внешних факторов в виде окружения. Руководители должны иметь представление о вызовах и возможностях для организации.

Интегральность подхода в организационном дизайне, учитывающего перечисленные параметры составляющей системы, позволяет подготовить производство и предприятия к перестройке в гибких неопределенных обстоятельствах, которые определяются факторами внешней среды, находящимися в зависимости от окружения. Взаимодействие параметров и их комплексное изменение позволят элементам системы оставаться конкурентоспособными.

Для поддержания конкурентоспособности необходимо итерационное внедрение инновационных технологий, поддерживающих уровень и производительность компаний. Внедрение технологических инноваций может протекать когерентно с реализацией организационного дизайна, заключающегося в изменениях для инфраструктуры организации и управленческих подходов. Когерентность данных процессов будет заключаться в необходимости внедрения организационного дизайна, обеспечивающего проведение превентивной перестройки перед формированием технологических инноваций в организационной системе.

Организационный дизайн для управляющих систем, реализующих технологические инновации, содержит следующие проблемы при форми-

ровании этапов развертывания основных процессов по реализации принципов организационного дизайна и внедрения в структурную целостность управляющих систем производственной иерархии:

1) неточность перечня подсистем для проведения анализа, отражающего инновационное содержание;

2) ненадежность основных подходов к процессу проектирования организации и ее дизайна.

Согласно [2], основными факторами, воздействующими на организационный дизайн, могут быть факторы внешней среды, которые несет окружение, анализирующее ситуацию с помощью таких простых инструментов, как SWOT- и PEST-анализ, включая стратегию общего поведения по целям и реализации стратегических идей, посредством создания структуры содержания задач. Факторы внешней среды имеют ограничения в виде управленческого стиля и климата в окружении, что представляет собой уникальные организационные характеристики, влияющие на организационный дизайн.

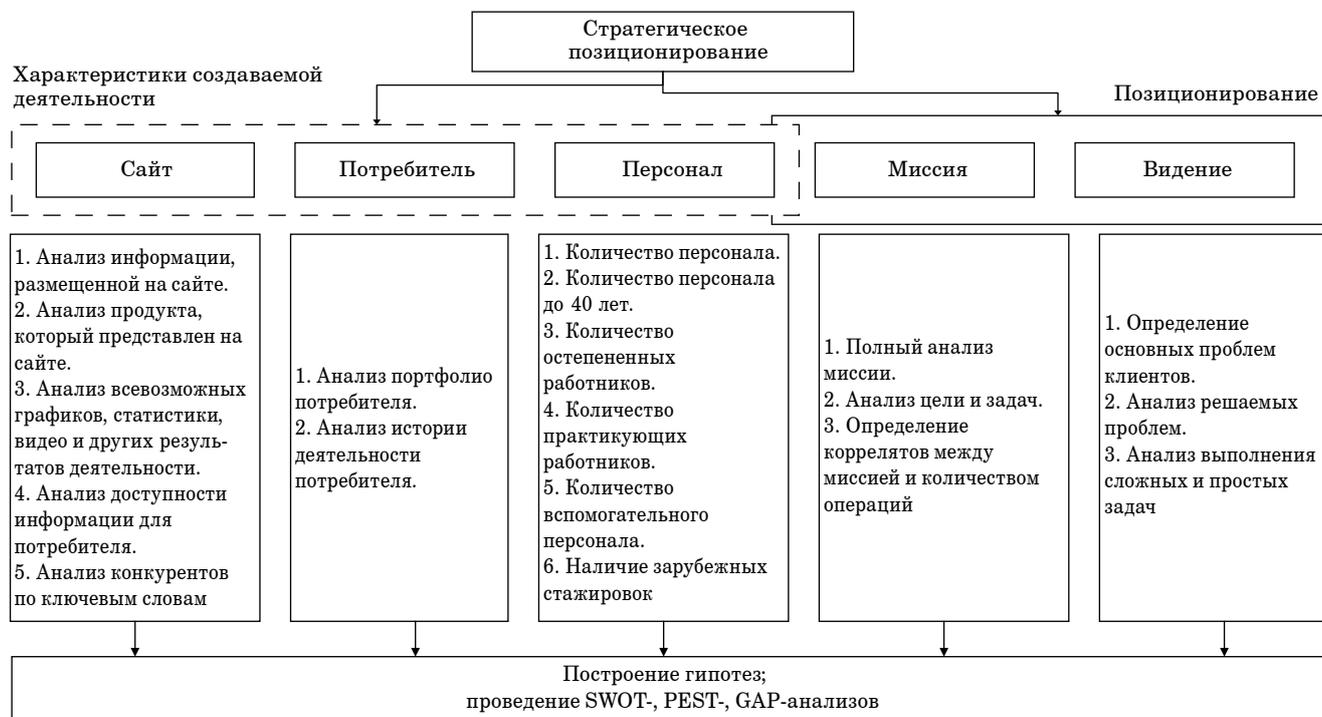
Для формирования организационного дизайна для технологических инноваций необходимо применять анализ стратегического позиционирования, который будет основываться на двух составляющих – характеристика создаваемой деятельности и позиционирования (рис. 1).

Среди подходов для анализа технологических инноваций будет применяться диагностический, основанный на анализе тренда, определяемого как актуальное, прорывное и активно развивающееся направление технологического развития, способное существенно повлиять на будущее экономики и общества [3]. Определяющие параметры для проведения диагностики технологических трендов приведены в таблице.

С помощью реализации в виде диаграммы Парето (рис. 2) можно определить, что доступность для анализа перечисленных параметров для проведения диагностики технологических трендов, коррелирующих с технологическими инновациями, влияет на полученный результат в соотношении 80/20. Таким образом, трудозатратнее отследить цифровой след трендов, применяемых на рынке, но влияние, оказываемое на диагностику процесса, данный фактор оказывает наивысший.

На основе диаграммы выявлены методы организационного дизайна, влияющие на реализацию инноваций (рис. 3).

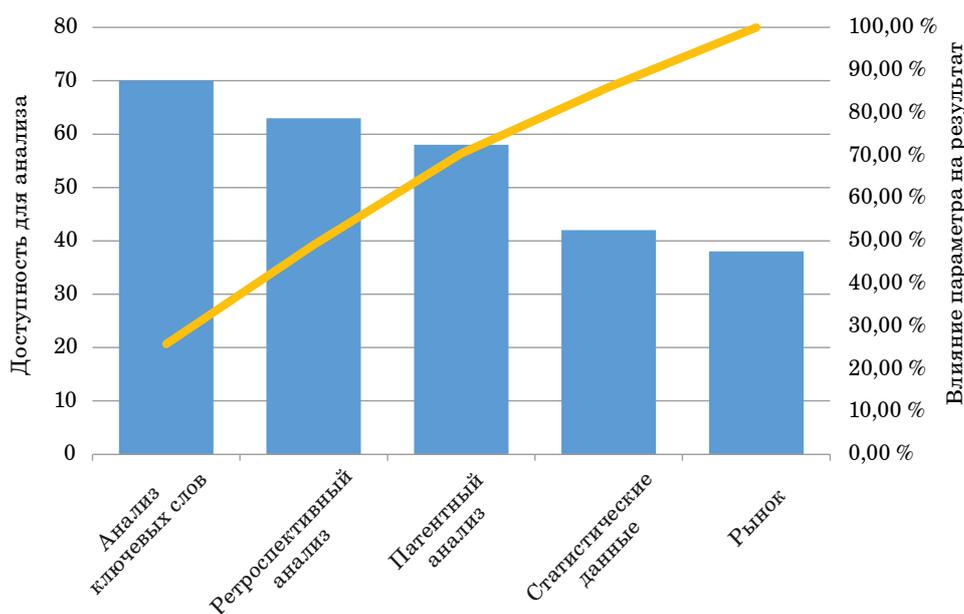
На точечной диаграмме определен рост внедрения методов организационного дизайна для реализации инноваций. Превентивная перестройка перед внедрением технологических инноваций в организационную систему будет



• Рис. 1. Схема стратегического позиционирования  
 • Fig. 1. Scheme of strategic positioning

- *Обобщенное описание параметров для проведения диагностики технологических трендов*
- *Generalized description of parameters for diagnostics of technological trends*

Определяющие параметры	Ожидаемый результат	Используемые данные
Статистические данные	Сформированный банк востребованных технологических трендов, отвечающих запросам общества и экономики	Атлас новых профессий, результаты форсайт-сессий, проекты и сквозные технологии Национальной технологической инициативы
Рынок	Подтверждение внедрения и развития выявленных технологических трендов в практике передовых технологических центров страны	Направления развития и развивающиеся проекты передовых технологических трендов
Ретроспективный анализ	Результаты применимости трендов в развитии сложных систем с помощью проведения анализа и оценки применимости ранее	Оценка применения трендов в практике
Патентный анализ	Статистика по изучению тренда и его внедрению в другие разработки	Патентные ландшафты, зарегистрированные патенты
Анализ ключевых слов	Результаты об упоминаниях трендах, его компонентах в научных исследованиях, презентациях, заседаниях и др.	Ресурсы сети Интернет

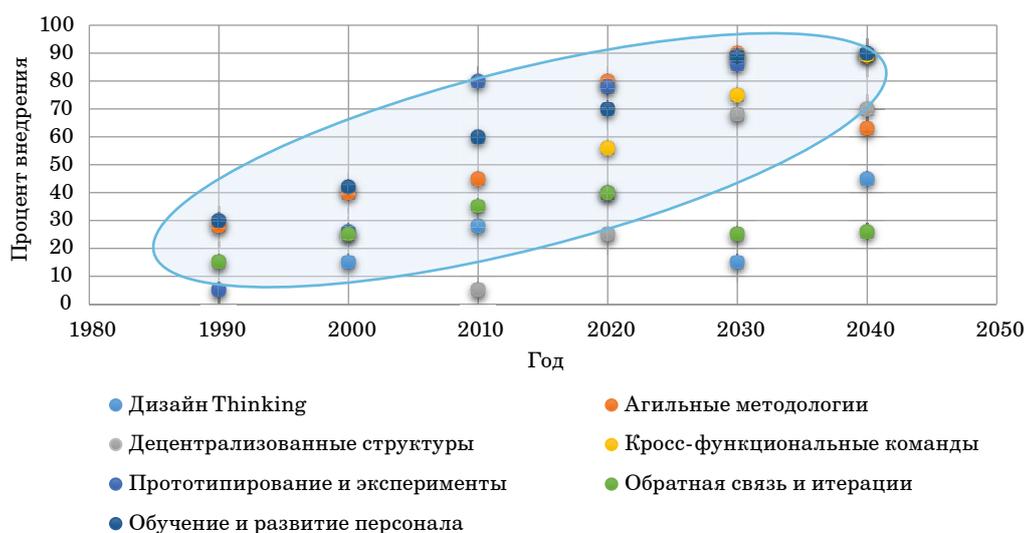


- *Рис. 2. Диаграмма Парето для определения параметров для проведения диагностики технологических трендов*
- *Fig. 2. Pareto diagram for determining parameters for diagnostics of technological trends*

осуществляться с помощью актуальных методов и инструментов организационного дизайна, нацеленных и рекомендованных для формирования понимания потребностей пользователей, глубокого анализа проблемы, генерации идей и создания инновационных решений через коллективный дизайн структуры организации и итеративный процесс на предприятии.

### Заключение

Организационный дизайн для технологических инноваций позволяет сформировать не только организационную структуру, но и инфраструктуру организации, базирующуюся на управлении знаниями и изменениями. Таким образом, внедрение технологических инноваций



- Рис. 3. Сравнительное использование методов организационного дизайна для реализации инноваций
- Fig. 3. Comparative use of organizational design methods for innovation implementation

носит сложный характер, определяемый уровнем подготовленности производства к появлению изменений, влекущих риски и вызовы. Переход к организационному дизайну и применение инструментов и подходов как раз позволяет осуще-

ствить необходимую перестройку организации на новых ключевых ориентирах и аспектах, интегрирующихся с технологическими трендами, определяющими стратегию противодействия факторам и вызовам внешней среды.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мотышина М. С. Организационный дизайн как системная концепция // SAEC. 2019. № 3. С. 8–12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionnyy-dizayn-kak-sistemnaya-kontseptsiya> (дата обращения: 20.02.2024).
2. Гурков И. Б. Инновации на обычном предприятии // Основы инновационного менеджмента. 2009. № 1. С. 187–202.
3. Микова Н., Соколова А. Мониторинг глобальных технологических трендов: теоретические основы и лучшие практики // Форсайт. 2014. № 4. С. 64–83. URL: <https://foresight-journal.hse.ru/data/2016/01/22/1137719339/06-Микова-64-83.pdf> (дата обращения: 10.03.2024).

## REFERENCES

1. Motyshina M. S. Organisational design as a system concept. SAEC. 2019;(3):8–12. (In Russ.). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionnyy-dizayn-kak-sistemnaya-kontseptsiya> [Accessed 20 February 2024].
2. Gurkov I. B. Innovations at an ordinary enterprise. Fundamentals of innovation management. 2009;(1):187–202. (In Russ.).
3. Mikova N., Sokolova A. Monitoring of global technological trends: theoretical foundations and best practices. Foresight. 2014;(4):64–83. Available from: <https://foresight-journal.hse.ru/data/2016/01/22/1137719339/06-Микова-64-83.pdf> [Accessed 10 March 2024].

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Назаревич Станислав Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инноватики и интегрированных систем качества Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

**Nazarevich Stanislav A.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Innovation and Integrated Quality Systems, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Область научных интересов – оценка степени новизны инновационной продукции, квалиметрическая оценка, управление процессами.

**Белова Мария Юрьевна**, студентка кафедры инноватики и интегрированных систем качества Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – оценка степени новизны инновационной продукции, исследование квалиметрических оценок технического уровня, управление изменениями.

Поступила в редакцию 25.03.2024

Поступила после рецензирования 29.03.2024

Принята к публикации 12.05.2024

Research interests – evaluation of the degree of novelty of innovative products, qualimetric evaluation, process management.

**Belova Maria Yu.**, Student at the Department of Innovation and Integrated Quality Systems, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – assessment of the degree of novelty of innovative products, research of qualimetric assessments of technical level, change management.

Received 25.03.2024

Revised 29.03.2024

Accepted 12.05.2024

Научная статья  
УДК 378.141

DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-15-20

## Исследование типовых несоответствий в обновленной информационной системе суперсервиса «Поступление в вузы онлайн»

**Александра Юрьевна Тихомирова<sup>1</sup>**

✉ aliatikho@mail.com, orcid.org/0009-0009-7801-1336, SPIN-код: 9198-8924

**Станислав Анатольевич Назаревич<sup>1</sup>**

albus87@inbox.ru, orcid.org/0000-0002-0665-8036, SPIN-код: 7136-4599

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Ставится цель создания методического аппарата для обеспечения качества принятия решения при выборе образовательного учреждения. Проводится анализ проблематики функционирования работы суперсервиса «Поступление в вузы онлайн» и приемной кампании вузов России. Предлагается элемент методического аппарата для обеспечения качества принятия решения при выборе образовательного учреждения.

**Ключевые слова:** приемная кампания, поступление, поступление в вузы онлайн, суперсервис, вузы России

**Для цитирования:** Тихомирова А. Ю., Назаревич С. А. Исследование типовых несоответствий в обновленной информационной системе суперсервиса «Поступление в вузы онлайн» // Инновационное приборостроение. 2024. Т. 3, № 3. С. 15–20. DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-15-20.

Original article

## Investigation of typical inconsistencies in the updated information system of the superservice “Admission to Universities online”

**Alexandra Yu. Tikhomirova<sup>1</sup>**

✉ aliatikho@mail.com, orcid.org/0009-0009-7801-1336, SPIN-code: 9198-8924

**Stanislav A. Nazarevich<sup>1</sup>**

albus87@inbox.ru, orcid.org/0000-0002-0665-8036, SPIN-code: 7136-4599

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The aim of the work is to create a methodological apparatus to ensure the quality of decision-making when choosing an educational institution. The analysis of the problems of the functioning of the superservice “Admission to Universities online” and the admission campaign of Russian universities is carried out. An element of the methodological apparatus is proposed to ensure the quality of decision-making when choosing an educational institution.

**Keywords:** admission campaign, admission, admission to universities online, superservice, universities of Russia

**For citation:** Tikhomirova A. Yu., Nazarevich S. A. Investigation of typical inconsistencies in the updated information system of the superservice “Admission to Universities online”. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2024;3(3):15–20. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-15-20.

### Введение

Поступление в высшее учебное заведение является первоочередным двигателем для успешного развития карьерного роста. С каждым годом высшее образование все больше становится главным приоритетом у населения возрастной категории «молодежь». Актуально создание методического аппарата для обеспечения качества принятия решения при выборе образовательного учреждения. Каждый год в вузы России подается

больше 3 млн заявок на обучение по направлению бакалавриата и специалитета, если считать только очную форму обучения [1].

В XXI в. по всему миру полным ходом идет цифровизация множества процессов. В 2019 г. Правительством России был запущен проект суперсервиса «Поступление в вуз онлайн». Данный проект действует на базе Единого портала государственных услуг, вся система суперсервиса представляет собой комплекс государственных

- FMEA-анализ процесса разработки суперсервиса во время приемной комиссии
- FMEA-analysis of the process of developing a superservice during the admission committee

Процесс	Проблематика	Последствия для потребителя	S	Причины возникновения	O	Методы обнаружения проблемы	D	ПЦР	Предупреждающие действия	Результаты работы			
										предпринятые действия			баллы
										S	O	D	ПЦР
Поступление в вуз через суперсервис «Поступление в вузы онлайн»	Трудности в консультировании преподавателями	Неправильный выбор специальностей и приоритетов	4	Отсутствие ответа на телефонные горячей линии/ перегруз системы	6	Мониторинг работы горячей линии	4	96	Разгрузка системы операторов	4	4	2	36
	Трудности в мониторинге статуса абитуриента	Невозможность отслеживать статус для поступающего	9	Перегруз системы	5	Мониторинг системы	3	135	Разгрузка системы	9	3	2	54
	Трудности в сдаче вступительных испытаний	Непоступление в вуз	9	Сбившиеся даты вступительных испытаний	4	Мониторинг системы	2	72	Повышение мониторинга системы	9	2	1	18
				Невозможность записаться на вступительные испытания	4	Мониторинг системы	4	144	Разгрузка системы	9	4	2	81

услуг, сгруппированных по тематикам, относящимся к типичным жизненным ситуациям [2].

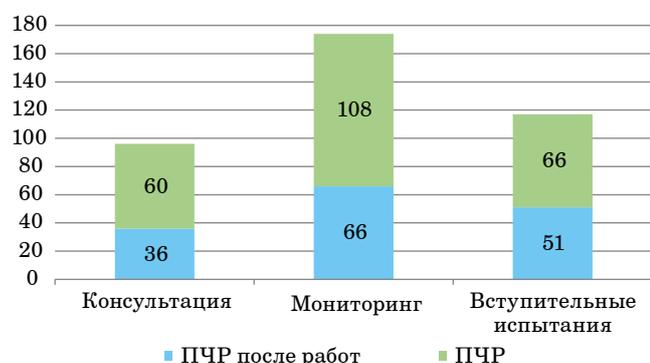
**Целью** исследования является создание алгоритма для обеспечения качества принятия решения при выборе образовательного учреждения.

### Выявление проблем в использовании суперсервиса «Поступление в вузы онлайн»

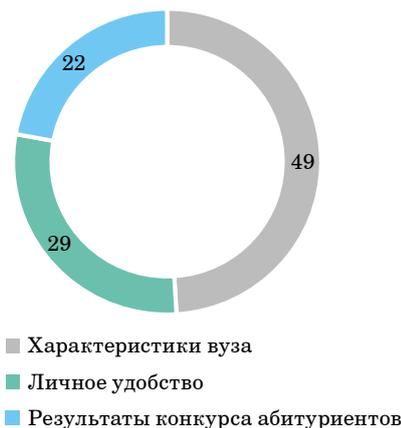
Среди студентов, поступивших в вузы в 2020 г. [3] и 2022 г., был проведен опрос. Респондентами были отмечены основные проблемы, с которыми они столкнулись при подаче документов через суперсервис, и на основании полученных ответов выделены основные критерии FMEA-анализа процесса поступления абитуриентов в вузы (таблица). Вычисление приоритетного числа рисков (ПЧР) позволило определить приоритетную проблему в процессе поступления в вузы через суперсервис.

Результаты проведенного FMEA-анализа выявили (рис. 1), что сбои в системе, связанные с мониторингом статуса абитуриента в списках, приводят к невозможности отследить статус в списке поступающих и, как следствие, к неправильной оценке рисков при подаче документов в вуз. Необходимо уделить особое внимание этому вопросу и разработать меры, чтобы минимизировать риски возможных сбоев в системе. В целом, FMEA-анализ показал, что улучшение надежности системы мониторинга и своевременное выявление проблем могут помочь избежать возможных негативных последствий от проблем в использовании суперсервиса.

Одной из качественных характеристик приемной кампании вузов России является удовлетворенность выбором вуза после окончания приемной кампании. Среди студентов и их родителей был проведен опрос, выявляющий причину вы-



- Рис. 1. ПЧР из FMEA-анализа
- Fig. 1. PMR from FMEA analysis



- Рис. 2. Мотивация абитуриентов при выборе вуза, %
- Fig. 2. Motivation of applicants in choosing a university by applicants, %

бора именно того вуза, в котором бывший абитуриент сейчас обучается. После проведенного анализа можно выделить три ключевые группы ответов [4]. Во-первых, выбор конкретного вуза на основе его внутренних характеристик – его место в рейтинге вузов страны или личный опыт, а также опыт знакомых. Во-вторых – личное удобство, например, близость к дому или цена обучения. И, в-третьих, результаты конкурса абитуриентов (рис. 2).

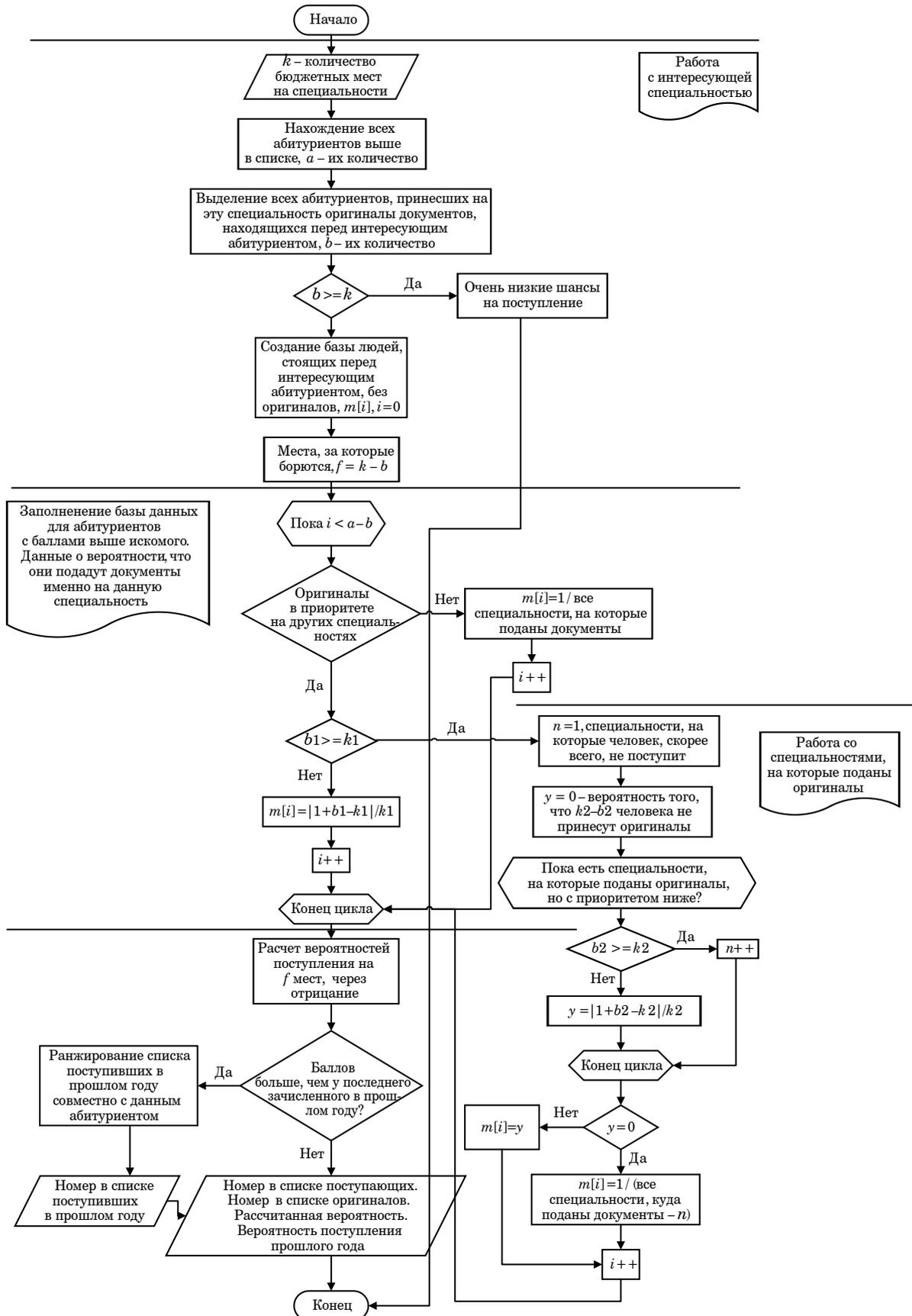
По итогам опроса можно заметить, что результаты конкурса абитуриентов стали определяющими при выборе вуза у более 22 % опрошенных.

У суперсервиса «Поступление в вуз онлайн» есть возможность при помощи, в том числе, искусственного интеллекта вычислять вероятность поступления каждого абитуриента, что, возможно, позволит уменьшить эмоциональное напряжение во время приемной кампании.

### Разработка технического задания для новых функций суперсервиса

Сформируем представление о работе функции «Вычисление вероятности поступления». В первую очередь, обозначим, что информация о «номере в общем списке поступающих» и «номере в списке принесших оригиналы и согласия» уже имеется в функционале сервиса, разрабатывавшегося в 2022–2023 гг. [5–7].

Легко вычисляется вероятность поступления по результатам прошлогоднего конкурса абитуриентов. Программа берет информацию из приказа о зачислении, сравнивает баллы абитуриента с баллами нынешних студентов и выносит вердикт.



• Рис. 3. Алгоритм для вычисления вероятностей поступления выбранного абитуриента  
 • Fig. 3. An algorithm for calculating the probabilities of admission of the selected applicant

Гораздо сложнее вычисление вероятности по постоянно изменяющимся спискам во время проходящей приемной кампании. На рис. 3 показан алгоритм для процесса вычисления. Совершенствование программы можно передать искусственному интеллекту. Сначала программа определяет всех абитуриентов, стоящих в списке перед указанным абитуриентом, и вычисляет вероятность, с которой каждый из выделенного списка будет поступать именно в выбранный вуз. Для этого программа анализирует списки всех вузов, в которых присутствуют абитуриенты, стоящие перед приоритетным для программы абитуриентом. Важно отметить, что изначально программа считает, что абитуриенты, подавшие оригиналы документов, находящиеся в списке перед выбранным абитуриентом, считаются «поступившими». Это значит, что из числа всех бюджетных мест вычитается число абитуриентов, подавших оригиналы, находящихся в списке перед выбранным абитуриентом. Для вычисления вероятности поступления конкретного абитуриента, имея присвоенные вероятности всех абитуриентов перед выбранным абитуриентом, применяется программа, работающая с оставшимся числом бюджетных мест после того, как из всего числа бюджетных мест будет вычтено число абитуриентов, подавших

оригиналы документов, находящихся в списке перед выбранным абитуриентом, и с массивом данных о вероятности подачи документов в другие вузы абитуриентов, находящихся в списке перед выбранным абитуриентом. Программа будет вычислять вероятность через вычитание комбинаций, когда выбранный абитуриент не поступит.

## Заключение

Реализованная часть алгоритма для обеспечения качества принятия решения при выборе образовательного учреждения увеличит удовлетворенность абитуриентов после прохождения этапа приемной комиссии вузов.

Благодаря дополнительному функционалу, разработанному в ходе данного исследования, у абитуриентов появляется возможность в цифрах посмотреть на вероятность их поступления в каждый из выбранных ими вузов. Это упрощает аналитику, проводимую каждым абитуриентом в ходе приемной кампании. Эта функция поможет будущим студентам более разумно распределять свои заявки и уменьшит иллюзии насчет их возможностей.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тихомирова А. Ю. Анализ работы приемных комиссий вузов России за 2020–2022 год // Научный аспект. 2023. Т. 10, № 6. С. 1277–1284. EDN: AMFEZM.
2. Единый портал «Госуслуги». URL: <https://www.gosuslugi.ru/situation> (дата обращения: 20.02.2023).
3. Анализ системы оценивания риска на основе приоритета действий в методе FMEA / Д. И. Панюков, В. Н. Козловский, Д. В. Айдаров, М. В. Шакурский // СТИН. 2022. № 8. С. 45–49. EDN: CIHRNL.
4. Чиркина Т. А., Гусейнова А. Г. Социальная дифференциация образовательных планов при поступлении в вузы: информационный бюллетень / Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». Т. 12. М.: Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики», 2021. 32 с. Doi: 10.17323/978-5-7598-2596-8. EDN: TFIANA.
5. Публичная витрина суперсервиса «Поступление в вуз онлайн» // Суперсервис. URL: <https://superserviceinfo.bmstu.ru/o-superservice> (дата обращения: 08.07.2023).
6. Якушева Т. Г., Юмаев Р. А. Особенности интеграции с государственной системой «Суперсервис „Поступление в вуз онлайн“» на примере приемной комиссии Московского педагогического государственного университета // Вопросы устойчивого развития общества. 2022. № 6. С. 973–977. EDN: AYQFTR.
7. Как устроен рейтинг абитуриентов // Фоксфорд. URL: <https://media.foxford.ru/articles/entrance-rank> (дата обращения: 21.03.2024).

## REFERENCES

1. Tikhomirova A. Yu. Analysis of the work of admissions committees of Russian universities for 2020–2022. Scientific aspect. 2023;10(6):1277–1284. (In Russ.).
2. Unified Public Service Portal. Available from: <https://www.gosuslugi.ru/situation> [Accessed 02 February 2023].
3. Panyukov D. I., Kozlovsky V. N., Aidarov D. V., Shakursky M. V. Analysis of the risk assessment system based on the priority of actions in the FMEA method. STIN. 2022;(8):45–49. (In Russ.). EDN: CIHRNL.

4. Chirkina T. A., Huseynova A. G. Social differentiation of educational plans for admission to universities: newsletter / National Research University Higher School of Economics. Vol. 12. Moscow: National Research University Higher School of Economics; 2021. 32 p. (In Russ.). Doi: 10.17323/978-5-7598-2596-8. EDN: TFIANA.
5. Public showcase of the Superservice “Admission to university online”. Superservice. Available from: <https://superserviceinfo.bmstu.ru/o-superservice> [Accessed 08 July 2023].
6. Yakusheva T. G., Yumaev R. A. Features of integration with the state system “Superservice “Admission to university online” on the example of the admission committee of the Moscow Pedagogical State University. Issues of sustainable development of society. 2022;(6):973–977. (In Russ.). EDN: AYQFTR.
7. How the applicants’ rating works. Foxford. Available from: <https://media.foxford.ru/articles/entrance-rank> [Accessed 21 March 2024].

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Назаревич Станислав Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инноватики и интегрированных систем качества Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – оценка степени новизны инновационной продукции, квалиметрическая оценка, управление процессами.

**Тихомирова Александра Юрьевна**, студентка кафедры инноватики и интегрированных систем качества Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – технологии обработки информации, информационные системы, поддержка принятия решений.

Поступила в редакцию 25.03.2024

Поступила после рецензирования 29.03.2024

Принята к публикации 12.05.2024

**Nazarevich Stanislav A.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Innovation and Integrated Quality Systems, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – assessment of the degree of novelty of innovative products, qualimetric assessment, process management.

**Tikhomirova Alexandra Yu.**, Student at the Department of Innovation and Integrated Quality Systems, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – information processing technologies, information systems, and decision support.

Received 25.03.2024

Revised 29.03.2024

Accepted 12.05.2024

## Веб-приложение по анализу данных методами описательной статистики и машинного обучения

**Алексей Алексеевич Шихотов<sup>1</sup>**

✉ ashikhotov@bk.ru, orcid.org/0009-0005-3142-2630

**Елена Леонидовна Турецкая<sup>1</sup>**

turnetskaya@mail.ru, orcid.org/0000-0002-4219-2819, SPIN-код: 2881-3770

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Описаны процессы выбора средств разработки и реализации с их помощью веб-приложения по анализу данных методами описательной статистики и машинного обучения. Ключевая особенность разработки представляется в доступности программного средства для людей без специальных знаний в области статистики и машинного обучения.

**Ключевые слова:** веб-приложение, разработка, машинное обучение, статистика

**Для цитирования:** Шихотов А. А., Турецкая Е. Л. Веб-приложение по анализу данных методами описательной статистики и машинного обучения // Инновационное приборостроение. 2024. Т. 3, № 3. С. 21–28. DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-21-28.

Original article

## Web-application for data analysis using descriptive statistics and machine learning methods

**Alexey A. Shikhotov<sup>1</sup>**

✉ ashikhotov@bk.ru, orcid.org/0009-0005-3142-2630

**Elena L. Turnetskaya<sup>2</sup>**

turnetskaya@mail.ru, orcid.org/0000-0002-4219-2819, SPIN-code: 2881-3770

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The process of selecting development tools and using them to implement a web application for data analysis using descriptive statistics and machine learning are described. The key feature of the development seems to be the availability of the software tool for people without special knowledge in the field of statistics and machine learning.

**Keywords:** web-application, development, machine learning, statistics

**For citation:** Shikhotov A. A., Turnetskaya E. L. Web-application for data analysis using descriptive statistics and machine learning methods. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2024;3(3):21–28. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-21-28.

Все больше людей сталкиваются с необходимостью использования специализированного программного обеспечения для анализа данных без соответствующих знаний в области статистики и машинного обучения в силу различных причин. Это может быть директор школы, который хочет выделить премию лучшим учителям, или лечащий врач, который делает прогноз заболеваемости этой осенью в городе, но их всех объединяет то, что они работают с данными.

В последние годы растет потребность в специалистах в области машинного обучения. В 2018 г. количество вакансий под заголовком «Data Scientist» выросло в семь раз по сравнению с 2015 г., а вакансий с ключевыми словами «Machine Learning

Specialist» – в пять раз. При этом в первом полугодии 2019 г. спрос на специалистов по Data Science составил 65 % от спроса за весь 2018 г. [1].

Данная тенденция порождает новых специалистов, которые обучаются на программном обеспечении в основном зарубежного производства, например, IBM SPSS Statistics, STATISTICA, Statistical Analysis Software, DATAtab. Большинство программ не имеет поддержки русского языка, бесплатная лицензия жестко ограничена или отсутствует, а в силу ухода некоторых компаний из нашей страны обучение становится еще более затруднительным, поскольку раньше было возможно предоставление обучающей лицензии. Кроме того, стоит отметить, что нередко начина-

ющих специалистов пугает обширное множество функционала, которое нагромождено в интерфейсе программы. Такие серьезные инструменты подходят для более опытных специалистов, но даже им необходимо некоторое время для адаптации.

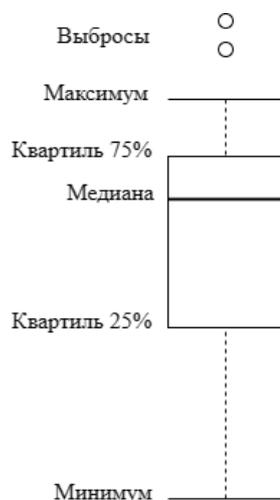
Таким образом, разработка веб-приложения по анализу данных методами описательной статистики и машинного обучения актуальна, поскольку:

- веб-приложение, распространяемое на бесплатной основе, обеспечит доступ пользователя к функционалу без предварительной установки;
- простой интерфейс способствует снижению порога вхождения, поэтому пользователь без специальных знаний сможет пользоваться веб-приложением;
- возможность гибкой настройки инструментов для конкретных данных позволит провести грамотное исследование и сформировать презентабельный отчет.

Перед разработкой веб-приложения был определен перечень методов, который будет включен в реализацию веб-приложения.

Для формирования общего представления о данных вычисляются показатели, называемые описательными статистиками. К ним относятся минимальное, среднее, максимальное, медиана, мода, дисперсия, стандартное отклонение, стандартная ошибка, интервал, квантили, процентили [2]. Все они применяются для одномерного набора данных, и некоторые из них могут требовать визуализации. Примером визуализации может послужить диаграмма размаха, которая изображена на рис. 1.

Для двумерного набора данных используется корреляционный анализ, позволяющий дать



• Рис. 1. Диаграмма размаха  
• Fig. 1. Box plot

оценку взаимосвязи двух одномерных наборов данных. По целому набору данных возможно построить тепловую карту корреляции, отражающую наличие линейной зависимости всех полей со всеми. Кроме того, возможно построение по двумерному набору данных визуализаций, таких как точечная диаграмма и график, которые позволяют определить исследователю характер данных.

Помимо описательной статистики, имеются методы машинного обучения, которые решают задачи трех типов: регрессионный анализ, классификация и кластеризация. Каждый тип задачи имеет огромное множество методов решения, среди которых есть популярные методы. Всего для реализации было выбрано девять методов:

- 1) регрессия:
  - линейная регрессия;
  - полиномиальная регрессия;
  - метод опорных векторов (Support Vector Regression);
- 2) классификация:
  - метод опорных векторов (Support Vector Classifier);
  - логистическая регрессия;
  - дерево решений;
  - случайный лес;
- 3) кластеризация:
  - K-средних;
  - иерархический метод.

Для разработки веб-приложения был выбран язык программирования Python [3], поскольку он является одним из лучших языков программирования для анализа данных. Несмотря на его достаточно скромные стандартные возможности, имеется огромное множество библиотек, позволяющих превратить данный язык программирования в серьезный арсенал инструментов для различных задач. Также Python имеет большое интернет-сообщество на форумах, где каждый может найти ответ на любой интересующий вопрос.

Для реализации серверной части был выбран фреймворк Flask [4], поскольку для реализации небольшого веб-приложения он подходит идеально. Из особенностей данного фреймворка можно выделить следующие: простота и масштабируемость, встроенный сервер разработки и отладчик, поддержка модульного тестирования, шаблонизатор Jinja2, небольшая кривая обучения, множество библиотек от сообщества.

Для реализации всего функционала веб-приложения потребовалось 12 библиотек Python [5] – Flask, Flask\_caching, pycogp2, pymysql, Pandas, NumPy, Matplotlib, sklearn, scipy, csv, zipfile, pickle.

При помощи описанных выше средств было разработано веб-приложение. При открытии веб-приложения пользователя приветствует страница импорта данных (рис. 2). Возможны несколько вариантов загрузки данных – из файла формата \*csv, из базы данных MySQL, из базы данных PostgreSQL.

- Рис. 2. Страница импорта данных
- Fig. 2. Data import page

После загрузки данные автоматически отображаются в формате таблицы на текущей странице (рис. 3). Пользователь имеет возможность начать новый импорт, но в таком случае текущий набор данных и все результаты анализа будут удалены.

После импорта данных пользователю становятся доступны остальные страницы.

На странице **Статистика** пользователь может провести поверхностное исследование данных с помощью метрик описательной статистики, которые представлены в соответствующей таблице описания переменных, а также имеется возможность построить диаграммы следующих типов: график, гистограмма, ящик с усами, точечная, тепловая карта корреляции. Интерфейс страницы показан на рис. 4.

После выбора на странице появляются дополнительные параметры, такие как выбор переменной, задающей значения по оси Y, количество столбцов в гистограмме, прозрачность точек. Также пользователь может ограничить размер осей X и Y, предварительно поставив галочку **Ограничить значения по осям**. Как только все параметры будут заданы, пользователь может нажать на кнопку **Построить**, как показано на рис. 5.

Диаграмма будет мгновенно построена и отображена в таблице диаграмм (рис. 6). Пользователь

	Pregnancies	Glucose	BloodPressure	SkinThickness	Insulin	BMI	DiabetesPed
0	6	148	72	35	0	33.6	0.627
1	1	85	66	29	0	26.6	0.351
2	8	183	64	0	0	23.3	0.672
3	1	89	66	23	94	28.1	0.167
4	0	137	40	35	168	43.1	2.288
5	5	116	74	0	0	25.6	0.201
6	3	78	50	32	88	31.0	0.248
7	10	115	0	0	0	35.3	0.134
8	2	197	70	45	543	30.5	0.158
9	8	125	96	0	0	0.0	0.232
10	4	110	92	0	0	37.6	0.191
11	10	168	74	0	0	38.0	0.537
12	10	139	80	0	0	27.1	1.441

- Рис. 3. Представление данных
- Fig. 3. Data presentation

**Статистика**

**Информация о датасете**

В таблице ниже отображены описательные характеристики по каждой переменной (столбцу данных).

	Pregnancies	Glucose	BloodPressure	SkinThickness	Insulin	BMI	DiabetesPedigreeFunction	Age	Outcome
count	768.000000	768.000000	768.000000	768.000000	768.000000	768.000000	768.000000	768.000000	768.000000
mean	3.845052	120.894531	69.105469	20.536458	79.799479	31.992578	0.471876	33.240885	0.348958
std	3.369578	31.972618	19.355807	15.952218	115.244002	7.884160	0.331329	11.760232	0.476951
min	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.078000	21.000000	0.000000
25%	1.000000	99.000000	62.000000	0.000000	0.000000	27.300000	0.243750	24.000000	0.000000
50%	3.000000	117.000000	72.000000	23.000000	30.500000	32.000000	0.372500	29.000000	0.000000
75%	6.000000	140.250000	80.000000	32.000000	127.250000	36.600000	0.626250	41.000000	1.000000
max	17.000000	199.000000	122.000000	99.000000	846.000000	67.100000	2.420000	81.000000	1.000000

**Визуализация**

Для визуализации необходимо выполнить следующие действия:

- Выберите тип диаграммы:

Ограничить значения по осям

Ось X от  до

Ось Y от  до

Нет созданных диаграмм.

**График Выделить**

- Рис. 4. Страница Статистика
- Fig. 4. Page Statistics

### Визуализация

Для визуализации необходимо выполнить следующие действия:

- Выберите тип диаграммы:
- Выберите столбец для значений оси X:
- Выберите столбец для значений оси Y:
- Прозрачность точек:

Ограничить значения по осям

Ось X от  до

Ось Y от  до

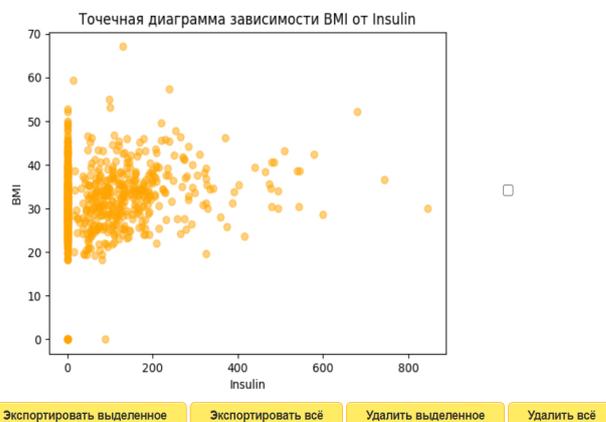
- Рис. 5. Пример формы визуализации
- Fig. 5. Example of a visualization form

может выбрать одну или несколько диаграмм и выполнить действие, предложенное кнопками под таблицей. Варианты действий, доступные пользователю: **экспортировать выделенное**, **экспортировать все**, **удалить выделенное** и **удалить все**.

На странице **Машинное обучение** пользователь может реализовать один или несколько методов машинного обучения. Часть интерфейса страницы, связанная с обучением, показана на

График

Выделить



- Рис. 6. Точечная диаграмма
- Fig. 6. Scatter plot

рис. 7. Пользователю доступны девять методов машинного обучения, решающие задачи регрессии, классификации и кластеризации (рис. 8).

Каждый из методов обладает своим набором параметров, которые необходимо выбрать пользователю. Так, пример выбора параметров для классификации методом опорных векторов показан на рис. 9. Для запуска машинного обучения пользователь должен нажать на кнопку **Запустить обучение**.

### Машинное обучение

Для реализации метода машинного обучения выполните действия ниже.

1. Выберите метод:

Стандартизировать значения столбцов X.

Нет обученных моделей.

№	Тип задачи	Метод	Параметры	Результат	Выбрать

- Рис. 7. Страница Машинное обучение
- Fig. 7. Page Machine learning

## Машинное обучение

Для реализации метода машинного обучения выполните д

1. Выберите метод:

Стандартизировать значения столбцов X.

Нет обученных моделей.

№	Тип задачи	Метод

- Рис. 8. Реализованные методы
- Fig. 8. Implemented methods

## Машинное обучение

Для реализации метода машинного обучения выполните действия ниже.

1. Выберите метод:

Стандартизировать значения столбцов X.

№	Тип задачи	Метод	Параметры	Результат	Выбрать
1	Классификация	Метод опорных векторов (SVC)	Целевой признак Y: Outcome Множество признаков X: ['Glucose', 'BloodPressure', 'SkinThickness', 'Insulin'] Коэфф. регуляризации: 115 Ядровая функция: rbf	Accuracy score: 0.7272727272727273 Матрица ошибок: [[90 10] [32 22]]	<input type="checkbox"/>
2	Классификация	Дерево решений	Целевой признак Y: Outcome Множество признаков X: ['Glucose', 'SkinThickness', 'Insulin', 'BMI'] Критерий разбиения: gini Максимальная глубина дерева: 6	Accuracy score: 0.6948051948051948 Матрица ошибок: [[76 15] [32 31]]	<input type="checkbox"/>

- Рис. 10. Результаты обучения моделей
- Fig. 10. Results of model learning

## Машинное обучение

Для реализации метода машинного обучения выполните действия ниже.

1. Выберите метод:
  2. Выберите столбец классов (label):
  3. Выберите столбец (столбцы) X:
    - Pregnancies
    - Glucose
    - BloodPressure
    - SkinThickness
    - Insulin
    - BMI
    - DiabetesPedigreeFunction
    - Age
    - Outcome
  4. Выберите ядровую функцию (kernel):
  5. Параметр регуляризации:
- Стандартизировать значения столбцов X.

- Рис. 9. Форма машинного обучения
- Fig. 9. Form of machine learning

После завершения обучения данные о модели передаются в информационную таблицу по моделям. В таблице отображена следующая информация: номер строки, тип задачи, метод машинного обучения, параметры модели, результат обучения. Пример отображения реализованных методов машинного обучения показан на рис. 10. Пользователь может выделить один или несколько методов с помощью флажка в последнем столбце таблицы, а после может удалить выделенные

методы. Также пользователь может удалить все сразу с помощью кнопки **Удалить все**.

Некоторые методы, которые относятся к задаче кластеризации, помимо записи в таблицу, возвращают пользователю результаты их работы. Например, метод  $k$ -средних после запуска обучения возвращает пользователю csv-файл, где находится столбец с номерами кластеров, а кластеризация иерархическим методом возвращает

### Предсказание

Для получения предсказанных значений по задачам "Регрессия" и "Классификация" необходимо предоставить датасет с идентичным набором признаков (столбцов), который использовался для обучения.

Выберите модель машинного обучения:

Метод опорных векторов (SVC) - ряд №1

Загрузите данные:

- Из файла формата .csv

Выберите файл Файл не выбран

Использовать первую строку файла как заголовки столбцов.

Стандартизировать значения столбцов X.

Загрузить

- Из базы данных MySQL

Хост

Порт

Пользователь

Пароль

Название БД

Запрос SQL

Стандартизировать значения БД.

Запрос

- Рис. 11. Раздел **Предсказание**
- Fig. 11. **Partition Prediction**

пользователю построенную дендрограмму в виде png-изображения.

После реализации методов машинного обучения пользователь может спуститься в раздел **Предсказание**, расположенный на той же странице под таблицей реализованных методов. Данный раздел позволяет получить предсказания по новым данным, используя реализованные модели, которые решают задачи регрессии или классификации. Внешний вид раздела показан на рис. 11.

В выпадающем списке отображаются модели, которые доступны для выбора, как показано на рис. 12. Для лучшего ориентирования рядом с названием метода через тире был добавлен номер ряда из таблицы обученных моделей.

После выбора модели пользователь загружает данные для предсказания. Возможно загрузить данные из csv-файла или из базы данных PostgreSQL или MySQL. В обоих случаях имена столбцов в датасете должны совпадать с обучающим множеством признаков X.

### Предсказание

Для получения предсказанных значений по датасету необходимо предоставить датасет с идентичным набором признаков, который использовался для обучения.

Выберите модель машинного обучения:

Метод опорных векторов (SVC) - ряд №1

Метод опорных векторов (SVC) - ряд №1

Дерево решений - ряд №2

- Рис. 12. **Выбор модели**
- Fig. 12. **Model selection**

## Настройки

Измените настройки параметров визуализации с помощью формы. Возможно изменение цвета всех диаграмм, за исключением тепловой карты корреляции и ящика с усами.

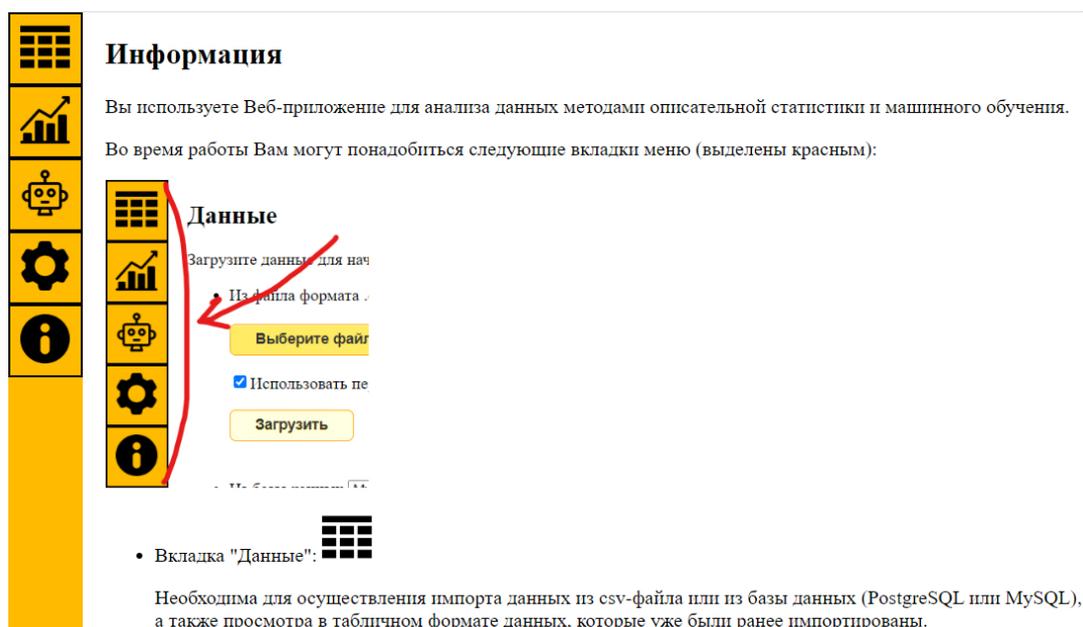
- Выберите основной цвет диаграмм (цвет линий, столбцов и т.д.): Оранжевый (по умолчанию)
- Размер диаграмм (в дюймах, минимум 1.0, 1.1, 1.2, ..., максимум 15.0):
  - Ширина:
  - Высота:
- Разрешение рисунка (в точках на дюйм):

Сетка основных делений

Сетка дополнительных делений

Сохранить

- Рис. 13. **Страница Настройки**
- Fig. 13. **Page Settings**



- Рис. 14. Страница **Информация**
- Fig. 14. Page **Information**

При загрузке из файла пользователь может использовать первую строку как заголовки столбцов, отметив соответствующий флажок, а также может стандартизировать значения.

В случае импорта из базы данных пользователь указывает соответствующую информацию, необходимую для создания соединения, а после может поставить флажок для стандартизации столбцов в датасете.

После импорта файла пользователь мгновенно получает результат предсказания в формате csv-файла.

На странице **Настройки** пользователь может изменить настройки построения диаграмм во вкладке **Статистика**. Для изменения доступны такие параметры, как основной цвет (цвет линий на графике, цвет столбцов на гистограмме), раз-

мер диаграммы, разрешение рисунка, а также наличие сетки основных и дополнительных делений. Интерфейс страницы показан на рис. 13.

Страница **Информация** представляет собой руководство пользователя, где можно найти описание разделов, их методов, а также ссылки на документацию используемых библиотек. Интерфейс страницы показан на рис. 14.

Таким образом, в ходе данной работы было реализовано веб-приложение для анализа данных методами описательной статистики и машинного обучения. Стоит отметить, что реализованы основные методы, необходимые для анализа данных, однако в дальнейшем возможно расширение данного списка новыми методами, которые будут представлять интерес для пользователей веб-приложения.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Эксперты рассказали о росте популярности в России профессии аналитика данных. URL: <https://tass.ru/obshchestvo/6882173> (дата обращения: 20.03.2024).
2. Татарникова Т. М. Анализ данных: учеб.-метод. пособие. СПб.: ГУАП, 2021. С. 19–26.
3. Welcome to Python. URL: <https://www.python.org/> (дата обращения: 29.03.2024).
4. Welcome to Flask's documentation. URL: <https://flask.palletsprojects.com/en/3.0.x/> (дата обращения: 29.03.2024).
5. Python-пакеты для Data Science. URL: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/525834/> (дата обращения: 29.03.2024).

## REFERENCES

1. Experts spoke about the growing popularity of the data analyst profession in Russia. Available from: <https://tass.ru/obshchestvo/6882173> [Accessed 29 March 2024].

2. Tatarnikova T. M. Data analysis: teaching aid. SPb.: SUAI; 2021, pp. 19–26. (In Russ.).
3. Welcome to Python. Available from: <https://www.python.org/> [Accessed 29 March 2024].
4. Welcome to Flask's documentation. Available from: <https://flask.palletsprojects.com/en/3.0.x/> [Accessed 29 March 2024].
5. Python-packages for Data Science. Available from: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/525834/> [Accessed 29 March 2024].

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Шихотов Алексей Алексеевич**, студент кафедры прикладной информатики Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – технологии машинного обучения и нейронных сетей, обработка данных, методы обеспечения контроля и качества программного обеспечения.

**Турнецкая Елена Леонидовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – информационные технологии, информатизация и цифровизация общества, методы обеспечения контроля и качества программного обеспечения, применение технологий искусственного интеллекта в информационной сфере и аналитической обработки данных.

Поступила в редакцию 30.03.2024

Поступила после рецензирования 05.04.2024

Принята к публикации 12.05.2024

**Shikhotov Alexey A.**, Student at the Department of Applied Informatics, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – technologies of machine learning and neural networks, data processing, methods for ensuring control and quality of software.

**Turnetskaya Elena L.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Applied Informatics, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – information technologies, informatization and digitalization of society, methods for ensuring control and quality of software, the use of artificial intelligence technologies in the information sphere and analytical data processing.

Received 30.03.2024

Revised 05.04.2024

Accepted 12.05.2024

## Математическая модель оценки средней наработки на отказ сервопривода

Илья Сергеевич Коробейников<sup>1</sup>

✉ korobeynikovilya@mail.ru, SPIN-код: 1507-6383

Дмитрий Юрьевич Петров<sup>2, 3</sup>

iac\_sstu@mail.ru, SPIN-код: 118282

<sup>1</sup> Саратовский научный центр Российской академии наук, Конструкторское бюро промышленной автоматики, г. Саратов, Российская Федерация

<sup>2</sup> Институт проблем точной механики и управления Саратовского научного центра Российской академии наук, г. Саратов, Российская Федерация

<sup>3</sup> Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, г. Саратов, Российская Федерация

**Аннотация.** Рассмотрены подходы к оценке наработки на отказ технических систем в условиях воздействия внешних факторов окружающей среды. Предложена математическая модель оценки остаточного ресурса работы технических систем, учитывающая режим работы и степень загрузки технической системы, на примере сервопривода.

**Ключевые слова:** наработка до отказа, внешние воздействующие факторы, режим работы, коэффициент загрузки, мощность, поток энергии, сервопривод

**Для цитирования:** Коробейников И. С., Петров Д. Ю. Математическая модель оценки средней наработки на отказ сервопривода // Инновационное приборостроение. 2024. Т. 3, № 3. С. 29–32. DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-29-32.

Original article

## A mathematical model for estimating the average operating time for a servo failure

Ilya S. Korobeynikov<sup>1</sup>

✉ korobeynikovilya@mail.ru, SPIN-code: 1507-6383

Dmitry Yu. Petrov<sup>2, 3</sup>

iac\_sstu@mail.ru, SPIN-code: 118282

<sup>1</sup> Saratov Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Design Bureau of Industrial Automation, Saratov, Russian Federation

<sup>2</sup> Institute of Problems of Precision Mechanics and Control of the Scientific Research Center of the Russian Academy of Sciences, Saratov, Russian Federation

<sup>3</sup> Saratov National Research State University named after N. G. Chernyshevsky, Saratov, Russian Federation

**Abstract.** The approaches to assessing the operating time for failure of technical systems under the influence of external environmental factors are considered. A mathematical model for estimating the residual life of technical systems is proposed, taking into account the operating mode and the degree of loading of the technical system using the example of a servo drive.

**Keywords:** operating time to failure, external influencing factors, operating mode, load factor, power, energy flow, servo drive

**For citation:** Korobeynikov I. S., Petrov D. Yu. A mathematical model for estimating the average operating time for a servo failure. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2024;3(3):29–32. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-29-32.

### Введение

Основными критериями конкурентоспособности разрабатываемой технической системы являются удельные значения капитальных и эксплуатационных затрат к оценочной стоимости выполняемой работы или оказываемой услуги. Применительно к автоматизированным робототехническим комплексам, используемым в про-

изводстве, обеспечение минимума указанных удельных показателей достигается с помощью разработки высоконадежных систем с минимумом капитальных затрат, обслуживаемых по фактическому состоянию, что, в свою очередь, обеспечивает минимизацию эксплуатационных затрат. Для военных приложений дополнительным фактором, обеспечивающим конкурентоспособность сравниваемых вариантов технических

систем, является необходимость поиска оптимального соотношения между стоимостным выражением цели и затратами на ее достижение. Например, высоконадежный и сравнительно дорогой вариант беспилотной системы может уступать по своим функциональным возможностям группе относительно малонадежных, но дешевых беспилотных летательных аппаратов. В этой связи актуальной задачей на современном этапе развития инженерной практики и систем обслуживания является разработка методик оценки остаточного ресурса работы технических систем в части сервоприводной техники как ограничивающего элемента. При этом оценка остаточного ресурса в зависимости от режима работы рассматриваемой технической системы может стать дополнительным параметром сравнения вариантов создаваемых систем на этапе принятия конструктивных решений.

## Материал и методы исследования

Применяемая на практике методика расчета надежности реализует алгоритм последовательного определения средней наработки до отказа в виде [1, 2]:

$$T_0 = \int_0^{\infty} P(t) dt, \quad (1)$$

где  $t$  – время работы сервопривода;  $P(t)$  – вероятность безотказной работы за время  $t$ , определяемая согласно выражению:

$$P(t) = e^{-\Lambda t},$$

где  $\Lambda$  – суммарная интенсивность отказов, определяемая выражением:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^{i=k} \lambda_{i\partial},$$

где  $k$  – количество структурных элементов сервопривода;  $\lambda_{i\partial}$  – суммарная интенсивность отказов  $i$ -го рассматриваемого элемента сервопривода, определяемая согласно выражению:

$$\lambda_{i\partial} = \lambda_{i\delta} \prod_{f=1}^n K_f, \quad (2)$$

где  $\lambda_{i\delta}$  – базовая интенсивность отказов  $i$ -го рассматриваемого элемента сервопривода;  $K_f$  – коэффициенты, учитывающие влияние на базовую интенсивность различных конструктивно-технологических и эксплуатационных факторов;

$f = 1, \dots, n$  – количество конструктивно-технологических и эксплуатационных факторов.

Сложность в определении численных значений коэффициентов  $K_f$  в выражении (2) обусловлена синергетическим характером воздействия множества факторов на техническое состояние рассматриваемой технической системы. В общем случае [3, 4] коэффициент ускорения потока отказов при одновременном воздействии некоторого множества факторов определяется выражением:

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^N \lambda_{i\delta} \prod_{f=1}^m K_f}{\lambda_0 \prod_{f=1}^m K_{\partial f}} = \frac{\sum_{i=1}^N \lambda_{i\delta} \prod_{f=1}^m K_f}{N \lambda_{i\delta}} = \frac{\sum_{i=1}^N \prod_{f=1}^m K_f}{N}.$$

В данном выражении интенсивность отказов  $\lambda_{i\delta}$  при испытаниях под воздействием  $i$ -го фактора ускоряет один и только один  $j$ -й механизм отказа, при этом модель интенсивности отказов в эксплуатации является произведением базовой интенсивности отказов в нормальном режиме  $\lambda_0$  на произведение коэффициентов, учитывающих изменения интенсивности отказов в эксплуатации от различных факторов.

В случае, если рассматривается техническая система, состоящая из множества конструктивных элементов, значение коэффициента ускорения  $K_y$  является зависимостью от времени в соответствии с изменением режима работы технической системы. В общем случае каждый из коэффициентов  $K_f$  является временной функцией, зависящей от режима работы конструктивного элемента, которому он соответствует, которую можно представить следующим образом:

$$K = k_{з(t)} K_6,$$

где  $K_6$  – значение коэффициента при номинальном режиме работы соответствующего конструктивного элемента;  $k_{з(t)}$  – коэффициент загрузки рассматриваемого конструктивного элемента, определяемый как отношение номинального потока энергии к его фактическому значению [5], т. е.

$$k_{з(t)} = \frac{P_{\Phi(t)}}{P_6},$$

где  $P_6$  – базовое, номинальное, значение потока энергии в единицу времени, т. е. мощность, выражаемая в ваттах, через рассматриваемый конструктивный элемент, в номинальном режиме работы;  $P_{\Phi(t)}$  – фактическое значение потока энер-

гии в единицу времени (мощность) через рассматриваемый конструктивный элемент, зависящее от времени.

## Результаты исследования и их обсуждение

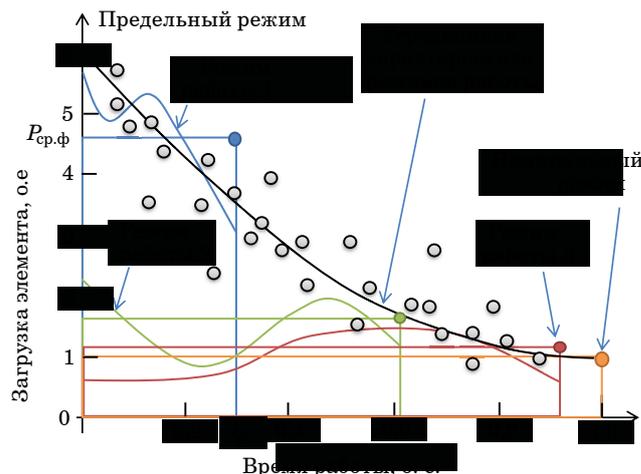
Сервопривод, являя собой конструктивное объединение множества элементов, формирует схему расчета надежности, представляющую собой последовательное и параллельное (в случае резервирования) объединение элементов, каждый из которых характеризуется параметром  $\lambda_{iэ}$  (2), учитывающим влияние на него внешних факторов, приводящих к увеличению интенсивности отказов. Факторы  $K_f$  в общем случае можно представить нелинейными зависимостями от степени загрузки и предыстории нагрузки рассматриваемого элемента структурной схемы расчета надежности сервопривода. При этом в отношении каждого из рассматриваемых элементов следует определить режим его работы, характеризующийся динамикой его загрузки, изменяющейся во времени. Различные режимы работы элемента показаны на рисунке. Номинальным режимом работы является такой режим, который характеризуется неизменной номинальной нагрузкой элемента, в относительных единицах равной единице. При этом на рисунке данный режим характеризуется номинальным значением времени наработки на отказ (1), в относительных единицах равных единице (синяя прямая). Выполненная элементом работа  $W_{\phi}$  за рассматриваемый промежуток времени определяется выражением:

$$W_{\phi} = \int_0^{t_p} P_{\phi(t)} dt,$$

где  $t_p$  – промежуток времени работы рассматриваемого элемента до момента отказа. Также величина  $W_{\phi}$  может быть определена на основании усредненной оценки потока энергии  $P_{ср.ф}$  рассматриваемого элемента:

$$W_{\phi} = P_{ср.ф} t_p.$$

Величина  $W_{\phi}$  на рисунке пропорциональна площади четырехугольника, образуемого диагональю, проходящей через начало координат и точку  $(t_p; P_{ср.ф})$ . Исходя из предложенной математической модели, задачей оценки наработки на отказ рассматриваемого элемента технической системы (или системы в целом) является определение функциональной зависимости:



- Сравнение различных по фактической нагрузке режимов элемента технической системы
- Comparison of modes of an element of a technical system that differ in actual load

$$P_{ср.ф} = f(t_p),$$

при этом выбор варианта конструктивного решения должен быть произведен на основании поиска максимальной величины интегральной оценки:

$$W_{инт} = \int_0^{T_0} P_{ср.ф} dt_p \rightarrow \max.$$

В свою очередь, оценка среднеквадратического отклонения между величинами  $W_{\phi}$  и  $W_{инт}$  позволит сформировать критерий оценки вероятности безотказной работы, в котором должен быть также учтен знак разности  $W_{\phi} - W_{инт}$ , так как речь идет об оценке потоков энергии, проходящих через рассматриваемый элемент технической системы (или потоков энергии, проходящих через систему в целом).

## Заключение

Предложена математическая модель оценки средней наработки на отказ в зависимости от режима работы рассматриваемого элемента технической системы (или некоторой системы в целом). Применение предложенной математической модели оценки средней наработки на отказ к сервоприводам обосновывает необходимость учета мощности (электрической, механической или тепловой), передаваемой рассматриваемым элементом сервопривода, а также динамику изменения данной мощности в процессе эксплуатации сервопривода. Предложенный алгоритм определения средней наработки на отказ может быть использован при построении цифровых двойников сервоприводов.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения / введ. 1997-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1995. 13 с.
2. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность / введ. 1997-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1995. 13 с.
3. Комиссаров А. В., Шишкин В. В. Анализ типовых методик эквивалентно-циклических испытаний на безотказность авиационного бортового оборудования // Вестн. УлГТУ. 2021. № 4. С. 53–58.
4. Разработка методики определения коэффициента ускорения многофакторных эквивалентно-циклических испытаний на основе процедур HALT для оценки долговечности и безотказности БРЭО / А. В. Комиссаров, В. В. Шишкин, В. А. Коженков, Е. В. Степашкина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2020. Т. 9, № 4 (52). С. 57–61.
5. Максимова М. А., Хруцкий О. В. Алгоритм определения технического состояния электрической машины // Электротехника. 2007. № 12. С. 40–44.

## REFERENCES

1. GOST 27.301-95. Reliability in technology. Reliability calculation. The main provisions. Moscow: Publishing House of Standards; 1995. 13 p. (In Russ.).
2. GOST 21354-87. Gear gears are cylindrical involute external gearing. Calculation of strength. Moscow: Publishing House of Standards; 1995. 13 p. (In Russ.).
3. Komissarov A. V., Shishkin V. V. Analysis of standard methods of equivalent-cyclic tests for reliability of aviation avionics. Bulletin of UISTU. 2021;(4):53–58. (In Russ.).
4. Komissarov A. V., Shishkin V. V., Kozhenkov V. A., Stepashkina E. V. Development of a methodology for determining the acceleration coefficient of multifactor equivalent cyclic tests based on HALT procedures to assess the durability and reliability of avionics. XXI century: results of the past and problems of the present plus. 2020;9(4(52)):57–61. (In Russ.).
5. Maksimova M. A., Khrutsky O. V. Algorithm for determining the technical condition of an electric machine. Electrical engineering; 2007;(12):40–44. (In Russ.).

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Коробейников Илья Сергеевич**, аспирант Саратовского научного центра Российской академии наук, начальник отдела электромеханизмов Конструкторского бюро промышленной автоматизации.

Область научных интересов – электропривод, надежность технических систем.

**Петров Дмитрий Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент Института проблем точной механики и управления Саратовского научного центра Российской академии наук, доцент Саратовского национального исследовательского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского.

Область научных интересов – цифровые двойники киберфизических систем и автоматизированных систем управления дискретно-непрерывными технологическими процессами и производствами, встраиваемые системы и системы управления реального времени.

Поступила в редакцию 03.04.2024

Поступила после рецензирования 05.04.2024

Принята к публикации 12.05.2024

**Korobeynikov Ilya S.**, Postgraduate Student, Head at the Department of Electromechanisms, Design Bureau of Industrial Automation, Saratov Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.

Research interests – electric drive, reliability of technical systems.

**Petrov Dmitry Yu.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Institute of Problems of Precision Mechanics and Control of the Scientific Research Center of the Russian Academy of Sciences, Associate Professor, Saratov National Research State University named after N. G. Chernyshevsky.

Research interests – digital counterparts of cyber-physical systems and automated control systems for discrete-continuous technological processes and productions, embedded systems and real-time control systems.

Received 03.04.2024

Revised 05.04.2024

Accepted 12.05.2024

Научная статья

УДК 621.3.049.77.001.2:681.3

DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-33-39

## Сверхширокополосное схемотехническое моделирование линий с распределенными параметрами

**Игорь Аркадьевич Конников**

konnikov\_i@mail.ru, SPIN-код: 2535-9949

**Андрей Владимирович Прусов<sup>1</sup>**

✉ vik41.66@mail.ru, SPIN-код: 1438-8309

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Предлагается использовать неминимально-фазовый трехполюсник известной морфологии (а именно – симметричную перекрытую T-образную электрическую цепь) в качестве эквивалентной схемы для широкополосного и сверхширокополосного моделирования в системе автоматизированного проектирования линий с распределенными параметрами, как низкоомных (т. е. проводников), так и высокоомных (т. е. резисторов). Предлагаются значения параметров указанной схемы, позволяющие обеспечить малую погрешность моделирования на сверхвысоких частотах. Считается, что электромагнитные процессы в линии могут быть корректно описаны телеграфными уравнениями. Оценка погрешности моделирования проводится методом вычислительного эксперимента. Под погрешностью моделирования понимается абсолютная величина разности значения модуля коэффициента передачи линии, полученного на основе использования телеграфных уравнений, и значения, полученного на основе использования T-образной эквивалентной схемы. Выявлена область предпочтительного использования T-образной схемы.

**Ключевые слова:** линии с распределенными параметрами, сверхширокополосное схемотехническое моделирование, T-образная эквивалентная схема

**Для цитирования:** Конников И. А., Прусов А. В. Сверхширокополосное схемотехническое моделирование линий с распределенными параметрами // Инновационное приборостроение. 2024. Т. 3, № 3. С. 33–39. DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-33-39.

Original article

## Ultrawideband circuit modelling distributed parameters lines

**Igor A. Konnikov**

konnikov\_i@mail.ru, SPIN-code: 2535-9949

**Andrey V. Prusov<sup>1</sup>**

✉ vik41.66@mail.ru, SPIN-code: 1438-8309

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The article presents an employment of the non-minimal-phase quadrupole of the familiar morphology (viz., the symmetric spanned T-shape equivalent circuit with the parameters of the circuit offered) for wideband and ultrawideband simulation of distributed parameters lines. The values of the parameters that provide a small quantity error of simulation at ultra-high frequencies are offered. The propagation of electromagnetic waves along the line is considered to be correctly described with the telegraph equations. The estimation of the error of simulating is carried out by means of a computational experiment. The error of simulating is considered to be the module of the difference between two values of the transmission factor, one value being obtained upon the basis of the telegraph equations and the other one being the value of the transmission factor of the T-shape equivalent circuit. The domain of a preferable employment of the T-shape equivalent circuit is detected and described. A part of the results of the experiment is partly exposed in one table and five pictures.

**Keywords:** distributed parameters lines, circuit modelling ultrawideband simulation, T-shape equivalent circuit

**For citation:** Konnikov I. A., Prusov A. V. Ultrawideband circuit modelling distributed parameters lines. Innovacionnoe priborostroe-ние = Innovative Instrumentation. 2024;3(3):33–39. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-33-39.

### Введение

Математические модели линий с распределенными параметрами (ЛРП), допускающие непосредственную схемотехническую интерпретацию, требуются для многих технических приложений [1] и обычно трактуются как эквивалентные схемы. При

проектировании изделий радиотехники и микроэлектроники (микросхем, микросборок, печатных плат) в комплексной системе автоматизированного проектирования (САПР) такие модели требуются для оценки влияния конструкции и технологии изготовления проектируемого изделия на его функционирование и степень соответствия техническо-

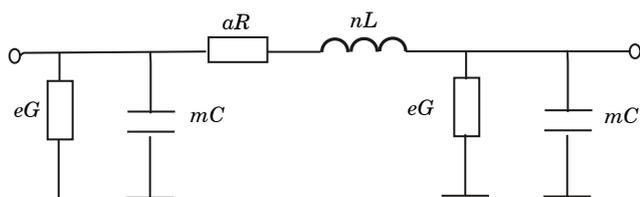
му заданию на проектирование. Это особенно актуально при разработке изделий, предназначенных для использования в сверхширокополосной радиолокации, когда приходится иметь дело с сигналами сверхширокого спектра. При разработке микроэлектронных узлов, предназначенных для функционирования в космосе, обязательно проводится схемотехническое моделирование изделия [2], причем не только в диапазоне рабочих частот, но и до 100 ГГц [3], для чего, естественно, необходимы соответствующие сверхширокополосные модели ЛРП и радиоэлектронных компонентов.

**Цель работы** – оценить возможность использования неминимально-фазового трехполюсника известной морфологии (а именно – симметричной перекрытой Т-образной электрической цепи) в качестве эквивалентной схемы для широкополосного и сверхширокополосного моделирования ЛРП.

## Известные решения

В настоящее время известен целый ряд моделей распределенных RLCG-структур (резисторов, катушек индуктивности и проводников), которые могут быть использованы при проектировании в САПР. Обзор таких моделей имеется, например, в [1–6]. Однако эти модели ориентированы, скорее, не на сверхширокополосные моделирование ЛРП, а на моделирование в области нижних частот спектра полезного сигнала, так как их точность снижается при увеличении частоты моделирования. Рассмотрим некоторые из них, наиболее широко используемые в САПР.

Лучше всего известна и наиболее широко используется для моделирования ЛРП с частотно независимыми значениями распределенных активного сопротивления  $R$ , емкости  $C$ , индуктивности  $L$  и активной проводимости утечки  $G$  (первичных параметров ЛРП) цепочечная схема из одинаковых П-образных RLCG-звеньев (рис. 1) при  $a = n = 1$ ;  $e = m = 1/2$ ; эти значения параметров каждого звена  $a$ ,  $n$ ,  $e$ ,  $m$  традиционно принимаются эвристически. По результатам [7],



• Рис. 1. П-образная эквивалентная схема линии с распределенными параметрами

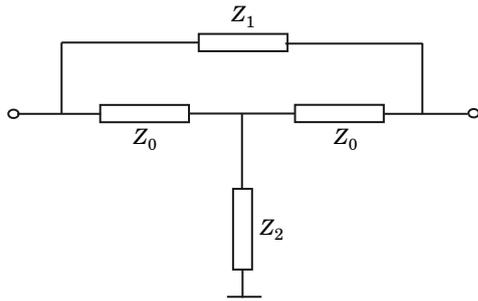
• Fig. 1. Pi-shape equivalent circuit for the line with distributed parameters

погрешность моделирования в частотной области была существенно снижена, были начаты исследования во временной области.

В [2, 4, 8] описан метод получения параметров эквивалентных схем, который может быть использован для ЛРП, известный как метод векторной аппроксимации. Метод основан на измерении  $s$ -параметров объекта моделирования в диапазоне частот моделирования; по результатам измерений рассчитываются параметры эквивалентной схемы, для чего применяется техника построения интерполяционного полинома. Слабые стороны метода вообще не рассмотрены.

Накопленный к настоящему времени опыт позволяет утверждать, что как техника применения, так и область корректного использования метода векторной аппроксимации требуют проведения дальнейших более глубоких исследований. При этом надо иметь в виду, что дальнейшие попытки создания эквивалентных схем, основанных на сверхвысокочастотных (СВЧ) измерениях, в микроэлектронике бесперспективны. Полученные в этом направлении результаты (например, [4]) во многих случаях (прежде всего, в области проектирования печатных плат) позволяют при надлежащей квалификации специалистов рассчитать значения параметров модели с требуемой точностью, однако не позволяют решить проблему в целом и поэтому паллиативны. В микроэлектронике активно применяются проводники малых размеров, методы моделирования целесообразнее базировать не на измерениях, а на расчетных значениях первичных параметров ЛРП (что не отвергается и даже частично используется авторами работ [2–4]), причем методы расчета должны быть хорошо верифицированы. Такие методы хорошо известны, и степень достоверности результатов, получаемых с их помощью, много выше степени достоверности результатов измерений  $s$ -параметров, особенно в микроэлектронике в миллиметровом и сантиметровом диапазонах волн. Решение следует искать в классе четырехполюсников (в том числе неминимально-фазовых), которые имеют немонокотонную (многорезонансную) частотную характеристику, присущую ЛРП, причем для некоторых технических приложений немаловажно обеспечить возможно более точное воспроизведение квазирезонансных частот ЛРП [5].

Таким образом, для решения проблемы сверхширокополосного моделирования ЛРП требуется иная эквивалентная схема, обладающая достаточно высокой точностью моделирования в частотной и временной областях, параметры которой базируются не на результатах СВЧ-измерений, а на расчетных значениях первичных параметров ЛРП, значения которых могут быть получены с гораздо



• Рис. 2. Симметричная перекрытая T-образная эквивалентная схема линии с распределенными параметрами

• Fig. 2. Symmetric spanned T-shape equivalent circuit for the line with distributed parameters

более высокой степенью достоверности, чем значения  $s$ -параметров, получаемых с помощью измерений на СВЧ, особенно при проектировании изделий микроэлектроники. Кроме того, желательно также возможно более точное воспроизведение квазирезонансных частот ЛРП.

Обзор известных решений позволяет уточнить цель данной работы: посредством вычислительного эксперимента и аналитического метода Элмора [9] провести оценку пригодности для использования в указанных технических приложениях неминимально-фазового четырехполюсника известной морфологии, а именно – симметричной перекрытой T-образной эквивалентной схемы (рис. 2).

## Вычислительный эксперимент

В ходе исследования симметричной перекрытой T-образной схемы был проведен вычислительный эксперимент, который позволил оценить ориентировочную оценку качества моделирования ЛРП с помощью T-образной схемы, показанной на рис. 2; при этом были предложены и использованы следующие значения параметров  $Z_0, Z_1, Z_2$ :

$$Z_0 = 1/(G + pC); Z_1 = R + pL;$$

$$Z_2 = (R + pL + 1/(G + pC))/2,$$

где  $p$  – комплексная частота [10].

Используя формулу для расчета характеристического сопротивления  $Z_x$

$$Z_x = \sqrt{Z_0 Z_1 (Z_0 + 2Z_2) / (2Z_0 + Z_1)}$$

из [10], путем несложных преобразований получим, что для перекрытой T-образной схемы  $Z_x = \sqrt{(R + pL)/(G + pC)}$ . Как известно, эта формула справедлива также и для характеристического сопротивления ЛРП. Отсюда можно сделать важный

вывод: характеристические сопротивления ЛРП и перекрытой T-образной схемы с указанными значениями параметров тождественны, т. е. равны на любой частоте и на постоянном токе. Таким образом, перекрытая T-образная схема на любой частоте моделирует характеристическое сопротивление ЛРП без погрешности<sup>1</sup>. Это свойство указанной схемы имеет существенное значение при моделировании СВЧ-схем с согласованной нагрузкой.

Для дальнейшей оценки возможности использования T-образной схемы при сверхширокополосном моделировании будем рассматривать эту схему как четырехполюсник, характеризуемый своими  $z$ -параметрами. Рассмотрим важный для практики случай ЛРП, у которых во избежание частотных искажений обеспечено соотношение  $R/L = G/C$  или, что то же самое,  $R = G\rho^2$ , где волновое сопротивление  $\rho = \sqrt{L/C}$ . Будем считать, что электромагнитные процессы в линии корректно описываются телеграфными уравнениями, а ЛРП и T-образная схема нагружены на одинаковое комплексное сопротивление нагрузки  $Z_H$ , представимое в виде:

$$Z_H = R_H \left( 1 + \sum_{v=1}^{\infty} M_v p^v \right) / \left( 1 + \sum_{v=1}^{\infty} N_v p^v \right),$$

$R_H, M_v$  и  $N_v$  – коэффициенты аппроксимации.

Как известно [12],  $z$ -параметры такого четырехполюсника:

$$Z_{11} = \frac{Z_1(Z_1 + Z_3)}{2Z_1 + Z_3} + Z_2; \quad Z_{12} = \frac{Z_1^2}{2Z_1 + Z_3} + Z_2;$$

$$Z_{21} = \frac{Z_1^2}{2Z_1 + Z_3} + Z_2; \quad Z_{22} = \frac{Z_1(Z_1 + Z_3)}{2Z_1 + Z_3} + Z_2.$$

Коэффициент передачи по напряжению четырехполюсника через  $z$ -параметры рассчитывается по формуле [10]:

$$K_T = \frac{Z_H Z_{21}}{Z_{11} Z_H - \det(Z)},$$

где  $\det(Z) = Z_{11} Z_{22} - Z_{21} Z_{12}$ .

Тот же коэффициент для ЛРП:

$$K(p) = \left( \operatorname{ch} \Gamma + \frac{Z_x}{Z_H} \operatorname{sh} \Gamma \right)^{-1},$$

где коэффициент распространения  $\Gamma = \sqrt{(R + pL) \times (G + pC)}$ ; характеристическое сопротивление  $Z = \sqrt{(R + pL)/(G + pC)}$ .

<sup>1</sup> Если электромагнитное поле в ЛРП корректно описывается телеграфными уравнениями.

## Результаты исследования

В таблице приведены результаты расчета зависимостей погрешности моделирования модуля коэффициента передачи перекрытой Т-образной схемы по напряжению от коэффициента фазы на частоте  $\omega$ .

Под коэффициентом фазы понималась величина  $\varphi = \omega\sqrt{LC}$ . Зависимости являются типовыми и репрезентативными в том смысле, что для ЛРП с другими значениями первичных параметров  $R$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $G$  эти зависимости носят аналогичный характер. Погрешность моделирования в процентах рассчитывалась по формуле  $\Delta(\rho), \% = 100 [|K_T(p)| - |K(p)|] / |K(p)|, \%$ . Представленное в таблице семейство частотных характеристик погрешности позволяет сделать следующие общие выводы.

Частотная зависимость погрешности  $\Delta(\rho)$  имеет две ясно выраженные области. На нижних частотах зависимость  $\Delta(\rho)$  может иметь колебательный характер, причем размах колебаний (до нескольких десятков процентов) меньше у ЛРП с меньшим значением волнового сопротивления  $\rho$ . В то же время на верхних частотах (где  $\omega L \gg R$  и  $\omega C \gg G$ ) в области сверхширокополосного моделирования зависимость  $\Delta(\rho)$  имеет строго монотонный (слабо выраженный возрастающий) характер, в том числе на квазирезонансных частотах, и при неограниченном увеличении частоты стремится к своему значению при  $R = 0$  и  $G = 0$ . Это значение будем именовать СВЧ-погрешностью. Учитывая хорошо известный и в общем случае немонотонный (многорезонансный) характер зависимости  $|K(p)|$  для ЛРП,

можно уверенно полагать, что и в области верхних частот зависимость  $|K_T(p)|$  для Т-образной эквивалентной схемы также является многорезонансной.

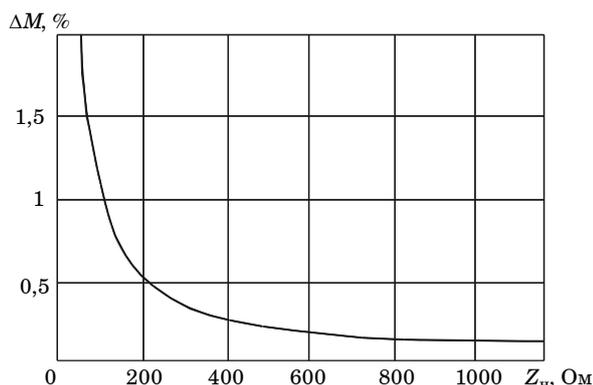
Как следует из рис. 3, СВЧ-погрешность моделирования зависит от сопротивления нагрузки ЛРП, и при чисто активной нагрузке ( $Z_H = R_H$ ) с уменьшением сопротивления нагрузки погрешность снижается.

Анализ зависимостей, приведенных на рис. 4; 5, показывает, что наибольшую точность Т-образная схема обеспечивает при моделировании низкоомных ЛРП (проводников) при малых сопротивлениях нагрузки, причем СВЧ-погрешность меньше при моделировании ЛРП с большим волновым сопротивлением и меньшим активным сопротивлением. Кроме того, из рис. 5 следует, что значение СВЧ-погрешности достигается при  $\varphi \approx 2\pi$ , и при дальнейшем увеличении значения  $\varphi$  и (или) частоты погрешность практически не растет<sup>1</sup>. На нижних частотах (при  $\varphi < 2\pi$ ) зависимость погрешности  $\Delta_M(p)$  может иметь один или несколько отрицательных «выбросов» (таблица), что затрудняет количественную оценку точности моделирования на нижних частотах. Впрочем, такая оценка вряд ли потребуется: качественная оценка точности моделирования по рис. 5 и данным таблицы показывает, что точность моделирования ЛРП Т-образной схемой на нижних частотах (при  $\varphi < 2\pi$ ) в большинстве практических случаев является неудовлетворительной; в области, где

<sup>1</sup> Проверено в ходе вычислительного эксперимента вплоть до значения  $\varphi = 10^9 \pi$ .

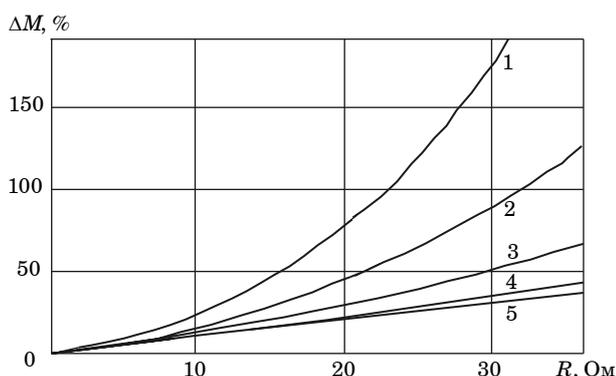
- Зависимость погрешности моделирования модуля коэффициента передачи по напряжению перекрытой Т-образной схемы от коэффициента фазы при фиксированном значении волнового сопротивления  $\rho$ , %
- Dependence of the ultrahigh frequency error of simulation of the module of the voltage transmission ratio of the T-shape circuit on the phase factor  $\varphi$  with a fixed value of the wave resistance  $\rho$ , %

$\varphi$ , рад <sup>1</sup>	0,9 $\pi$	$\pi$	1,1 $\pi$	1,2 $\pi$	1,3 $\pi$	1,4 $\pi$	1,5 $\pi$	1,6 $\pi$	1,7
$\rho=20$ Ом	45,7 <sup>1</sup>	36,1 <sup>1</sup>	21 <sup>1</sup>	-0,59 <sup>1</sup>	-27 <sup>1</sup>	-55,7 <sup>1</sup>	-72,3 <sup>1</sup>	-57,1 <sup>1</sup>	-32,2 <sup>1</sup>
$\rho=30$ Ом	41,3 <sup>1</sup>	33,2 <sup>1</sup>	19,4 <sup>1</sup>	-0,57 <sup>111</sup>	-25,2 <sup>1</sup>	-50,1 <sup>1</sup>	-63,3 <sup>1</sup>	-51,6 <sup>1</sup>	-29,9 <sup>1</sup>
$\rho=100$ Ом	0,546 <sup>1</sup>	0,672 <sup>1</sup>	<sup>1</sup> 0,751	<sup>1</sup> 0,805	<sup>1</sup> 0,843	<sup>1</sup> 0,87	<sup>1</sup> 0,891	<sup>1</sup> 0,908	<sup>1</sup> 0,921
$\rho=200$ Ом	-31,6 <sup>1</sup>	-35,2 <sup>1</sup>	-22,2 <sup>1</sup>	2,51 <sup>1</sup>	28,6 <sup>1</sup>	48,9 <sup>1</sup>	-72,3 <sup>1</sup>	<sup>1</sup> -57,1	-29,9 <sup>1</sup>
$\varphi$ , рад <sup>1</sup>	1,8 $\pi$	2 $\pi$ <sup>1</sup>	3 $\pi$ <sup>1</sup>	4 $\pi$ <sup>1</sup>	6 $\pi$	8 $\pi$ <sup>1</sup>	30 $\pi$ <sup>11</sup>	200 $\pi$	10 <sup>9</sup> $\pi$
$\rho=20$ Ом	-11,1 <sup>1</sup>	-12,1 <sup>1</sup>	-5,34 <sup>1</sup>	-2,7 <sup>1</sup>	-0,677 <sup>11</sup>	0,049 <sup>1</sup>	0,933 <sup>1</sup>	0,9991 <sup>1</sup>	1,001 <sup>1</sup>
$\rho=30$ Ом	-10,4 <sup>1</sup>	6,26 <sup>1</sup>	3,22 <sup>1</sup>	2,24 <sup>1</sup>	1,57 <sup>1</sup>	1,28 <sup>1</sup>	1,076 <sup>1</sup>	1,056 <sup>1</sup>	1,056 <sup>1</sup>
$\rho=100$ Ом	0,931 <sup>1</sup>	0,947 <sup>1</sup>	0,981 <sup>1</sup>	0,992 <sup>1</sup>	0,999 <sup>1</sup>	1,002 <sup>1</sup>	1,0048 <sup>1</sup>	1,005 <sup>1</sup>	1,005 <sup>1</sup>
$\rho=200$ Ом	21,2	-12,1	-5,34	-2,69	-0,677	0,049	0,933	1	1,001



• *Рис. 3. Зависимость СВЧ-погрешности моделирования модуля коэффициента передачи ЛРП по напряжению от активного сопротивления нагрузки  $Z_n = \rho$ , при  $R = 1$  Ом,  $L = 200$  нГн,  $C = L / \rho^2$ ,  $G = RC/L$ ,  $\varphi = 10^7 \pi$  рад*

• *Fig. 3. Dependence of ultrahigh frequency error of simulation of the module of the voltage transmission ratio on active load resistance  $Z_n = \rho$  at  $R = 1$  Ohm,  $L = 200$  nH,  $C = L / \rho^2$ ,  $G = RC/L$ ,  $\varphi = 10^7 \pi$  rad*

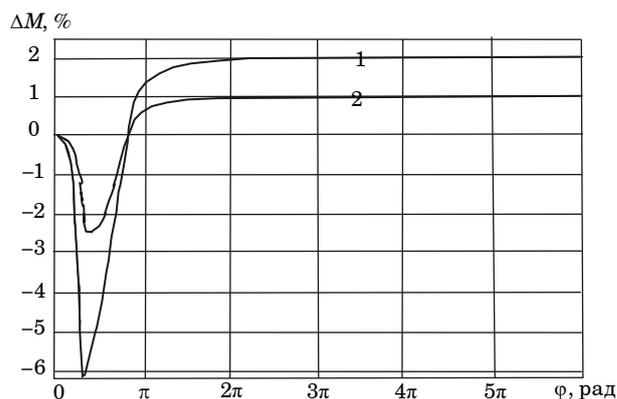


• *Рис. 4. Зависимость СВЧ-погрешности моделирования модуля коэффициента передачи ЛРП от ее активного сопротивления  $R$  при  $Z_n = 100$  Ом: 1 –  $\rho = 20$  Ом; 2 –  $\rho = 30$  Ом; 3 –  $\rho = 50$  Ом; 4 –  $\rho = 100$  Ом; 5 –  $\rho = 200$  Ом;  $Z_n = 100$  Ом,  $L = 50$  мкГн,  $C = L / \rho^2$ ,  $G = RC/L$ ,  $\varphi = 2\pi \cdot 10^{10}$  рад*

• *Fig. 4. Dependence of ultrahigh frequency error of simulation of the module of the voltage transmission ratio on its active resistance  $R$  with  $Z_n = 100$  Ohm: 1 –  $\rho = 20$  Ohm; 2 –  $\rho = 30$  Ohm; 3 –  $\rho = 50$  Ohm; 4 –  $\rho = 100$  Ohm; 5 –  $\rho = 200$  Ohm;  $Z_n = 100$  Ohm,  $L = 50$   $\mu$ H,  $C = L / \rho^2$ ,  $G = RC/L$ ,  $\varphi = 2\pi \cdot 10^{10}$  rad*

$\varphi < 2\pi$ , Т-образная схема для моделирования ЛРП рекомендована быть не может.

Анализ и обобщение результатов вычислительного эксперимента, в том числе представленные в таблице и на рисунках, позволяют предположить, что, с высокой степенью вероятности,



• *Рис. 5. Зависимость СВЧ-погрешности моделирования модуля коэффициента передачи ЛРП  $\Delta M$  от коэффициента фазы  $\varphi$ : 1 –  $\rho = 50$  Ом; 2 –  $\rho = 100$  Ом;  $Z_n = \rho$ ,  $L = 50$  мкГн,  $G = RC/L$*

• *Fig. 5. Dependence of ultrahigh frequency error of simulation of the module of the voltage transmission ratio on the phase factor  $\varphi$ : 1 –  $\rho = 50$  Ohm; 2 –  $\rho = 100$  Ohm;  $Z_n = \rho$ ,  $L = 50$   $\mu$ H,  $G = RC/L$*

время задержки (по Элмору) Т-образная схема моделирует точно. Однако строгое (аналитическое) доказательство (или опровержение) этого положения – предмет отдельного исследования.

## Заключение

Т-образная перекрытая схема с предложенными выше значениями параметров схемы обеспечивает достаточно малую погрешность моделирования работы ЛРП в сверхшироком диапазоне частот, и она может успешно применяться для моделирования ЛРП в САПР в частотной области, где  $\varphi > 2\pi$ , при проектировании изделий радиотехники и микроэлектроники. В области частот, где  $\varphi \leq 2\pi$ , предпочтительной является цепочечная схема из одинаковых звеньев, исследованная в [1, 7].

Следует особо отметить, что для строгой однозначной оценки качества моделирования RLCG-структур с помощью Т-образной схемы во временной области следует провести исследование во временной области. Соответствующую оценку следует сделать, опираясь не только на интуицию и косвенные данные, и не эвристически, а по результатам соответствующего вычислительного эксперимента и (или) аналитических выкладок, проведение которых выходит за рамки настоящей работы.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Конников И. А.* Схемотехническое моделирование структур с распределенными параметрами // *Электротехника*. 2019. № 6. С. 55–60.
2. *Калимулин И. Ф., Мелкозеров А. О.* Оптимизация параметров математической модели резистора по критерию соответствия расчетного модуля коэффициента отражения измеренному в диапазоне до 20 ГГц // *Доклады Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники*. 2012. Т. 26, № 2. Ч. 1. С. 66–70.
3. *Калимулин И. Ф., Заболоцкий А. М., Газизов Т. Р.* Синтез многорезонансных моделей пассивных электронных компонентов и моделирование на их основе LC-фильтра // *Авиация и космонавтика – 2014: 13-я Международ. конф.* (М., 17–21 нояб. 2014 г.): тезисы докл. СПб.: Мастерская печати, 2014. С. 392–395.
4. *Калимулин И. Ф., Заболоцкий А. М., Газизов Т. Р.* Методики и модели для учета паразитных параметров печатных узлов при анализе электромагнитной совместимости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов. Томск: Изд-во ТУСУРа, 2015. 160 с.
5. *Гулин А. И., Сухинец Ж. А.* Исследование погрешности моделирования устройств с распределенными параметрами // *Известия вузов. Радиоэлектроника*. 2012. Т. 55, № 5. С. 40–45.
6. *Конников И. А.* Моделирование распределенных RLC-структур // *Известия вузов. Сер.: Приборостроение*. 2006. № 12. С. 38–44.
7. *Конников И. А.* Универсальные математические модели пленочных элементов микросборок // *Вопросы радиоэлектроники. Сер.: ТПО*. 1981. Вып. 2. С. 28–32.
8. *Калимулин И. Ф., Газизов Т. Р., Заболоцкий А. М.* Импеданс низкочастотных пассивных компонентов бортовой аппаратуры в диапазоне до 20 ГГц // *Приборы и техника эксперимента*. 2012. № 2. С. 91–97.
9. *Elmore W. C.* The transient response of damped linear networks with particular regard to wideband amplifiers // *Journal of applied physics*. 1948. № 1. P. 11–15.
10. *Сигорский В. П., Петренко А. И.* Основы теории электронных схем. Киев: Техніка, 1967. 610 с.

## REFERENCES

1. Konnikov I. A. Circuit modeling of structures with distributed parameters. *Electrical engineering*. 2019;(6):55–60. (In Russ.).
2. Kalimulin I. F., Melkozerov A. O. Optimization of parameters of a mathematical model of a resistor according to the criterion of compliance of the calculated module of the reflection coefficient with the measured one in the range up to 20 GHz. *Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*. 2012;26(2):66–70. (In Russ.).
3. Kalimulin I. F., Zabolotsky A. M., Gazizov T. R. Synthesis of multi-resonance models of passive electronic components and modeling of an LC filter based on them. *Aviation and cosmonautics – 2014: 13<sup>th</sup> International conference (Moscow, 17–21 November 2014): abstracts of reports*. SPb.: Printing Workshop; 2014, pp. 392–395. (In Russ.).
4. Kalimulin I. F., Zabolotsky A. M., Gazizov T. R. Methods and models for taking into account the parasitic parameters of printed circuit components when analyzing the electromagnetic compatibility of on-board radio-electronic equipment of spacecraft. *Tomsk: TUSUR Publishing House*; 2015. 160 p. (In Russ.).
5. Gulin A. I., Sukhinets Zh. A. Study of the error in modeling devices with distributed parameters. *News of universities. Radioelectronics*. 2012;55(5):40–45. (In Russ.).
6. Konnikov I. A. Modeling of distributed RLC structures. *News of universities. Series: Instrumentation*. 2006;(12):38–44. (In Russ.).
7. Konnikov I. A. Universal mathematical models of film elements of microassemblies. *Problems of radio electronics. Series: TPO*. 1981. Is. 2, pp. 28–32. (In Russ.).
8. Kalimulin I. F., Gazizov T. R., Zabolotsky A. M. Impedance of low-frequency passive components of on-board equipment in the range up to 20 GHz. *Instruments and experimental techniques*. 2012;(2):91–97. (In Russ.).
9. Elmore W. C. The transient response of damped linear networks with particular regard to wideband amplifiers. *Journal of applied physics*. 1948;(1):11–15.
10. Sigorsky V. P., Petrenko A. I. *Fundamentals of the theory of electronic circuits*. Kyiv: Tekhnika; 1967. 610 p.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Конников Игорь Аркадьевич**, доктор технических наук, независимый исследователь.

Область научных интересов – паразитные электромагнитные эффекты в радиоэлектронной аппаратуре.

**Прусов Андрей Владимирович**, кандидат технических наук, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, старший научный сотрудник, доцент кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов Санкт-Петербургского университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – измерение физических величин радиотехническими методами, конструирование СВЧ.

Поступила в редакцию 09.04.2024

Поступила после рецензирования 12.04.2024

Принята к публикации 12.05.2024

**Konnikov Igor A.**, D. Sc. in Technical Sciences, Independent Researcher.

Research interests – parasitic electromagnetic effects in electronic devices.

**Prusov Andrey V.**, PhD in Technical Sciences, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Senior Researcher, Associate Professor at the Department of Radio Engineering and Optoelectronic Complexes, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – measurement of physical quantities using radio engineering methods, microwave design.

Received 09.04.2024

Revised 12.04.2024

Accepted 12.05.2024

## Методы управления данными в организации: принципы, проблемы и перспективы

Дмитрий Сергеевич Лисюков<sup>1</sup>

✉ lisyukov@guap.ru, SPIN-код: 9047-1976

Екатерина Арнольдовна Яковлева<sup>1</sup>

y\_katerina@rambler.ru, SPIN-код: 3931-3359

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Рассматриваются особенности решения задач управления данными в организациях приборостроительной отрасли. Данные представляются как уникальный особо ценный нематериальный ресурс организации, управление которым имеет свои, отличные от других активов, принципы и проблемы. Приведены основные принципы управления данными, руководство которыми позволяет достичь эффективного управления не только данными, но и организацией в целом. Продемонстрированы основные проблемы, свойственные процессу управления данными, и предложены пути их решения. Рассмотрены возможные риски при отклонении от принципов управления данными и игнорировании четко разработанной стратегии управления данными. Особое внимание уделено рассмотрению проблемы управления данными в организации. Рассмотрены основные перспективы эффективного управления данными в организациях приборостроительной отрасли.

**Ключевые слова:** управление данными, эффективное управление организацией, информация, данные, цифровая экономика

**Для цитирования:** Лисюков Д. С., Яковлева Е. А. Методы управления данными в организации: принципы, проблемы и перспективы // Инновационное приборостроение. 2024. Т. 3, № 3. С. 40–47. DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-40-47.

Original article

## Data management methods in organizations: principles, issues and perspectives

Dmitriy S. Lisyukov<sup>1</sup>

✉ lisyukov@guap.ru, SPIN-code: 9047-1976

Ekaterina A. Yakovleva<sup>1</sup>

y\_katerina@rambler.ru, SPIN-code: 3931-3359

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The features of solving data management problems in organizations of the instrument-making industry are considered. Data is presented as a unique, particularly valuable intangible resource of the organization, the management of which has its own principles and problems, different from other assets. The basic principles of data management are presented, the guidance of which allows you to achieve effective management not only of data, but also of the organization as a whole. The main problems inherent in the data management process are demonstrated and ways to solve them are proposed. Possible risks are considered when deviating from the principles of data management and ignoring a clearly developed data management strategy. Detailed attention is paid to considering the problem of the data life cycle as an important problem of data management in an organization. The main prospects for effective data management in organizations of the instrument-making industry are considered.

**Keywords:** data management, effective management of an organization, information, data, digital economy

**For citation:** Lisyukov D. S., Yakovleva E. A. Data management methods in organizations: principles, issues and perspectives. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2024;3(3):40–47. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-40-47.

### Введение

В современном мире, где информационные технологии играют ключевую роль не только в бизнесе, но и в такой сфере, как приборостроение, управление данными является неотъемлемой составляющей организации [1]. Ежедневно

компаниями собираются, обрабатываются и хранятся огромные массивы информации: начиная с информации о своих клиентах и заканчивая техническими характеристиками изготовленных деталей или показаниями приборов.

Решение многих задач, связанных с повышением качества продукции в области приборостро-

ения, происходит на стадии проектирования, когда на основе анализа, исследований, расчетов, а также учета опыта и передовых технологий разрабатываются конструкции деталей или приборов, их формы и размеры.

Управление данными в приборостроении, несомненно, играет важную роль в повышении качества изготавливаемой продукции, так как включает в себя сбор, обработку и анализ информации, необходимой для проектирования, производства и эксплуатации приборов. Правильно организованное управление данными позволяет не только улучшить качество изготавливаемой продукции, но и сократить время и затраты на производство, а также в некоторых случаях обеспечить надежность и эффективность работы приборов.

Большинство организаций уже давно используют данные в управлении своими процессами и принимают на их основе управленческие решения. Однако в современной российской технической литературе практически отсутствуют публикации о методиках управления данными в рамках крупных организаций в целом. Некоторые методики управления отдельными процессами можно найти в специализированных интернет-сообществах или в современных научных исследованиях молодых ученых [2].

Несмотря на то, что российский рынок информационных технологий (ИТ) является одним из самых развитых в мире, отсутствие общих рекомендаций и четко выработанных методологий в области управления данными является важной проблемой. На предприятиях, деятельность которых связана с приборостроением, работает большое количество специалистов, как в сфере информационных технологий, так и в других областях. Они так или иначе непосредственно работают с данными: создают, обрабатывают, преобразовывают, анализируют.

Каждый специалист работает в своем отделе или департаменте, которых на предприятии может быть огромное количество. Зачастую информационные потоки между отделами плохо синхронизированы или не синхронизированы вовсе, что приводит к серьезным системным проблемам внутри всего предприятия. Разнообразное использование данных приводит к снижению качества этих данных – повторым, ошибкам, неактуальности. Все это влечет за собой постоянный рост затрат на информационную инфраструктуру организации, а также на квалифицированных технических специалистов в этой области.

Управление данными является важным аспектом деятельности каждой современной организации [3–5]. Компании, правильно управляющие

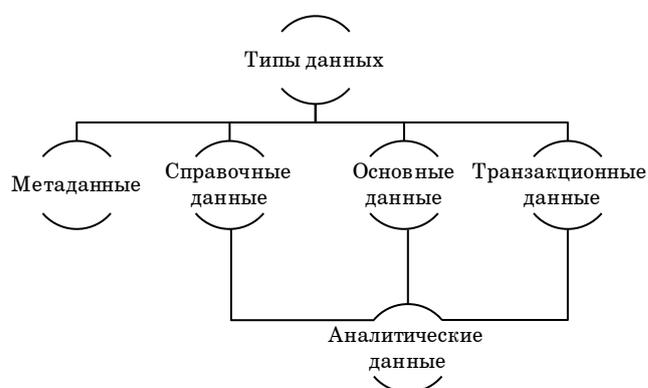
своими данными, имеют значительное преимущество: данные позволяют получить разностороннюю информацию о собственных клиентах, товарах, услугах.

Исходя из вышесказанного, данные являются стратегически важным элементом организации, позволяющим выйти на новый уровень и достичь стратегических целей и задач. Неправильная работа с данными и последующие решения, основанные на них, могут привести компанию к непредсказуемым последствиям. В данной статье рассмотрены основные принципы, методики и проблемы управления данными, а также перспективы управления данными как стратегическим активом организации.

Управление данными – это процесс управления доступностью, целостностью и безопасностью данных в организации путем создания стандартов и политик контроля данных на протяжении всего их жизненного цикла.

В зависимости от области применения и назначения принято выделять следующие типы данных (рис. 1):

- 1) метаданные – данные, содержащие дополнительную информацию о других данных;
- 2) справочные данные – данные, используемые для классификации и (или) категоризации других данных. Например, единицы измерения, справочник городов и т. д.;
- 3) основные данные – данные об объектах, представляющих ценность для организации. Такими объектами чаще всего являются клиенты, продукты, работники, материалы и т. п.;
- 4) транзакционные данные – результат изменения данных на определенный момент времени. Такие данные не подлежат изменению в будущем;
- 5) аналитические данные – используются в аналитической деятельности организации для получения отдельных отчетов и показателей.



- Рис. 1. Типы данных
- Fig. 1. Data types

Зачастую включают в себя справочные, основные и транзакционные данные.

Имеющиеся в распоряжении организации данные – один из немаловажных активов организации, т. е. ресурс, который содержит или производит ценность для этой организации. И если на сегодняшний день представление о данных как об активе организации состоялось, то управление этим активом в большинстве случаев находится на стадии формирования или даже планирования.

## Основные принципы управления данными

Управление данными требует знания информационных активов организации и задач, которые с их помощью могут быть решены [6–8]. Немаловажно определить эффективные методы использования данных для достижения стратегических целей и операционных задач организации. Для получения положительного результата рекомендуется руководствоваться основными принципами управления данными:

1) стратегическая ценность. Данные – это ценный стратегический актив, обладающий уникальными свойствами, позволяющий получить различного рода выгоду. Данные как нематериальный ресурс требуют иного подхода к управлению ими, в отличие от денежных или иных материальных активов. Преимуществом данных является их неисчерпаемость, т. е. их нельзя израсходовать;

2) стратегическое соответствие. Управление данными ориентировано на достижение стратегических целей организации;

3) законодательство. Соблюдение действующего законодательства на протяжении всего жизненного цикла данных;

4) востребованность. Работа с данными (планирование, внедрение, оптимизация) осуществляется исходя из востребованности данных;

5) стандартизация. Соблюдение единообразного подхода к управлению данными;

6) персональная ответственность. Работа с данными подразумевает персональную ответственность, степень которой определяется функциями и ролью участника организации;

7) достоверность. Соблюдение принципа достоверности данных, т. е. отсутствие в данных синтаксических и иных ошибок, а также соответствие данных реальным значениям и характеристикам;

8) контроль качества данных. Основная и первоочередная задача управления данными заключается в обеспечении пригодности данных;

9) единая версия и повторное использование. Работа с данными подразумевает отсутствие одних и тех же данных в различных информационных системах организации и повторного их использования при реализации различных сервисов;

10) информационная безопасность. Соблюдение на протяжении всего жизненного цикла данных требований информационной безопасности. Важно обеспечить защиту от несанкционированного доступа к данным, которые могут содержать конфиденциальную информацию о проектах или технологиях организации. Также пренебрежение этим принципом может привести к утечке данных и использованию их злоумышленниками или конкурентами с целью получения выгоды.

## Проблемы управления данными

Процесс управления данными обладает своими характерными чертами, обусловленными особенностями самих данных [9]. Следовательно, управление данными, согласно вышеописанным принципам, осложняется и имеет ряд основных проблем, рассмотренных ниже. Важно понимать, что эти проблемы имеют комплексный характер и могут затрагивать несколько принципов управления данными одновременно.

Одной из основных проблем управления данными является отличие данных от других активов организации [10]. Как было сказано ранее, данные – нематериальный актив, который не учитывается в балансовой ведомости и в целом неосязаем. При этом данные имеют особое преимущество: данные долговечны и износоустойчивы. Копирование и передача данных не вызывают особых трудностей. Данные не расходуются при использовании, поэтому допускается многократное и многоцелевое использование. Данные порождают новые данные, и большинству организаций уже сейчас приходится работать с возрастающим объемом данных. Различие данных и других активов организации усложняет их денежную оценку и приводит к тому, что измерить вклад данных в успех всей организации затруднительно. Исходя из этих отличий, возникают другие проблемные вопросы, связанные с управлением данными в организации: определение собственника данных, учет массивов данных, информационная защита данных, обеспечение качества данных и т. д.

Несмотря на сложность данных как актива организации, данные – особо ценный и уникальный актив, потеряв который, организация может «потерять лицо». Для приборостроения

данные являются критически важным компонентом не только внутри одной организации, но и между другими организациями: данные помогают при разработке и настройке приборов, а также при выполнении бизнес-транзакций между различными организациями. Такие транзакции в основном происходят в электронной форме и фиксируются, что позволяет обратиться к ним в любой момент времени и получить полную информацию не только о транзакции, но и о ее участниках.

Исходя из огромной роли и ценности данных в жизни современных организаций, требуется правильное и надежное управление ими.

Следующая проблема, которая присуща процессу управления данными, – проблема определения их ценности. Ценность материальных ресурсов – это разница между затратами на приобретение или создание вещи и получением выгоды от нее. С данными все гораздо сложнее, поскольку стандартными бизнес-метриками рассчитать затраты на приобретение или прибыль от них нельзя. Как было уже сказано выше, данные – это уникальный ресурс каждой организации, поэтому оценка их стоимости начинается с определения общих категорий затрат, которые можно использовать в рамках организации. Например: затраты на получение и хранение данных; потери организации в случае отсутствия данных; затраты на повышение качества данных; ожидаемые доходы от использования данных.

Основная проблема оценки данных как актива организации заключается в зависимости ценности от контекста или времени. То, что имеет ценность для одной организации, может быть неинтересно для другой организации (для магазина одежды абсолютно не интересны характеристики или показатели приборов).

Проблема качества данных – одна из самых главных проблем организации при управлении данными. Обеспечение высокого качества данных является главной функцией при управлении ими. Данные должны быть точными, достоверными и надежными, поскольку в дальнейшем эти данные могут использоваться в процессе проектирования, производства и эксплуатации приборов. Некачественные данные могут привести к серьезным проблемам и убыткам организации. Такие данные на этапе проектирования приборов могут привести к созданию непригодных к использованию приборов или брака, что, в свою очередь, увеличит затраты на производство прибора, а также негативно скажется на репутации организации и ее доходах. Поэтому для повышения эффективности процессов проектирования, производства и экс-

плуатации приборов важно обеспечить высокое качество данных.

Сегодня организации используют данные не только из внутренних источников, но и из различных внешних источников. При этом необходимо учитывать различные нормативно-правовые аспекты, действующие как на государственном уровне, так и в рамках отраслевого регулирования. Важно понимать, что данные, созданные в организации, при определенных обстоятельствах могут быть использованы другими лицами. Исходя из этого, знание потенциальных направлений использования данных позволяет более качественно спланировать процесс управления данными, а также процессы повышения качества данных и управления их жизненным циклом.

У данных, как и у любого актива, есть жизненный цикл (рис. 2).

Соответственно, для эффективного управления данными, как и другими активами организации, необходимо полное понимание их жизненного цикла на всех этапах [11]. Для эффективного управления жизненным циклом данных необходимо реализовать ряд мероприятий:

- 1) разработать стратегию управления данными внутри организации, определив порядок создания, хранения и удаления данных на всех этапах жизненного цикла;

- 2) определить требования к данным на протяжении всего жизненного цикла для обеспечения их точности, достоверности и качества;

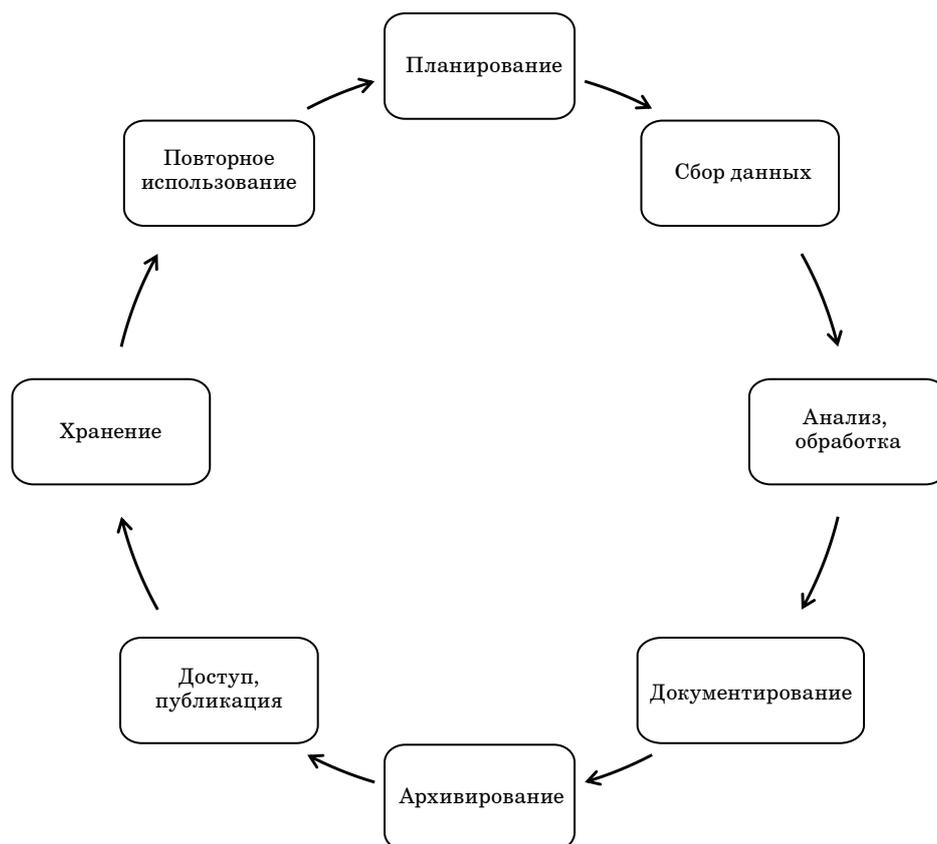
- 3) разработать систему управления данными, которая обеспечит хранение, защиту данных на всех этапах жизненного цикла, а также доступность данных только для определенного круга лиц с соответствующими на это правами. Доступ к данным должен быть ограничен только тем сотрудниками, которые имеют соответствующие компетенции и необходимость в их использовании;

- 4) разработать процедуры обработки данных, которые обеспечат сохранение качества данных или их обогащение на всех этапах жизненного цикла;

- 5) контролировать качество данных на всех этапах жизненного цикла для поддержания их точности, достоверности и соответствия всем требованиям.

Выполнение всех вышеуказанных мер обеспечивает эффективное управление жизненным циклом данных и гарантирует их высокое качество на всех его этапах [12].

Немаловажной проблемой управления данными является то, что они представляют собой не только ценный актив, но и источник риска. Безусловно, некачественные (неточные, непол-



- Рис. 2. Жизненный цикл данных
- Fig. 2. Data lifecycle

ные или устаревшие) данные представляют для организации большую угрозу. Для принятия действительно правильных и обоснованных решений лучше всего руководствоваться данными высокого качества: точными, непротиворечивыми, а главное – своевременными и удобными для использования в тех или иных процессах. Зачастую данных для принятия правильного решения недостаточно, что вынуждает организацию брать на себя ответственность за риски и принимать решения, опираясь на неполные данные [13, 14]. Такие решения могут привести к самым неприятным последствиям, таким как снижение эффективности или убытки. Риски могут возникать не только при принятии каких-либо управленческих решений, но также и при проектировании, создании и эксплуатации оборудования. Неправильно спроектированные или созданные на основе некачественных данных приборы приводят к возникновению дополнительных рисков.

Объем затрат на устранение ущерба, возникшего в результате неправильного управления данными, может резко возрасти и ощутимо повлиять на финансовые результаты всей организации. Поэтому важно уделить должное внима-

ние процессу управления данными и настроить его так, чтобы риски были сведены к минимуму.

Процесс управления данными в организации имеет широкий набор проблем, связанных с характером данных. Помимо основных проблем, рассмотренных нами, существует еще множество вариативных проблем, которые зависят от специфики организации, квалификации специалистов и сотрудников, работающих с данными тем или иным образом.

Для устранения этих проблем и минимизации рисков необходимо придерживаться принципов управления данными и разработать стратегию управления ними. Стратегия управления и работы с данными в организации должна быть спланирована таким образом, чтобы обеспечить конкурентные преимущества, а главное – достижение стратегических целей. Стратегия должна основываться на понимании информационных потребностей, заложенных в стратегические цели, понимании того, какие данные нужны, как их получить и как обеспечить их надежное использование.

Перспективы управления данными в организации любой отрасли, в том числе приборостроительной, широки и приносят множество преимуществ [15].

Эффективное управление данными позволит оптимизировать процессы предприятия, сократить время на изготовление новой продукции, повысить ее качество и снизить издержки.

На основе анализа качественных данных принимаются обоснованные и точные решения, что в перспективе приводит к повышению уровня организации и конкурентоспособности на рынке.

Благодаря эффективному управлению данными существует возможность контролировать и прогнозировать потребности организации в материальных запасах и компонентах, необходимых для создания оборудования и приборов, а также оптимизировать процесс управления запасами.

## Заключение

Нами перечислены лишь некоторые основные перспективы управления данными в организациях приборостроительной отрасли. Однако для достижения целей, поставленных перед внедрением процесса управления данными, а также получения всех преимуществ недостаточно разработать и внедрить эффективную стратегию управления. Необходимо четко руководствоваться процессами, закрепленными в ней, а также использовать соответствующие технические средства, инструменты и технологии.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Репичев А. И., Мусаева Х. М. Управление данными в современных компаниях // Деловой вестн. предпринимателя. 2022. № 4 (10). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-dannymi-v-sovremennyh-kompaniyah> (дата обращения: 14.01.2024).
2. Худов А. М. Теоретико-методические аспекты организации механизма управления региональной экономикой на основе систематизации этапов цифровой трансформации // ЕГИ. 2022. № 42 (4). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoretiko-metodicheskie-aspekty-organizatsii-mehaniza-upravleniya-regionalnoy-ekonomikoy-na-osnove-sistematizatsii-etapov-tsifrovoyu> (дата обращения: 13.01.2024).
3. DAMA-DMBOK: Свод знаний по управлению данными. 2-е изд. / пер. с англ. Г. Агафонова. М.: Олимп-Бизнес, 2020. 828 с.
4. Что такое data driven. Объясняем простыми словами. URL: <https://loginom.ru/blog/data-quality-criteria> (дата обращения: 15.01.2024).
5. Стратегическое планирование в области данных. URL: <https://cdto.ranepa.ru/reports/data/4-3-strategicheskoe-planirovanie-v-oblasti-dannyh> (дата обращения: 15.01.2024).
6. Королев О. Л., Апатова Н. В., Круликовский А. П. «Большие данные» как фактор изменения процессов принятия решений в экономике // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. Эконом. науки. 2017. Т. 10, № 4. С. 31–38.
7. Филатова Е. С., Репичев А. И. Культура работы с данными // Современные тенденции развития менеджмента и государственного управления: Материалы Всерос. очной науч.-практ. конф. (Орел, 3 дек. 2021 г). Орел: Среднерусский ин-т управления – филиал РАНХиГС, 2021. С. 343–347.
8. Радченко И. А., Николаев И. Н. Технологии и инфраструктура Big Data. СПб.: Ун-т ИТМО, 2018. 52 с.
9. Бородаченко С. В. Использование машинного обучения в управлении данными: актуальные проблемы и перспективы // Основные подходы к управлению знаниями в науке и образовании: сб. науч. тр. Казань: САНТРЕМ, 2023. С. 120–123.
10. Заречнева Е. В., Сучилина М. В., Рындина С. В. Управление данными как актуальная проблема современного бизнеса // Банковская система: устойчивость и перспективы развития: сб. науч. ст. 13-й Междунар. науч.-практ. конф. по вопросам финансовой и банковской экономики (Пинск, 28 окт. 2022 г.). Ч. II / редкол.: В. И. Дунай [и др.]. Пинск: Полесский гос. ун-т, 2022. С. 76–80.
11. Берг Д. Б., Ульянова Е. А., Добряк П. В. Модели жизненного цикла: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 74 с.
12. Доросинский Л. Г., Зверева О. М. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Ульяновск: Зебра, 2016. 243 с.
13. Головина Т. А., Авдеева И. Л., Суханов Д. А. Управление рисками организаций в условиях цифровой экономики // Вестн. Академии знаний. 2022. № 48 (1). С. 55–61.
14. Свойства данных и виды рисков. URL: <https://cdto.ranepa.ru/reports/data/8-2-svoystva-dannyh-i-vidy-riskov> (дата обращения: 15.01.2024).
15. Пугачева М. А. Оценка перспектив развития технологии управления большими данными в России // Телекоммуникации и информационные технологии. Реалии. Возможности. Перспективы: сб. тр. XII молодеж. науч. форума «МТУСИ» (Москва, 12–23 апр. 2021 г.). М.: Москов. техн. ун-т связи и информатики, 2021. С. 189–192.

## REFERENCES

1. Repichev A. I., Musaeva Kh. M. Data management in modern companies. Entrepreneur's business newsletter. 2022;4(10). (In Russ.). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-dannymi-v-sovremennyh-kompaniyah> [Accessed 14 January 2024].
2. Khudov A. M. Theoretical and methodological aspects of organizing the regional economic management mechanism based on systematization of the stages of digital transformation. EGI. 2022;(42(4)). (In Russ.). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoretiko-metodicheskie-aspekty-organizatsii-mehaniza-upravleniya-regionalnoy-ekonomikoy-na-osnove-sistematizatsii-etapov-tsifrovoy> [Accessed 13 January 2024].
3. DAMA-DMBOK: Data management body of knowledge. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow: Olympus-Business; 2020. 28 p. (In Russ.).
4. What is data driven. Let's explain in simple words. Available from: <https://loginom.ru/blog/data-quality-criteria> [Accessed 15 January 2024].
5. Strategic planning in the field of data. Available from: <https://cdto.ranepa.ru/reports/data/4-3-strategicheskoe-planirovanie-v-oblasti-dannyh> [Accessed 15 January 2024].
6. Korolev O. L., Apatova N. V., Krulikovskiy A. P. "Big Data" as a factor in changing decision-making processes in the economy. Scientific and technical bulletins of SPbSPU. Economic sciences. 2017;10(4):31–38. (In Russ.).
7. Filatova E. S., Repichev A. I. Culture of working with data. Modern trends in the development of management and public administration: Materials of the All-Russian full-time scientific and practical conference Orel: Central Russian Institute of Management – branch of RANEPa; 2021, pp. 343–347. (In Russ.).
8. Radchenko I. A., Nikolaev I. N. Big data technologies and infrastructure. SPb.: ITMO University; 2018. 52 p. (In Russ.).
9. Borodachenko S. V. The use of machine learning in data management: current problems and prospects. Basic approaches to knowledge management in science and education: a collection of scientific papers. Kazan: SANTREM; 2023, pp. 120–123. (In Russ.).
10. Zarechneva E. V., Suchilina M. V., Ryndina S. V. Data management as an urgent problem of modern business. Banking system: sustainability and development prospects: Collection of scientific articles of the 13<sup>th</sup> International Scientific and practical conference on financial and banking economics (Pinsk, 28 October, 2022). P. II; editorial board: V. I. Dunai et al. Pinsk: Polesky State University; 2022, pp. 76–80. (In Russ.).
11. Berg D. B., Ulyanova E. A., Dobryakova P. V. Life cycle models: studies: the manual. Yekaterinburg: Ural Publishing House; 2014. 74 p. (In Russ.).
12. Dorosinsky L. G., Zvereva O. M. Information technology to support the product lifecycle. Ulyanovsk: Zebra; 2016. 243 p. (In Russ.).
13. Golovina T. A., Avdeeva I. L., Sukhanov D. A. Risk management of organizations in the digital economy. Bulletin of the Academy of Knowledge. 2022;48(1):55–61. (In Russ.).
14. Data properties and types of risks. Available from: <https://cdto.ranepa.ru/reports/data/8-2-svoystva-dannyh-i-vidy-riskov> [Accessed 15 January 2024].
15. Pugacheva M. A. Assessment of prospects for the development of big data management technology in Russia. Telecommunications and Information technologies real opportunities prospects: Proceedings of the XII youth scientific forum "MTUCI" (Moscow, 12–23 April, 2021). Moscow: Technical University of Communications and Informatics; 2021, pp. 189–192. (In Russ.).

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Лисюков Дмитрий Сергеевич**, аспирант кафедры прикладной информатики Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – статистическая обработка данных, анализ данных.

**Яковлева Екатерина Арнольдовна**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной информатики Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

**Lisyukov Dmitriy S.**, Postgraduate Student at the Department of Applied Informatics, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – statistical data processing, data analysis.

**Yakovleva Ekaterina A.**, PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor at the Department of Applied Informatics, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Область научных интересов – математическое моделирование и прогнозирование, статистическая обработка данных, анализ данных.

Research interests – mathematical modeling and forecasting, statistical data processing, data analysis.

Поступила в редакцию 09.04.2024

Received 09.04.2024

Поступила после рецензирования 12.04.2024

Revised 12.04.2024

Принята к публикации 12.05.2024

Accepted 12.05.2024

## Улучшение качества распознавания окатышей полиметаллических руд на изображении за счет адаптивной коррекции контраста

Андрей Владимирович Затонский<sup>1</sup>

✉ xxenon@narod.ru, orcid.org/0000-0003-1863-2535, SPIN-код: 3197-0372

Кристина Александровна Федосеева<sup>1</sup>

kristya\_0103@mail.ru, SPIN-код: 6157-3274

Станислав Викторович Кузнецов<sup>1</sup>

kuznetsovstas04@yandex.ru

<sup>1</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, г. Березники, Российская Федерация

**Аннотация.** Рассмотрена проблема распознавания размеров окатышей полиметаллических руд после комкования для контроля качества процесса. Предложено применить систему технического зрения, распознающую кадры видеопотока. Показана невозможность применения существующих алгоритмов, эффективных для обработки изображений пен калийных флотационных машин. Предложено улучшить распознавание за счет адаптивной настройки контрастности изображения. Показано, что существует оптимальная настройка контрастности, обеспечивающая распознавание наибольшего количества окатышей. После коррекции контрастности оптимальный уровень бинаризации также смещается. Кроме этого, чувствительность к ошибке определения уровня бинаризации снижается, что является положительным результатом. В целом достигнут рост количества распознаваемых окатышей на 20 % по сравнению с исходным методом.

**Ключевые слова:** полиметаллическая руда, окатыши, комкование, регулирование, распознавание, система технического зрения

**Для цитирования:** Затонский А. В., Федосеева К. А., Кузнецов С. В. Улучшение качества распознавания окатышей полиметаллических руд на изображении за счет адаптивной коррекции контраста // Инновационное приборостроение. 2024. Т. 3, № 3. С. 48–52. DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-48-52.

Original article

## Improving the quality of recognition of polymetallic ore pellets in an image by adaptive contrast correction

Andrey V. Zatonskiy<sup>1</sup>

✉ xxenon@narod.ru, orcid.org/0000-0003-1863-2535, SPIN-code: 3197-0372

Kristina A. Fedoseeva<sup>1</sup>

kristya\_0103@mail.ru, SPIN-code: 6157-3274

Stanislav V. Kuznetsov<sup>1</sup>

kuznetsovstas04@yandex.ru

<sup>1</sup> Perm National Research Polytechnic University, Berezniki branch, Berezniki, Russian Federation

**Abstract.** The problem of recognizing the sizes of polymetallic ore pellets after clumping to control the quality of the process is posed. It is proposed to use a technical vision system that recognizes frames of a video stream. It is shown that it is impossible to use existing algorithms that are efficient for processing images of foams of potassium flotation machines. It is proposed to improve recognition by adaptively adjusting image contrast. It is shown that there is an optimal contrast setting that ensures recognition of the largest number of pellets. After contrast correction, the optimal binarization level also shifts. In addition, sensitivity to the error in determining the level of binarization is reduced, which is a positive result. In general, an increase in the number of recognized pellets by 20 % was achieved compared to the original method.

**Keywords:** polymetallic ore, pellets, clumping, regulation, recognition, technical vision system

**For citation:** Zatonskiy A. V., Fedoseeva K. A., Kuznetsov S. V. Improving the quality of recognition of polymetallic ore pellets in an image by adaptive contrast correction. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2024;3(3):48–52. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-48-52.

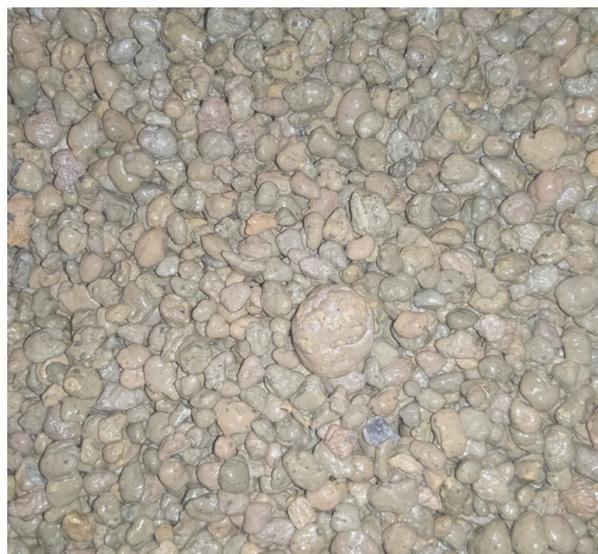
Полиметаллические руды – это комплексные руды, содержащие одновременно несколько металлов, таких как серебро, золото, медь, цинк, свинец и др. Эти руды обладают высокой экономической ценностью, так как позволяют добывать и производить одновременно несколько ценных металлов [1]. Полиметаллические руды широко используются в промышленности. Металлы, добываемые из таких руд, являются важным сырьем для производства различной продукции, начиная от электроники и машиностроения и заканчивая строительными материалами.

Существующие технологии добычи полезных ископаемых не позволяют получать чистые минеральные ресурсы. При добыче полиметаллических руд смешиваются руды с высоким содержанием металла, бедные руды и пустая порода. Из них путем комкования с обжигом производят окатыши – продукт обогащения железосодержащих руд. В отличие от рудных агломератов, окатыши можно транспортировать, многократно перегружать и долго хранить без разрушений [2]. При этом имеет значение размер окатышей, т. е. необходимо регулировать процесс сырого комкования перед обжигом [3].

Визуальный контроль размера окатышей является нецелесообразным, потому что в таком случае затрачивается время работника, который мог бы заниматься другой полезной для производства деятельностью, к тому же не стоит исключать человеческий фактор – работник может допустить ошибки. Поэтому для экономии времени и повышения точности распознавания предлагается применить систему технического зрения.

Однако непосредственное распознавание границ окатышей технически затруднено. Изображение окатышей блеклое, однотонное (рис. 1), освещение около установки может изменяться в течение рабочей смены или года. Аналогичная проблема решалась для распознавания пузырьков в пене калийных флотационных машин (ФМ). В отличие от пен полиметаллических и угольных машин, где систему технического зрения применить несложно [4], в калийной пене в флотомашине низкоконтрастная, блеклая, поэтому границы пузырьков распознать сложно. Проблема решается за счет перехода к обработке бликов от точечного источника света, установленного соосно видеокамере, вместо поиска границ пузырьков [5, 6]. Система технического зрения захватывает видеоряд, выделяет изображения, проводит бинаризацию и подсчитывает количество бликов и расстояния между ними, формируя статистические показатели.

Однако в ходе экспериментальных съемок и их обработки нами установлено, что существующая

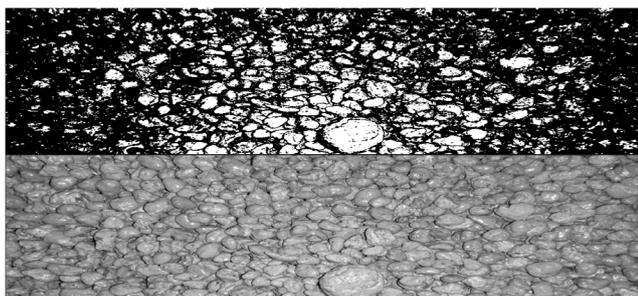


- *Рис. 1. Исходное изображение окатышей*
- *Fig. 1. Original image of pellets*

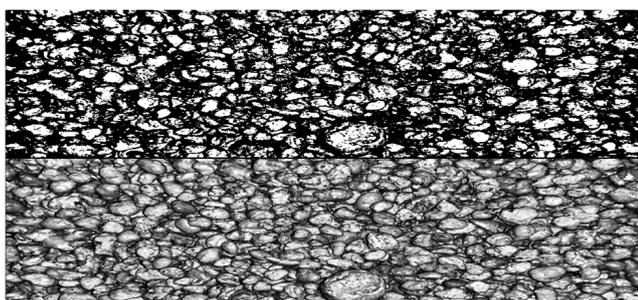
и отработанная технология распознавания бликов от флотационных пен не позволяет в достаточной степени распознавать окатыши. Для повышения качества распознавания выдвинута гипотеза о возможности улучшения распознавания окатышей за счет предварительного изменения контрастности изображения. Предположительно, это может привести к распознаванию тех бликов, которые до этого оказывались ниже порога бинаризации. Поэтому **целью** данной работы является улучшение алгоритмов распознавания бликов за счет изменения контрастности.

Для этого был использован адаптивный алгоритм, который создает адаптивную гистограмму изображения, увеличивая его контрастность. Сначала происходит конвертация изображения из цветового пространства RGB в цветовое пространство LAB, которое разделяет цвет на три компоненты, одна из которых является яркостью. Далее изображение преобразуется в отдельные каналы с этими тремя компонентами, после чего применяется метод CLAHE [7] – метод улучшения контраста изображений. Его принцип заключается в том, что изображение разбивается на блоки размером (обычно 8×8), и для каждого блока строится отдельная гистограмма. Выравнивание гистограмм применяется только к каналу яркости, после чего каналы объединяются, и производится обратное преобразование.

Для проверки гипотезы сначала изображение с окатышами было обработано точно таким же способом, какой использовался для пены. Определен оптимальный порог бинаризации, равный 163, при котором распознано максимальное количество окатышей 77. Однако на рис. 2



- *Рис. 2. Обработка изображения без коррекции контрастности*
- *Fig. 2. Image processing without contrast correction*



- *Рис. 3. Обработка изображения с коррекцией контрастности с коэффициентом 7*
- *Fig. 3. Image processing with contrast correction coefficient is 7*

видно, что окатыши по краям изображения не бликуют и поэтому не распознаются.

Далее исследовали возможность увеличения количества распознаваемых окатышей за счет повышения контрастности. Пошаговое увеличение контрастности до значения коэффициента 7 или 8 приводит к росту количества распознаваемых окатышей на этом снимке до 102. Дальнейшее повышение коэффициента не приводит к росту количества распознаваемых окатышей. На обработанном снимке (рис. 3) заметно, что окатыши по краям стали распознаваться лучше.

Дальнейшее увеличение количества распознаваемых окатышей возможно за счет уточнения порога бинаризации. Повышение контрастности может привести к его смещению. Для разных ко-



- *Рис. 4. Профили бинаризации*
- *Fig. 4. Binarization profiles*

эффициентов роста контрастности были построены профили бинаризации [8], т. е. зависимости количества распознанных бликов (ось ординат) от порога бинаризации (ось абсцисс). Они показаны на рис. 4, где пунктирной линией обозначено количество окатышей в зависимости от порога бинаризации без контрастности, а сплошной линией – с контрастностью.

Оптимальный порог бинаризации при коэффициенте контрастности 8 сместился с 163 до 184, при этом профиль стал более плавным, т. е. менее чувствительным к ошибке определения оптимального порога бинаризации. Это важно, так как процесс определения оптимального порога довольно длительный. Поэтому на практике его рассчитывают по приближенной зависимости от освещенности кадра [9], что приводит к неизбежным ошибкам. Снижение чувствительности к ошибке увеличивает количество распознанных бликов. При этом количество распознанных бликов возросло до 114.

Таким образом, наше исследование подтвердило гипотезу о том, что адаптивное увеличение контрастности исходного изображения позволяет увеличить количество распознаваемых окатышей на данном конкретном изображении на 20 %.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Бабеньшев В. М., Копылов И. С.* Результаты прогнозно-поисковых работ на меднополиметаллические руды на Приполярном Урале в пределах Тыкотовской площади // *Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения – 2020.* 2020. С. 320–329.
2. *Павловец В. М.* Особенности развития техники и технологии окомкования железорудной шихты в производстве окатышей // *Известия высш. учеб. завед. Черная металлургия.* 2023. Т. 66, № 5. С. 529–537.
3. *Лихтина Е. Ю.* Виды флюсующих добавок при производстве окатышей // *Материалы Двадцатой Всерос. науч.-практ. конф. студ. и аспирантов (Старый Оскол, 13 апреля 2023 г.).* 2023. С. 37–39.

4. Романенко С. А., Оленников А. С. Опыт внедрения видеокамер FROTHMASTER на обогатительной фабрике «Зеленая гора-2» // Обогащение руд. 2014. № 2. С. 23–28.
5. Затонский А. В., Варламова С. А. Использование бликовых отражений для автоматического распознавания параметров пены при флотации калийных руд // Обогащение руд. 2016. № 2. С. 49–56.
6. Сегментация изображения пенного продукта флотации: обоснование замены пузырька их бликами / О. С. Логунова [и др.] // Математ. и программ. обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2018. Т. 6, № 1. С. 12–19.
7. Kuran U., Kuran E. C. Parameter selection for CLAHE using multi-objective cuckoo search algorithm for image contrast enhancement // Intelligent systems with applications. 2021. Vol. 12. P. 200051.
8. Варламова С. А., Затонский А. В., Федосеева К. А. Исследование чувствительности к освещению метода бликового распознавания пен калийных флотационных машин // Обогащение руд. 2021. № 6. С. 29–33.
9. Малышева А. В., Затонский А. В. Исследование перспектив перехода на автоматическое управление процессом флотации калийной руды // Автоматизация. Современные технологии. 2019. Т. 73, № 3. С. 119–127.

## REFERENCES

1. Babenyshev V. M., Kopylov I. S. Results of forecasting and prospecting work for copper-polymetallic ores in the Subarctic Urals within the Tykotlovskaya area. Geojekologija, inzhenernaja geodinamika, geologicheskaja bezopasnost'. Pecherkinskie chtenija – 2020. 2020, pp. 320–329. (In Russ.).
2. Pavlovec V. M. Features of the development of equipment and technology for pelletizing iron ore charge in the production of pellets. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Chernaja metallurgija. 2023;66(5):529–537. (In Russ.).
3. Lihtina E. Ju. Types of fluxing additives in the production of pellets. Materialy Dvadcatoj Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov i aspirantov (Staryj Oskol, 13 aprelja 2023 g.). 2023, pp. 37–39. (In Russ.).
4. Romanenko S. A., Olennikov A. S. Experience in implementing FROTHMASTER video cameras at the Green Mountain-2 processing plant. Obogashhenie rud. 2014;(2):23–28. (In Russ.).
5. Zatonskij A. V., Varlamova S. A. Using glare reflections for automatic recognition of foam parameters during flotation of potash ores. Obogashhenie rud. 2016;(2):49–56. (In Russ.).
6. Logunova O. S., Lednov A. V., Shilov R. Je., Muslimov M. B., Bajbulatov F. R. Image segmentation of a froth flotation product: justification for replacing bubbles with their glares. Matematicheskoe i programmnoe obespechenie sistem v promyshlennoj i social'noj sferah. 2018;6(1):12–19. (In Russ.).
7. Kuran U., Kuran E. C. Parameter selection for CLAHE using multi-objective cuckoo search algorithm for image contrast enhancement. Intelligent systems with applications. 2021;12:200051.
8. Varlamova S. A., Zatonskij A. V., Fedoseeva K. A. Study of the sensitivity to illumination of the method of glare recognition of foams of potassium flotation machines. Obogashhenie rud. 2021;(6):29–33. (In Russ.).
9. Malysheva A. V., Zatonskij A. V. Study of the prospects for the transition to automatic control of the potassium ore flotation process. Avtomatizacija. Sovremennye tehnologii. 2019;73(3):119–127. (In Russ.).

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Затонский Андрей Владимирович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Область научных интересов – оптимальное управление социально-техническими системами.

**Федосеева Кристина Александровна**, аспирант кафедры автоматизации технологических процессов Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Область научных интересов – распознавание изображений пен калийных флотационных машин.

**Zatonskiy Andrey V.**, D. Sc. in Technical Sciences, Full Professor, Head at the Department of Automation of Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University, Berezniki branch.

Research interests – optimal controlling in socio-technical systems.

**Fedoseeva Kristina A.**, Postgraduate Student at the Department of automation of Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University, Berezniki branch.

Research interests – image recognition of potash flotation machine foams.

**Кузнецов Станислав Викторович**, студент кафедры автоматизации технологических процессов Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Область научных интересов – распознавание изображений горнорудных окатышей.

Поступила в редакцию 17.04.2024

Поступила после рецензирования 19.04.2024

Принята к публикации 12.05.2024

**Kuznetsov Stanislav V.**, Student at the Department of automation of Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University, Berezniki branch.

Research interests – image recognition of ore pellets.

Received 17.04.2024

Revised 19.04.2024

Accepted 12.05.2024

## Метрологические аспекты оценки чувствительности методов исследований в колориметрии цифровых изображений

Евгения Николаевна Савкова<sup>1</sup>

✉ savkova@bntu.by, <https://orcid.org/0000-0002-7067-0224>, SPIN-код: 3096-2374

<sup>1</sup> Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Описывается метод измерения цвета в программно-аппаратных средах, основанный на принципе линейной калибровки, позволяющий путем построения передаточных функций и градуировочных зависимостей численными методами расширять динамический диапазон яркостей цифровых изображений, повышая точность результатов измерений. Поскольку чувствительность метода различна в цветовых каналах, для уменьшения неопределенности на начальном этапе исследуемые цвета классифицируются по секторам цветового пространства. Предложен комплексный подход к оценке чувствительности при валидации методов колориметрии цифровых изображений с учетом пространственного, временного, яркостного и хроматического компонентов. Оценка осуществляется на уровнях пороговых значений, функциональных зависимостей и коэффициентов чувствительности, включая критерии валидации. В качестве техник валидации рекомендуется использовать темновые снимки для определения выбросов значений и уровня шумов изображений, а также тангенсы углов наклона функциональных зависимостей и контрольные карты.

**Ключевые слова:** колориметрия, цифровое изображение, чувствительность, передаточная функция, градуировочная зависимость, валидация

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке Национальной академии наук и Министерства образования Республики Беларусь.

**Для цитирования:** Савкова Е. Н. Метрологические аспекты оценки чувствительности методов исследований в колориметрии цифровых изображений // Инновационное приборостроение. 2024. Т. 3, № 3. С. 53–65. DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-53-65.

Original article

## Metrological aspects of assessing the sensitivity of research methods in digital image colorimetry

Yauheniya M. Saukova<sup>1</sup>

✉ savkova@bntu.by, <https://orcid.org/0000-0002-7067-0224>, SPIN-code: 3096-2374

<sup>1</sup> Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** A method for measuring color in hardware and software environments is described based on the principle of linear calibration, which allows by constructing transfer functions and calibration dependencies by numerical methods, to expand the dynamic range of brightness of digital images increasing the accuracy of measurements results. Since the sensitivity of the method varies in color channels, in order to reduce uncertainty at the initial stage, the colors under study are classified by sectors of the color space. A comprehensive approach to sensitivity assessment in the validation of digital image colorimetry methods is proposed taking into account spatial, temporal, brightness and chromatic components. The assessment is carried out at the levels of thresholds, functional dependencies and sensitivity coefficients, including validation criteria. As validation techniques, it is recommended to use dark images to determine the outlier values and noise levels of images, as well as tangents of the angles of inclination of functional dependencies and control maps.

**Keywords:** colorimetry, digital image, sensitivity, transfer function, calibration dependence, validation

**Acknowledgements.** The work was supported by the National Academy of Sciences and the Ministry of Education of the Republic of Belarus.

**For citation:** Saukova Y. M. Metrological aspects of assessing the sensitivity of research methods in digital image colorimetry. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2024;3(3):53–65. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-53-65.

### Введение

Цифровые изображения есть дискретно-непрерывные информационные модели объектов, на микроуровне представляющие конечные множества отсчетов яркости, идентифицируемых

в физическом, виртуальном и функциональном цветовом пространстве, на макроуровне – неточечные первичные излучатели, контентные, несущие смысловую нагрузку, описываемые ансамблем состояний в пространстве случайных событий. Колориметрия цифровых изображе-

ний позволяет определять цвет объектов в условиях физической и дополненной реальностей, предоставляя новые возможности по сравнению со стандартными методами и в то же время требуя решения новых задач, например, связанных с расширением динамического диапазона яркости цифрового изображения, ограниченного цветовыми охватами передающих устройств. С целью приближения к динамическому диапазону человеческого зрения ( $0,0005\text{--}10000$  кд/м<sup>2</sup>) [1] в областях, не связанных с измерениями (телевидение, компьютерные игры и дизайн), этого достигают применением многослойных HRDI-изображений либо технологий гамма-компенсации и масштабирования с помощью нелинейного сжатия в верхней части диапазона (подходы ICC.1:2022<sup>1</sup>, ITU-R BT.2446-0<sup>2</sup>), позволяющих добиваться эффектов «улучшения», ориентированных на визуальное восприятие и пиковую яркость монитора, но в этом случае теряется метрологическая прослеживаемость, снижаются точность и достоверность. Методы исследований цвета в программно-аппаратных средах можно разделить по способу восприятия информации на качественные (визуальные) и количественные; по охватываемому диапазону яркостей – на дифференциальные, основанные на измерениях незначительных цветовых различий в диапазоне одного-двух порядков значений интенсивности цвета, и широкодиапазонные (до пяти порядков значений интенсивности цвета), основанные на построении калибровочных зависимостей; по информативности – на прямые, предполагающие измерение непосредственно цвета объекта, и косвенные, в которых цвет используется как информативный параметр для оценки других свойств, например, концентрации или состояний объекта.

В данной работе рассматриваются методы исследований цвета объектов различной природы (в том числе удаленных), входящих в одну зону интереса, в широком диапазоне значений интенсивности. Расширение динамического диапазона осуществляется численными методами путем масштабирования передаточных функций и градуировочных зависимостей, построенных на основе обработки цифровых изображений, выполненных при различном времени экспозиции.

<sup>1</sup> См.: Specification ICC.1:2022 (Profile version 4.4.0.0). Image technology colour management – Architecture, profile format, and data structure. URL: <https://color.org/specification/ICC.1-2022-05.pdf> (дата обращения: 10.05.2024).

<sup>2</sup> См.: Report ITU-R BT.2446-0 (04/2019). Methods for conversion of high dynamic range content to standard dynamic range content and vice-versa. URL: <https://www.itu.int/pub/R-REP-BT.2446-2019> (дата обращения: 10.05.2024).

В этой связи представляет интерес чувствительность как валидационная характеристика методов, хорошо проработанная в аналитических измерениях и определенная как «изменение выходного сигнала прибора, которое соответствует изменению измеряемой величины (например, концентрации аналита), т. е. это градиент калибровочной кривой» [2], или «самая низкая концентрация анализируемого вещества, которая может быть измерена с приемлемой точностью (т. е. LOQ)» [3]. Еще один подход заключается в использовании концепции коэффициента чувствительности, который является мерой того, насколько изменяются выходные данные калибровочной кривой по отношению к изменению входных данных, чтобы сгенерировать карту или профиль чувствительности [4]. Валидационная характеристика, «обратная» чувствительности, – робастность. Знание чувствительности позволяет оптимизировать выбор рабочих участков на диапазоне применения метода, повышая точность, достоверность и надежность результатов исследований.

### Модель измерения цвета в программно-аппаратных средах

Модель измерения цвета в программно-аппаратных средах основана на принципе линейной калибровки (согласно ГОСТ Р ИСО 11095-2007<sup>3</sup>) и заключается в том, что в подпространстве образов яркость  $L$  исследуемого объекта может отображаться в градациях серой нейтральной шкалы (в условных единицах или единицах СИ) и в то же время раскладываться на составляющие  $N_R$  в красном,  $N_G$  в зеленом и  $N_B$  в синем цветовых каналах, что дает возможность решать прямые и обратные задачи с помощью калибровочных графиков [5, 6], для построения которых используются образцы сравнения (источники опорного излучения), обеспечивающие метрологическую прослеживаемость цвета. Разработанные методы измерений цвета основаны на численном моделировании условной многомерной колориметрической шкалы и заключаются в создании наборов образцов сравнения – неточечных излучателей, относящихся к определенному сектору цветового пространства, образующих при цифровой регистрации с пошагово увеличивающимся временем экспозиции векторы в цветовом пространстве  $XYZ$ , берущие начало из нулевой точки и пере-

<sup>3</sup> См.: ГОСТ Р ИСО 11095-2007. Статистические методы. Линейная калибровка с использованием образцов сравнения. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/b4c/4293833096.pdf> (дата обращения: 10.05.2024).

секающие плоскость графика цветностей, создавая на ней геометрическое место точек, соответствующее цвету искомого объекта [5, 6]. Образцы сравнения выбираются из условий:

1) принадлежность к одному сектору цветового пространства, разделенного по признакам преувеличения составляющих, расположенных по убыванию – I (R, G, B), II (R, B, G), III (G, B, R), IV (G, R, B), V (B, R, G), VI (B, G, R); или присутствия двух одинаковых составляющих – VII (R, G, B); VIII (G, B, R), IX (B, R, G); или одна составляющая из трех максимальна и т. д.;

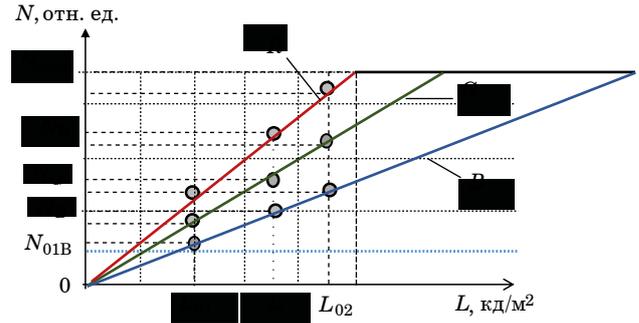
2) значения интенсивности цвета образцов сравнения должны находиться как можно ближе к интенсивности исследуемого цвета объекта (метод «вилки», согласно ГОСТ Р ИСО 11095-2007) –  $N_{R0k} < N_R < N_{R0(k+1)}$ ;  $N_{G0k} < N_G < N_{G0(k+1)}$ ;  $N_{B0k} < N_B < N_{B0(k+1)}$  и  $L_{0k} < L < L_{0(k+1)}$ . Отнесение пикселя к определенной области цветового пространства позволяет снижать неопределенность на начальном этапе исследования. Согласно ГОСТ Р ИСО 16336-2020<sup>1</sup>, чувствительность – значение изменения отклика, вызванное единичным изменением входной величины. При линейной аппроксимации, как показано на рис. 1, на горизонтальной оси откладывают яркость источников опорного излучения  $L_{0j}$ , по вертикальной оси – усредненную интенсивность их изображений  $N_{0j}$  в красном (R), зеленом (G) и синем (B) цветовых каналах.

Модель измерения яркости и цвета имеет вид [6]:

$$L = \begin{bmatrix} (N_R - N_{R0k}) \frac{L_{R0(k+1)} \gamma_{(k+1)} - L_{R0k} \gamma_k}{N_{R0(k+1)} - N_{R0k}} + L_{R0k} \gamma_k \\ (N_G - N_{G0k}) \frac{L_{G0(k+1)} \gamma_{(k+1)} - L_{G0k} \gamma_k}{N_{G0(k+1)} - N_{G0k}} + L_{G0k} \gamma_k \\ (N_B - N_{B0k}) \frac{L_{B0(k+1)} \gamma_{(k+1)} - L_{B0k} \gamma_k}{N_{B0(k+1)} - N_{B0k}} + L_{B0k} \gamma_k \end{bmatrix}^T, \quad (1)$$

где  $k$  – номер образца сравнения;  $L_{0k}$ ,  $L_{0(k+1)}$  – значения яркости  $k$ -го и  $(k+1)$ -го образцов сравнения;  $\gamma_k$ ,  $\gamma_{(k+1)}$  – поправочные коэффициенты, зависящие от индикатрисы и угла наблюдения образцов сравнения;  $N_R$ ,  $N_G$ ,  $N_B$  – усредненные по области  $n$  пикселей значения интенсивности цвета в R-, G-, B-каналах цифрового изображения исследуемого объекта;  $N_{R0k}$ ,  $N_{G0k}$ ,  $N_{B0k}$ ,  $N_{R0(k+1)}$ ,  $N_{G0(k+1)}$ ,  $N_{B0(k+1)}$  – усредненные по области  $n$  пикселей зна-

<sup>1</sup> См.: ГОСТ Р ИСО 16336-2020. Статистические методы. Применение к новым технологиям и процессу разработки продукции. Робастное параметрическое проектирование (RPD). URL: [https://agosty.ru/03/120/gost\\_r\\_iso\\_16336-2020](https://agosty.ru/03/120/gost_r_iso_16336-2020) (дата обращения: 10.05.2024).



• Рис. 1. Принцип построения градуировочной зависимости интенсивности цифрового изображения от яркости регистрируемого объекта

• Fig. 1. The principle of a calibration dependence constructing of the digital image intensity on the the recorded object brightness

чения интенсивности цвета в красном, зеленом и синем цветовых каналах цифрового изображения  $k$ -го и  $(k+1)$ -го образцов сравнения;  $T$  – значение времени экспозиции.

Разработанные методы измерений  $T_j$  позволяют определять координаты цвета  $R_j$ ,  $G_j$ ,  $B_j$  для  $j$ -й реализации объекта в виде цифрового изображения, объединять их в семейства векторов (тензор  $\mathbf{R}_j^T \mathbf{G}_j^T \mathbf{B}_j^T$ ), трансформировать в семейства векторов  $\mathbf{X}_j \mathbf{Y}_j \mathbf{Z}_j$  (тензор  $\mathbf{X}_j^T \mathbf{Y}_j^T \mathbf{Z}_j^T$ ), перемещаясь от нулевой точки к плоскости графика цветностей, идентифицируя цвет в точке пересечения с расширенной неопределенностью, не превышающей 5–10 %. Для расчета координат цветности  $x_{yz}$  процедура измерения цвета включает в себя преобразования  $N_R N_G N_B \rightarrow \text{RGB} \rightarrow \text{XYZ}$ . Переход к цветовому пространству XYZ осуществляется по формулам [1]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_R X & W_G X & W_B X \\ W_R Y & W_G Y & W_B Y \\ W_R Z & W_G Z & W_B Z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $W_R$ ,  $W_G$ ,  $W_B$  – коэффициенты, рассчитываемые по формуле [1]:

$$\begin{bmatrix} W_R \\ W_G \\ W_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X_W \\ Y_W \\ Z_W \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где  $X_W$ ,  $Y_W$ ,  $Z_W$  – координаты эталонного белого цвета ( $D_{65}$ ,  $D_{50}$  и др.).

Линейное преобразование исходного цвета ( $X_S$ ,  $Y_S$ ,  $Z_S$ ) в целевой ( $X_D$ ,  $Y_D$ ,  $Z_D$ ) реализуется через алгоритмы хроматической адаптации [1, 7]:

$$\begin{bmatrix} X_D \\ Y_D \\ Z_D \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где  $M$  – цветовой модуль.

Координаты цветности  $x, y, z$  рассчитываются по формулам [1]:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}; \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}; \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}. \quad (5)$$

Полученные наборы координат цветности затем усредняются по  $m$  реализаций. Управление чувствительностью цветового вектора предлагается осуществлять на нескольких уровнях, перемещаясь от предела обнаружения к области насыщения и границам приемлемости метода.

*Уровень 1 – чувствительность метода вблизи предела обнаружения* – минимальный поток излучения, который может быть обнаружен на фоне собственных шумов элементов информационно-измерительного канала – «осветитель», «освещаемый объект», «устройство цифровой регистрации» (например, цифровая камера), «алгоритм обработки графических данных», «устройство отображения», «зрительный анализатор» (для визуальных методов). В клинических исследованиях нижний предел чувствительности метода  $X_{\text{пр}}$ , согласно ГОСТ Р 53022.2-2008<sup>1</sup> и [8], рассчитывают по формуле:

$$X_{\text{пр}} = X + 3\sigma, \quad (6)$$

где  $X$  – значение измерения холостой пробы;  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение для серии из 20 измерений.

Если в качестве  $X$  принять шумовую составляющую сигнала  $\hat{\xi}$ , воспроизводимого темновым снимком в цветовом канале при времени экспозиции  $T$ , то для нижнего предела чувствительности цвета  $Q$  получим:

$$S_{Q_{\text{пр}}}^T = \begin{bmatrix} S_{R_{\text{пр}}} \\ S_{G_{\text{пр}}} \\ S_{B_{\text{пр}}} \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} \hat{\xi}_R + 3\sigma_R & 0 & 0 \\ 0 & \hat{\xi}_G + 3\sigma_G & 0 \\ 0 & 0 & \hat{\xi}_B + 3\sigma_B \end{bmatrix}^T, \quad (7)$$

<sup>1</sup> См.: ГОСТ Р 53022.2-2008. Технологии лабораторные клинические. Требования к качеству клинических лабораторных исследований. Ч. 2: Оценка аналитической надежности методов исследования (точность, чувствительность, специфичность). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/481/48159.pdf> (дата обращения: 10.05.2024).

где  $\sigma_R, \sigma_G, \sigma_B$  – средние квадратические отклонения интенсивности в R-, G-, B-каналах, рассчитываемые путем суммирования внутриэкземплярной (в пределах области  $n$  пикселей цифрового изображения) и межэкземплярной (если значения усреднялись также между  $w$  участками цифрового изображения протяженного объекта) дисперсий:

$$\sigma_q = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (N_{iqq} - \bar{N}_{gq})^2 + \frac{1}{w-1} \sum_{g=1}^w (\bar{N}_{gq} - \bar{N}_q)^2}, \quad (8)$$

где  $N_{iq}$  – интенсивность цвета  $i$ -го пикселя  $g$ -го участка цифрового изображения в  $q$ -м цветовом канале;  $\bar{N}_{gq}$  – усредненная интенсивность цвета по области  $n$  пикселей  $g$ -го участка цифрового изображения в  $q$ -м канале;  $\bar{N}_q$  – среднее арифметическое усредненных значений.

Допуская возможность замены среднеквадратического отклонения стандартной неопределенностью, получим:

$$S_{\text{пор}q} = Q_q + 3u_q(Q), \quad (9)$$

где  $u_j(Q)$  – неопределенность цвета  $Q$  в  $q$ -м цветовом канале в области диапазона применения метода, близкой к порогу обнаружения, полученная путем комплексирования компонентов (в относительном виде) по формуле:

$$\frac{u_j(Q)}{Q} = \sqrt{\frac{u^2(w)}{w^2} + \frac{u^2(t)}{t^2} + \frac{u^2(L)}{L^2} + \frac{u^2(C)}{C^2}}, \quad (10)$$

где  $w, t, L, C$  – параметры, характеризующие пространственный, временной, яркостный и хроматический компоненты соответственно.

Пространственный компонент для человеческого зрения для статических изображений определяют следующие показатели:

- 1) визуальное (предельное) разрешение, заданное в [9] как предел Найквиста;
- 2) разрешающая способность – 1 угловая минута для расстояния 250 мм [9] и 0,1 мм (для абсолютно здорового глаза) [10];
- 3) острота зрения 1 пт = 0,376 мм [10];
- 4) угол обзора знака (CSS-пиксель), заданный в ГОСТ Р 52872-2019<sup>2</sup> как 0,0213°.

<sup>2</sup> См.: ГОСТ Р 52872-2019. Интернет-ресурсы и другая информация, представленная в электронно-цифровой форме. Приложения для стационарных и мобильных устройств, иные пользовательские интерфейсы. Требования доступности для людей с инвалидностью и других лиц с ограничениями. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293727/4293727086.pdf> (дата обращения: 10.05.2024).

Временной компонент определен в [9] продолжительностью саккады в диапазоне 10÷100 мс; длительностью фиксации – от 50 мс; критической частотой мельканий  $f_{кр} = 41$  Гц [9].

Применительно к машинному зрению ГОСТ Р 51558-2014<sup>1</sup> определяет термин «чувствительность видеокамеры» как нижнюю границу рабочего диапазона освещенностей в поле зрения видеокамеры, при которой разрешающая способность и отношение «сигнал/шум» видеокамеры должны быть не менее заданных. Согласно ISO 12232:2019<sup>2</sup>, стандартная чувствительность выходного сигнала ISO – конкретное значение индекса экспозиции для цифровой фотокамеры, которое обеспечивает неподвижное изображение с указанным значением сигнала изображения при определенных условиях тестирования (необязательно обеспечивая лучшее качество изображения). Временной компонент для машинного зрения определяется предельным разрешением регистрирующей системы – частотой Найквиста (для времени – порядка 1/16 000 с) и частотой смены кадров (120 Гц).

В отношении яркостного компонента для визуальных задач при использовании цифровых изображений в режиме реального времени (например, во время проведения хирургических операций) DICOM PS3.14 2023e<sup>3</sup> рекомендована модель Бартена [11], учитывающая нейронный шум (верхний предел контрастной чувствительности на высоких пространственных частотах), боковое торможение, фотонный шум, внешний шум, ограниченную интеграционную способность, оптическую функцию переноса модулей, ориентацию и временную фильтрацию, записываемая уравнением контраста [11]:

$$S(L) = \frac{q_1 M_{opt}(L)}{\sqrt{\frac{q_2}{d^2(L) + q_3}}}, \quad (11)$$

где  $d$  – диаметр зрачка;  $q_1, q_2, q_3$  – константы;  $M_{opt}(L)$  – функция передачи оптической модуляции [11]:

$$M_{opt}(L) = e^{-\pi^2 \sigma^{*2} v^2}, \quad (12)$$

где  $v$  – пространственная частота в градусах Цельсия, определяется на основе гауссовой функции распределения точек, включающей оптические свойства хрусталика глаза, рассеянный свет от оптических сред, диффузию в сетчатке и дискретную природу рецепторных элементов, а также сферическую aberrацию;  $\sigma^*$  – стандартное отклонение, рассчитываемое по формуле [11]:

$$\sigma^* = \sqrt{\sigma_0^2 + (C_{sph} d^3)^2}, \quad (13)$$

где  $\sigma_0$  – значение при малых размерах зрачка  $d$ ;  $C_{sph}$  – основной компонент, зависящий от диаметра зрачка.

В качестве номинальной ступени квантования для визуальных методов может быть принята средняя яркость следующего, более высокого, уровня, которая, согласно DICOM PS3.14 2023e, вычисляется путем сложения пиковой модуляции со средней яркостью  $L_j$  предыдущего уровня:

$$L_{q+1} = L_q \frac{1 + \eta_q}{1 - \eta_q}, \quad (14)$$

где  $\eta_q$  – пиковая модуляция глаза.

Десятичные логарифмы яркости  $L_q$  очень хорошо интерполируются этой функцией по всему диапазону яркости. Относительное отклонение любого логарифмического значения (яркости) от функции составляет не более 0,3 %, а среднеквадратическая погрешность равна 0,0003. Для визуальных восприятий цифровых изображений DICOM PS3.14 2023e также рекомендует использовать индекс «JND» – входное значение для стандартной функции отображения в оттенках серого, такое, что один шаг в индексе JND приводит к разнице яркости, которая является едва заметной. Дискретные значения JND могут использоваться для произвольных начальных уровней и в любом желаемом диапазоне яркости. Хроматический компонент для человеческого зрения определяется порогами цветоразличения  $\Delta E_{ab}^* \approx 1...5$  [1, 12], что примерно соответствует изохроматическим областям Мак – Адама.

Яркостно-хроматический компонент для машинного зрения определяется глубиной цвета (8, 12 и 24 бит на канал). Значение уровня сигнала в каждом из пикселей определяют путем взвешенного усреднения  $B(x, y)$  в малой окрестности  $\delta$  [12, 13]:

$$B(x, y) = \int_{y-\delta}^{y+\delta} \int_{x-\delta}^{x+\delta} B(\omega, z) H_c(x - \omega, y - z) d\omega dz, \quad (15)$$

<sup>1</sup> См.: ГОСТ Р 51558-2014. Средства и системы охраняемые телевизионные. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний. URL: <https://t3group.ru/pdf/gost-r-51558-2014.pdf> (дата обращения: 10.05.2024).

<sup>2</sup> См.: ISO 12232:2019. Photography – Digital still cameras – Determination of exposure index, ISO speed ratings, standard output sensitivity, and recommended exposure index. URL: <https://www.iso.org/standard/73758.html> (дата обращения: 10.05.2024).

<sup>3</sup> См.: DICOM PS3.14 2023e – grayscale standard display function. URL: [http://bio.gsi.de/DOCS/Dicom/2008/08\\_14ru.pdf](http://bio.gsi.de/DOCS/Dicom/2008/08_14ru.pdf) (дата обращения: 10.05.2024).

где  $H_c$  – взвешивающая функция или импульсный отклик фильтра;  $\delta$  – дельта-функция.

Для машинного зрения градиация яркости  $B$  в  $q$ -м цветовом канале интерполируется номинальной ступенью квантования  $\delta_j$  [12, 13]. Максимальная ошибка квантования при использовании округления равна половине шага квантования  $(\pm\delta_q)/2$ . В соответствии с теоремой Котельникова, формула среднеквадратического отклонения ошибки преобразования  $\delta_q$  имеет вид [13]:

$$\sigma(\delta_q) = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{2^N \sqrt{12}}, \quad (16)$$

где  $L_{\max}$  – наибольшее значение сигнала;  $L_{\min}$  – наименьшее значение сигнала;  $2^N$  – число уровней квантования;  $N$  – разрядность кода.

В предельном случае хроматический компонент для человеческого и машинного зрения определен спектральной чувствительностью глаза через значения стимула  $Q$  со спектральным распределением света  $P_\lambda(\lambda)$  в пространстве LMS –  $L_Q(419,0 \pm 3,6)$  нм,  $M_Q(530,8 \pm 3,6)$  нм и  $S_Q(558,4 \pm 5,2)$  нм [1] в дискретном представлении:

$$\begin{aligned} L_Q &= k_L \int P_\lambda(\lambda) \bar{l}(\lambda) d\lambda; \\ M_Q &= k_M \int P_\lambda(\lambda) \bar{m}(\lambda) d\lambda; \\ S_Q &= k_S \int P_\lambda(\lambda) \bar{s}(\lambda) d\lambda, \end{aligned} \quad (17)$$

где  $\bar{l}(\lambda)$ ,  $\bar{m}(\lambda)$ ,  $\bar{s}(\lambda)$  – функции спектрального отклика, которые используются в преобразованиях [1, 14]:

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}; \quad M = \begin{bmatrix} 0,0387 & 0,6890 & -0,0787 \\ -0,2298 & 1,1834 & 0,0464 \\ 0,0 & 0,0 & 1,0 \end{bmatrix}. \quad (18)$$

Таким образом, чувствительность методов колориметрии цифровых изображений в области, близкой к пределу обнаружения, в программно-аппаратных средах является комплексным показателем, включающим в себя пространственный, яркостный, временной и хроматический компоненты, который может быть оценен статистически или из априорной информации с адаптацией к внутренним и внешним факторам.

*Уровень 2 – чувствительность к фактору времени* – описывается зависимостями яркости, светлоты или интенсивности цвета от времени экспозиции, такими как графики темновой, яркостной и хроматической адаптации зрительного анализатора, кривые обнаруживаемости черного уровня Стокермана [15] и т. д. Для машинного

зрения, согласно ISO 12232:2019, фотографическая чувствительность задается рядом числовых значений индекса экспозиции  $I_{EI}$ :

$$I_{EI} = \frac{E}{H_m}, \quad (19)$$

где  $E$  – константа, равная 10 лк·с;  $H_m$  – средняя экспозиция фокальной плоскости, лк·с.

Для камер, где практически невозможно измерить экспозицию в фокальной плоскости, значение  $H_m$  должно быть оценено для изображения с плоским полем на расстоянии не менее 1 м с использованием только части поля зрения датчика изображения, ограниченного углом менее  $10^\circ$  (объектив тестовой карты должен быть установлен на бесконечность) по формуле:

$$H_m = \frac{65L_a T}{100A^2}, \quad (20)$$

где  $A$  –  $f$ -число линзы;  $L_a$  – яркость, измеренная с использованием полного кадра равномерно освещенной диффузной отражающей тестовой карты (т. е. пространственно однородное поле зрения спектрально нейтральной отражательной способности), кд/м<sup>2</sup>;  $T$  – время экспозиции, не должно превышать 1/30 с.

На рис. 2 показаны передаточные функции – зависимости интенсивности цвета в красном  $N_R$ , зеленом  $N_G$  и синем  $N_B$  цветовых каналах от фактора (логарифма) времени экспозиции, экспериментально полученные при цифровой регистрации с различным временем экспозиции  $T$  одного и того же изохроматического образца [16].

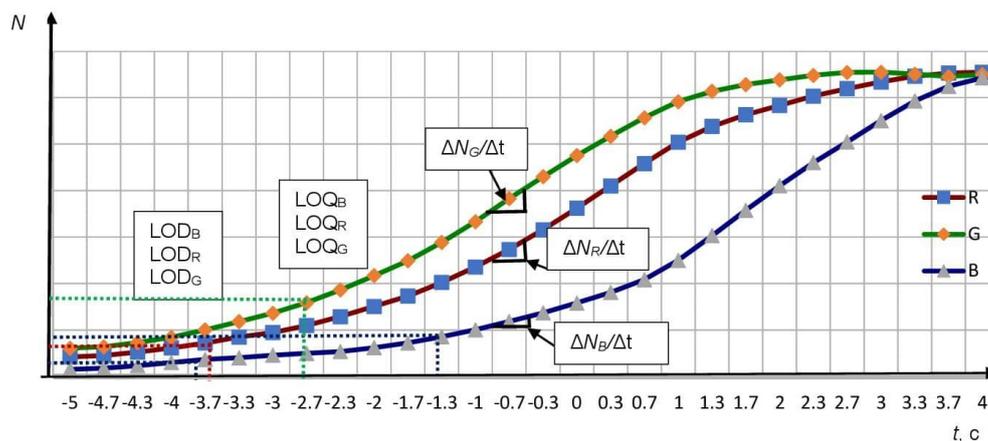
Из рис. 2 видно, что передаточные функции нелинейны при их рассмотрении в широких диапазонах значений времени экспозиции, но они могут быть разделены на сегменты в предположении линейности с чувствительностью  $\Delta N_R/\Delta t$ ,  $\Delta N_G/\Delta t$ ,  $\Delta N_B/\Delta t$ . Примеры других экспериментально полученных передаточных функций показаны на рис. 3 [16].

На основе передаточных функций строились карты чувствительности  $S_q(\Delta N_q)$  для R-, G-, B-каналов:

$$S_R = \frac{\Delta N_R}{\Delta T}; \quad S_G = \frac{\Delta N_G}{\Delta T}; \quad S_B = \frac{\Delta N_B}{\Delta T}.$$

Примеры карт показаны на рис. 4, где по горизонтальной оси (рис. 4, а) отложены номера интервалов значений времени экспозиции  $\Delta T$  или (рис. 4, б) его логарифм, по вертикальной оси – интенсивности цвета  $\Delta N_R$ ,  $\Delta N_G$ ,  $\Delta N_B$ .

При обработке карт чувствительности может быть применена операция сглаживания, пред-



• *Рис. 2. Пример передаточных функций интенсивности цвета для изохроматического образца типа «GRB»*  
 • *Fig. 2. An example of transient color intensity functions for an isochromatic sample of the “GRB” type*

Ахроматический режим (сектор 0)	Образцы типа RBG (сектор II)	Образцы типа GRB (сектор IV)	Образцы типа BGR (сектор VI)
Уровень 64	$R^1B^1G^1$	$G^1R^1B^1$	$B^1G^1R^1$
Уровень 128	$R^2B^2G^2$	$G^2R^2B^2$	$B^2G^2R^2$
Уровень 196	$R^3B^3G^3$	$G^3R^3B^3$	$B^3G^3R^3$
Уровень 255	$R^4B^4G^4$	$G^4R^4B^4$	$B^4G^4R^4$

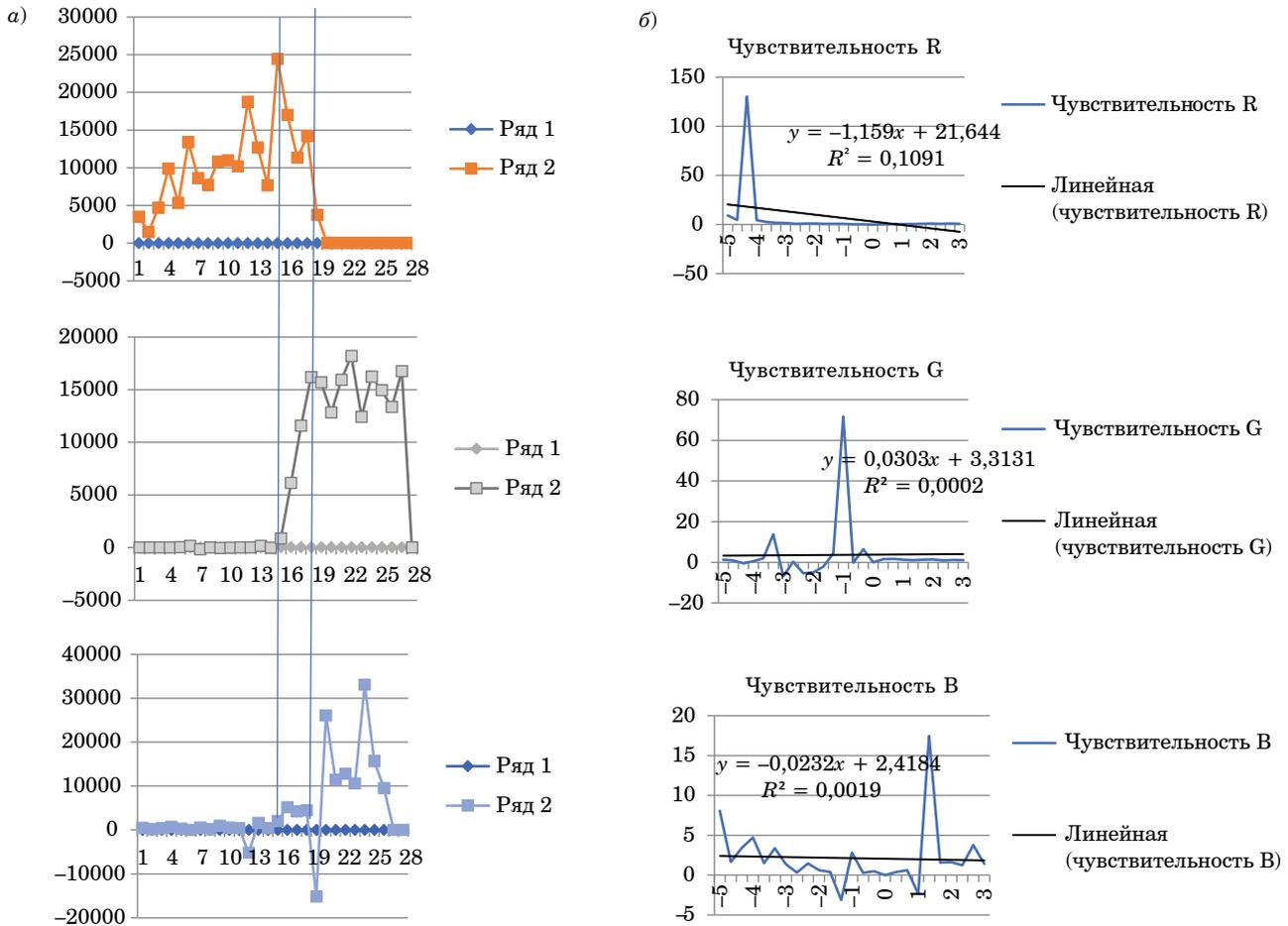
• *Рис. 3. Наборы передаточных функций цифровых изображений для изохроматических образцов типов «серый», «RBG», «GRB», «BGR»*  
 • *Fig. 3. Sets of transition functions of digital images for isochromatic samples of the types “gray”, “RBG”, “GRB”, “BGR”*

ложенная в виде обобщенной оценки в [14]. В методе вычисления производных в стандарте IEEE Std. 1597.1<sup>1</sup> используется уменьшение влияния

зашумленных или пиковых данных: числитель коэффициента разности выбирает две точки данных, расположенные дальше, что приводит к своего рода маскировке небольших локальных

<sup>1</sup> См.: IEEE Std. 1597.1. Standard for validation of computational electromagnetics computer modeling and simulations. URL: <https://www.mystandards.biz/>

[standard/ieee-1597-1-2022-8.9.2023.html](https://www.ieee.org/standards/ieee-1597-1-2022-8.9.2023.html) (дата обращения: 10.05.2024).



• Рис. 4. Примеры карт чувствительности интенсивности цвета изохроматического образца сравнения для красного R-, зеленого G- и синего B-каналов, полученных в результате обработки изображений в программах: а – Excel; б – Wolfram mathematica

• Fig. 4. Examples of color intensity sensitivity maps of isochromatic comparison samples for red R, green G and blue B channels obtained as a result of image processing images in programs: а – Excel; б – Wolfram mathematica

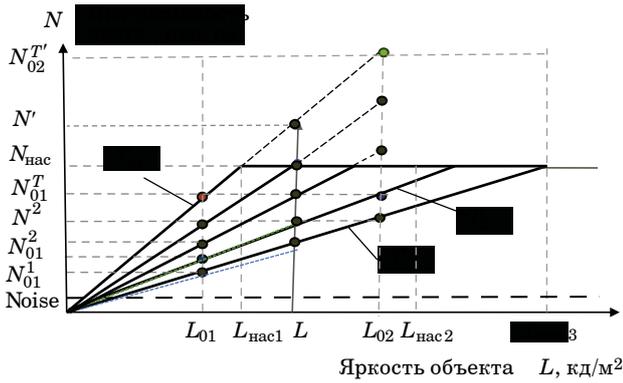
пиков. Лучшее сглаживание достигается при вычислении производной более высокого порядка, например, методом пятиточечного трафарета [17]. Карты показывают различную чувствительность и скорость ее изменения в цветовых каналах для изображения одного и того же изохроматического образца, являясь удобным инструментом для выбора оптимальных режимов информационно-измерительной системы, соответствующих областям перекрытия рабочих участков передаточных функций. Если перекрытий не наблюдается, можно осуществить корректировку численными методами путем анализа градуировочных характеристик.

Уровень 3 – чувствительность метода исследований к опорной яркости. Каждому  $k$ -му образцу сравнения с яркостью  $L_{0k}$  соответствует ансамбль  $m$  его реализаций (изображений) в программно-аппаратных средах с интенсивностями  $N_{0k}^T$ , полученных при различном времени экспозиции  $T$ , как иллюстрируют градуировочные

зависимости на рис. 5, построенные для пары образцов сравнения с яркостями  $L_{01}$  и  $L_{02}$  для  $q$ -го цветового канала [5, 6].

Поскольку чувствительность метода измерений соответствует чувствительности условных шкал в соответствующих секторах цветового пространства, для линейной зависимости  $N(L)$  в  $q$ -м цветовом канале она оценивается отношением  $(\Delta N_q / \Delta L_q)$ , и выражение (1) принимает вид:

$$L^T = \begin{bmatrix} \frac{N_R - N_{R0k}}{S_R} + L_{0k} \gamma_{Rk} \\ \frac{N_G - N_{G0k}}{S_G} + L_{0k} \gamma_{Gk} \\ \frac{N_B - N_{B0k}}{S_B} + L_{0k} \gamma_{Bk} \end{bmatrix}^T, \quad (21)$$



• Рис. 5. Семейство градуировочных зависимостей в  $j$ -м цветовом канале  
 • Fig. 5. Family of calibration dependencies in the  $j^{th}$  color channel

где  $S_R, S_G, S_B$  – чувствительности условных шкал в цветовых каналах.

Отрезку  $[L_{0k}, L_{0(k+1)}]$  на горизонтальной оси соответствуют сегменты  $[N_{R0k}; N_{R0(k+1)}]^T$ ,  $[N_{G0k}; N_{G0(k+1)}]^T$  и  $[N_{B0k}; N_{B0(k+1)}]^T$  различной чувствительности. Расширение динамического диапазона яркости в выбранном цветовом канале можно осуществить путем корректировки координат цвета с помощью коэффициента преобразования [5, 6]:

$$K_{l,l+1} = \frac{N_{0k}^{T_{l+1}}}{N_{0k}^{T_l}}. \quad (22)$$

На первом этапе продлевают градуировочную зависимость на величину  $\Delta N$ , переходя от точки  $N_{нас}$  к точке  $N_x$ , находящейся за пределами области насыщения, как показано пунктирными линиями на рис. 5, и находят новое значение  $N' = (N_{нас} / K_{l,l+1})$ . Корректировка двух других координат цвета осуществляется аналогично, путем изменения чувствительности градуировочных зависимостей. В предположении о линейности функции калибровки и постоянстве стандартного отклонения остатков запишем модели градуировочных зависимостей согласно ГОСТ ИСО 11095-2007 для  $k$ -го сегмента и времени экспозиции  $T$ :

$$\begin{aligned} N_{Rk}^T &= \left( a_k + b_k L + \varepsilon_k \right)_R^T; \\ N_{Gk}^T &= \left( a_k + b_k L + \varepsilon_k \right)_G^T; \\ N_{Bk}^T &= \left( a_k + b_k L + \varepsilon_k \right)_B^T, \end{aligned} \quad (23)$$

где  $a_k$  – точка пересечения функции калибровки с осью ординат;  $b_k$  – угловой коэффициент функ-

ции калибровки;  $\varepsilon_k$  – разность между  $N_{Rk}^T$  и математическим ожиданием результатов измерений на  $k$ -м образце сравнения.

Преобразование результата будущего измерения в соответствии с функцией калибровки заключается в том, что при выполнении обратной операции (смена ролей переменных – измерение яркости), согласно ГОСТ ИСО 11095-2007, новую неизвестную величину  $N^T$  «измеряют  $n$  раз» (в данном контексте – усредняют по области  $n$  пикселей и  $w$  количеству цифровых изображений, выполненных при одном и том же времени экспозиции):

$$\bar{N}^T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^w N_{il}^T. \quad (24)$$

Если выбрана модель с постоянным стандартным отклонением остатков, оценка величины  $L$ , соответствующая  $N$ , имеет вид [17]:

$$L = \frac{N - a}{b}. \quad (25)$$

При выполнении обратной операции для модели с постоянным стандартным отклонением остатков:

$$L^T = \frac{\bar{N}^T - \hat{a}_k}{\hat{b}_k}, \quad (26)$$

где  $\hat{a}_k$  – оценка параметра  $a_k$ ;  $\hat{b}_k$  – оценка углового коэффициента  $b_k$ :

$$\hat{b}_k = \frac{\bar{N}^T - N_b^T}{L^T - L_b^T}. \quad (27)$$

Оценку величины  $L$  получают по формуле:

$$\hat{L} = \frac{L_{0,k+1} (N - \bar{N}_{0k}) - L_{0,k} (N - \bar{N}_{0,k+1})}{\bar{N}_{0,k+1} - \bar{N}_{0,k}}. \quad (28)$$

Стандартную неопределенность  $u(L)$ , соответствующую  $L$ , определяют по формуле [17]:

$$\begin{aligned} u^2(L) &= c^2(a)u^2(a) + c^2(b)u^2(b) + \\ &+ 2c(a)c(b)\text{cov}(a,b) + c^2(N)u^2(N). \end{aligned} \quad (29)$$

В матричном представлении:

$$u^2(L) = c^T \begin{bmatrix} u^2(a) & \text{cov}(a,b) & 0 \\ \text{cov}(b,a) & u^2(b) & 0 \\ 0 & 0 & u^2(N) \end{bmatrix};$$

$$c = \begin{bmatrix} c(a) \\ c(b) \\ c(N) \end{bmatrix}. \quad (30)$$

Таким образом, чувствительность является опорным маркером широкодиапазонных методов колориметрии цифровых изображений.

*Уровень 4 – критерии чувствительности и валидация метода.* В области, близкой к порогу обнаружения, для оценки чувствительности создавались карты сбойных пикселей и горячих пикселей на основе темновых снимков при соответствующих настройках цифровой камеры, которые позволяют исключить аномальные значения, обусловленные структурными дефектами фотоприемника, а также измерить шумовые составляющие сигналов в цветовых каналах. В [18] рекомендуется составлять интерпретационные таблицы EUCAST, содержащие целевые и допустимые диапазоны и пограничные значения исследуемых параметров величин. Для уровня пределов обнаружения и количественного определения в качестве критерия можно рассматривать наибольшее значение («худший» случай из трех цветовых каналов), либо рассматривать чувствительность в каждом канале по отдельности, учитывая, что есть цвета с «нулевой» интенсивностью цвета. В работе [19] предложены частный и обобщенный критерии чувствительности функционирования системы как относительные показатели, описываемые комплексом независимых параметров (в данном случае – влияющих величин – типа освещения, угла наблюдения, факторов ближнего и дальнего окружения). Обобщенный абсолютный коэффициент чувствительности технической системы [19]:

$$K_{Sji} = S_{yi} \prod_{j=1}^n S_{xji}, \quad (31)$$

где  $S_{yi}$  и  $S_{xji}$  – частные коэффициенты чувствительности технической системы по выходной и входной характеристикам.

В работе [20] предложены критерии чувствительности технической системы минимаксного типа, которые удобно использовать, если параметры известны с точностью до диапазонов: «Подход наименьших квадратов страдает от серьезной практической проблемы, заключающейся в том, что спектры природных объектов не имеют достаточной размерности, чтобы дать хорошую оценку  $S$ » [20].

На втором и третьем уровнях можно использовать метод тангенсов углов наклона характеристик, который «на самом пологом участке должен быть не менее  $15^0$ » [21], а также коэффициенты

чувствительности градуировочных зависимостей, которые равны [17]:

$$c(a) = -\frac{1}{b}; \quad (32)$$

$$c(b) = -\frac{N-a}{b^2}; \quad (33)$$

$$c(N) = \frac{1}{b}. \quad (34)$$

В случае  $b=0$ , когда наилучшей прямой является  $N=a$  (недопустимая калибровочная функция), прогноз невозможен. При верификации метода удобным инструментом являются контрольные карты. Согласно рекомендациям ГОСТ Р ИСО 11095-2007, верхнюю  $U_d$  и нижнюю  $L_d$  границы контрольные границы ( $\alpha$  – уровень значимости) для цветовых каналов (в предположении постоянства стандартного отклонения) можно рассчитывать по формулам:

$$U_d = \frac{\hat{\sigma}}{b} t_{(1-\zeta/2)}(nw-2); \quad (35)$$

$$L_d = -\frac{\hat{\sigma}}{b} t_{(1-\zeta/2)}(nw-2), \quad (36)$$

где  $\hat{\sigma}$  – квадратный корень из оценки  $\hat{\sigma}^2$ , полученной на основе данных эксперимента по калибровке;  $t_{(1-\zeta/2)}$  – квантиль  $t$ -распределения уровня  $(1-\zeta/2)$  с  $(nw-2)$  степенями свободы, т. е.  $P[t > t_{(1-\zeta/2)}(nw-2)] = \zeta/2$ ;  $\zeta$  – уровень значимости, соответствующий каждому отдельному образцу сравнения и границам  $U_d$  и  $L_d$ , такой, что всем образцам сравнения одновременно соответствует значение уровня значимости  $\alpha$ , выбранного для контрольной карты, для малых значений  $\alpha$ :

$$\zeta = 1 - \exp\left(\frac{\ln(1-\alpha)}{w}\right) \approx \frac{\alpha}{w}. \quad (37)$$

Находят преобразованные значения  $L_k^*$  для каждого из  $K$  образцов сравнения:

$$\begin{aligned} d_{kR} &= L_{kR}^* - L_{kR}; \\ d_{kG} &= L_{kG}^* - L_{kG}; \\ d_{kB} &= L_{kB}^* - L_{kB}. \end{aligned} \quad (38)$$

Если одно или несколько значений попадают вне контрольных границ, это означает, что метод исследований (испытаний, измерений) находится в неуправляемом состоянии. При контроле метода построения функции калибровки неопределенность преобразованных значений аппрок-

симируют объединенной дисперсией контролируемых значений, полученных в результате измерений на двух из  $K$  образцов сравнения, передающих наименьшее и наибольшее значения. При валидации функции калибровки, согласно ГОСТ Р ИСО 11095-2007, в качестве оценки неопределенности преобразованных значений принимается стандартное отклонение:

$$\hat{\sigma}_{\text{cal}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K (d_{kw}^2 - d_{Kw}^2)}{2w}}. \quad (39)$$

Доверительный интервал, соответствующий доверительной вероятности  $(1-\alpha)$  для неизвестного истинного значения величины, оцениваемой преобразованным значением  $L_0^*$ , полученным по  $w$  измерениям, выполненным за короткий период времени), имеет вид:

$$(L_0^* \pm L_0^* t_{(1-\alpha/2)})(2w), \quad (40)$$

где  $t_{(1-\alpha/2)}$  – квантиль  $t$ -распределения с  $2w$  степенями свободы.

Доверительный интервал для преобразованного значения является критерием соответствия модели.

## Заключение

Разработанная лабораторная технология позволяет выполнять оценку чувствительности при валидации и верификации качественных и количественных методов колориметрии цифровых изображений вблизи предела обнаружения, в рабочей области диапазона применения по от-

ношению к фактору времени и опорной яркости, а также на уровне коэффициентов влияния входных величин и элементов информационно-измерительного канала. Поскольку чувствительность методов различна в цветовых каналах (существуют цвета с «нулевой» чувствительностью), на начальном этапе исследований рекомендуется осуществлять идентификацию цвета по признаку принадлежности к определенному сектору цветового пространства, что позволяет уменьшить неопределенность результатов исследований. В области значений яркости, близких к пределам обнаружения и количественного определения, предложено оценивать чувствительность через стандартное отклонение, полученное статистическими методами, либо на основе априорной информации – как комплексный показатель, включающий в себя пространственный, временной, яркостный, хроматический и информационный компоненты, адаптивные к условиям наблюдения. В рабочей области диапазона применения метода использован подход, основанный на принципе линейной калибровки и построении передаточных функций и карт чувствительности, оптимизации выбора режимов информационно-измерительного канала и корректировке значений интенсивности цвета выполнялась путем преобразования градуировочных зависимостей численными методами с использованием коэффициентов преобразования и масштабирования. В качестве критериев валидации и верификации рекомендуется использовать выбросовые значения, определяемые на темновых снимках, тангенсы углов наклона функциональных зависимостей, а также верхнюю и нижнюю границы и доверительный интервал, определяемые на контрольных картах при валидации и верификации методов.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Schanda J. Colorimetry. Understanding the CIE System / University of Pannonia, Hungary. Wiley-Interscience. John Wiley & sons, Inc.; Publication. Hoboken; New Jersey Published simultaneously in Canada. 2007. 499 p. URL: [https://www.researchgate.net/publication/230014763\\_Colorimetry\\_Understanding\\_the\\_CIE\\_System](https://www.researchgate.net/publication/230014763_Colorimetry_Understanding_the_CIE_System) (дата обращения: 10.04.2024).
2. Magnusson B., Örnemark U. Eurachem guide: the fitness for purpose of analytical methods – a laboratory guide to method validation and related topics. 2<sup>nd</sup> ed. 2014. URL: [www.eurachem.org](http://www.eurachem.org) (дата обращения: 10.04.2024).
3. Bioanalytical method validation and study sample analysis // International Council for harmonisation of technical requirements for pharmaceuticals for human use. Ich harmonised guideline. 2002. 59 p. URL: <https://docviewer.yandex.by/view/51309708>: M10\_Guideline\_Step4\_2022\_0524 <https://docviewer.yandex.by/view/51309708> (дата обращения: 10.04.2024).
4. Sensitivity analysis in practice: a guide to assessing scientific models / A. Saltelli [et al.] // Joint research centre of the European commission, Ispra, Italy. John Wiley & Sons Ltd; The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 2004. 232 p. URL: <http://andreasaltelli.eu> (дата обращения: 10.04.2024).
5. Зуйков И. Е., Савкова Е. Н. Колориметрия с высоким разрешением // Приборы и методы измерений. 2013. № 1. С. 86–92.

6. Савкова Е. Н. Колориметрическое исследование самосветящихся объектов в программно-аппаратных средах методом реализации многомерных шкал // Измерительная техника. 2020. № 8. С. 43–50. Doi: <http://doi.org/10.32446/0368-1025it.2020-8-43-50>.
7. Useful color information, studies and files // Bruce\_Lindbloom.com. URL: <http://www.brucelindbloom.com> (дата обращения: 10.04.2024).
8. CLSI EP17 evaluation of detection capability for clinical laboratory measurement procedures. 2<sup>nd</sup> ed. 2017. 63 p. URL: <https://webstore.ansi.org/standards/clsi/clsiep17> (дата обращения: 10.04.2024).
9. Тарасов Д. А. Зрение и чтение. 2015. 76 с. URL: <https://shtandel.ru/2015/resolution-part-1/> (дата обращения: 10.04.2024).
10. Мешков В. В., Матвеев А. Б. Основы светотехники. Физиологическая оптика и колориметрия. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1989. 432 с.
11. Barten P. G. J. Spatio-temporal model for the Contrast Sensitivity of the human eye and its temporal aspects // Proc. SPIE 1913-01. URL: <https://doi.org/10.1117/12.152690> (дата обращения: 10.04.2024).
12. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. URL: <https://djvu.online/file/aVuCTvxRIF4Bg> (дата обращения: 10.04.2024).
13. Старовойтов В. В., Голуб Ю. И. Цифровые изображения: от получения до обработки. 2014. URL: [https://www.researchgate.net/publication/272487320\\_Cifrovye\\_izobrazhenia\\_ot\\_polucenia\\_do\\_obrabotki](https://www.researchgate.net/publication/272487320_Cifrovye_izobrazhenia_ot_polucenia_do_obrabotki) (дата обращения: 10.04.2024).
14. Shuxue Q. Evaluation and optimal design of spectral sensitivities for digital color imaging. 2002. URL: [https://docviewer.yandex.by/view/51309708/?page=2&\\*viewcontent.cgi?article=3907](https://docviewer.yandex.by/view/51309708/?page=2&*viewcontent.cgi?article=3907) (дата обращения: 10.04.2024).
15. Stokkermans M. G. M., Heynderickx I. Temporal dark adaptation to spatially complex backgrounds: effect of an additional light source // JOSA A. 2014. Vol. 31, № 7. P. 1485–1494.
16. Sutkowski M., Saukova Y. Extending of digital camera dynamic range on the imaging processing basis // Приборы и методы измерений. 2017. Т. 8, № 3. С. 271–278. Doi: 10.21122/2220-9506-2017-8-3-271-278.
17. Reference data set for camera spectral sensitivity estimation / M. M. Darrodi, G. Finlayson, T. Goodman, M. Mackiewicz // J. opt. soc. am. A. 2015. Vol. 32, № 3. С. 381–391. Doi: <http://dx.doi.org/10.1364/JOSAA.32.00038>.
18. Руководства по клинической лабораторной диагностике / Министерство здравоохранения Российской Федерации. Межрегиональная ассоциация по клинической микробиологии и антимикробной химиотерапии. Саратов, 2015. 162 с.
19. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. М.: Горячая линия-Телеком, 2009. URL: <https://djvu.online/file/meYJkSgQHR8Fg> (дата обращения: 10.04.2024).
20. Першин В. А., Гузев И. К., Ковалёв А. В. Функция чувствительности как критерий при диагностике технических систем методом подобию функционирования // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. 2014. № 3. С. 19–22. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/funktsiya-chuvstvitelnosti-kak-kriteriy-pri-diagnostike-technicheskikh-sistem-metodom-podobiya-funktsionirovaniya/viewer> (дата обращения: 10.04.2024).
21. Справочник химика – 21. Химия и химическая технология. Калибровочные графики угол наклона. URL: <https://www.chem21.info/info/427070/> (дата обращения: 10.04.2024).

## REFERENCES

1. Schanda J. Colorimetry. Understanding the CIE System; University of Pannonia, Hungary. Wiley-Interscience. John Wiley & sons, Inc.; Publication. Hoboken; New Jersey Published simultaneously in Canada. 2007. 499 p. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/230014763\\_Colorimetry\\_Understanding\\_the\\_CIE\\_System](https://www.researchgate.net/publication/230014763_Colorimetry_Understanding_the_CIE_System) [Accessed 10 April 2024].
2. Magnusson B., Örnemark U. Eurachem guide: the fitness for purpose of analytical methods – a laboratory guide to method validation and related topics. 2<sup>nd</sup> ed. 2014. Available from: [www.eurachem.org](http://www.eurachem.org) [Accessed 10 April 2024].
3. Bioanalytical method validation and study sample analysis. International Council for harmonisation of technical requirements for pharmaceuticals for human use. Ich harmonised guideline. 2002. 59 p. Available from: [https://docviewer.yandex.by/view/51309708: M10\\_Guideline\\_Step4\\_2022\\_0524](https://docviewer.yandex.by/view/51309708: M10_Guideline_Step4_2022_0524) <https://docviewer.yandex.by/view/51309708> [Accessed 10 April 2024].
4. Saltelli A. et al. Sensitivity analysis in practice: a guide to assessing scientific models. Joint research centre of the European commission, Ispra, Italy. John Wiley & Sons Ltd; The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England; 2004. 232 p. Available from: <http://andreasaltelli.eu> [Accessed 10 April 2024].
5. Zujkov I. E., Saukova Y. N. High-resolution colorimetry. Devices and methods of measurements. 2013;(1):86–92. (In Russ.).

6. Saukova Y. N. Colorimetric research of self-luminous objects in software and hardware environments by the method of multidimensional scales implementation. Measurement technique. 2020;(8):43–50. (In Russ.). Doi: <http://doi.org/10.32446/0368-1025it.2020-8-43-50>.
7. Useful color information, studies and files. Bruce\_Lindbloom.com. Available from: <http://www.brucelindbloom.com> [Accessed 10 April 2024].
8. CLSI EP17 evaluation of detection capability for clinical laboratory measurement procedures. 2<sup>nd</sup> ed. 2017. 63 p. Available from: <https://webstore.ansi.org/standards/cls/clsiep17> [Accessed 10 April 2024].
9. Tarasov D. A. Vision and reading. 2015. 76 p. (In Russ.). Available from: <https://shtandel.ru/2015/resolution-part-1/> [Accessed 10.04.2024].
10. Meshkov V. V., Matveev A. B. Fundamentals of lighting engineering. Physiological optics and colorimetry. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow; 1989. 432 p. (In Russ.).
11. Barten P. G. J. Spatio-temporal model for the contrast sensitivity of the human eye and its temporal aspects. Proc. SPIE 1913-01. Available from: <https://doi.org/10.1117/12.152690> [Accessed 10.04.2024].
12. Shapiro L., Stokman Dzh. Computer vision. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy; 2009. (In Russ.). Available from: <https://djvu.online/file/aVuCTvxRIF4Bg> [Accessed 10.04.2024].
13. Starovojtov V. V., Golub Yu. I. Digital images: from receiving to processing. 2014. (In Russ.). Available from: [https://www.researchgate.net/publication/272487320\\_Cifrovye\\_izobrazhenia\\_ot\\_polucenia\\_do\\_obrabotki](https://www.researchgate.net/publication/272487320_Cifrovye_izobrazhenia_ot_polucenia_do_obrabotki) [Accessed 10.04.2024].
14. Shuxue Q. Evaluation and optimal design of spectral sensitivities for digital color imaging. 2002.. Available from: [https://docviewer.yandex.by/view/51309708/?page=2&\\*viewcontent.cgi?article=3907](https://docviewer.yandex.by/view/51309708/?page=2&*viewcontent.cgi?article=3907) [Accessed 10.04.2024].
15. Stokkermans M. G. M., Heynderickx I. Temporal dark adaptation to spatially complex backgrounds: effect of an additional light source. JOSA A. 2014;31(7):1485–1494.
16. Sutkowski M., Saukova Y. Extending of digital camera dynamic range on the Imaging Processing basis. Devices and methods of measurements. 2017;8(3):271–278. Doi: 10.21122/2220-9506-2017-8-3-271-278.
17. Darrodi M. M., Finlayson G., Goodman T., Mackiewicz M. Reference data set for camera spectral sensitivity estimation. J. opt. soc. am. A. 2015;32(3):381–391. Doi: <http://dx.doi.org/10.1364/JOSAA.32.00038>.
18. Guidelines for clinical laboratory diagnostics. Ministry of Health of the Russian Federation; Interregional Association for Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy. Saratov; 2015. 162 p. (In Russ.). Available from: [Opredeflenie-chuvstvitelnosti-mikroorganizmov-k-antibakterialnym-preparatam-2015](https://opredeflenie-chuvstvitelnosti-mikroorganizmov-k-antibakterialnym-preparatam-2015) [Accessed 10.04.2024].
19. Denisenko V. V. Computer control of technological process, experiment, and equipment. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom; 2009. (In Russ.). Available from: <https://djvu.online/file/meYJkSgQHR8Fg> [Accessed 10.04.2024].
20. Pershin V. A., Guguev I. K., Kovalyov A. V. The sensitivity function as a criterion in the diagnosis of technical systems by the method of similarity of functioning. Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region. 2014;(3):19–22. (In Russ.). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/funktsiya-chuvstvitelnosti-kak-kriteriy-pri-diagnostike-tehnicheskikh-sistem-metodom-podobiya-funktsionirovaniya/viewer> [Accessed 10.04.2024].
21. Chemist's handbook – 21. Chemistry and chemical technology. Calibration graphs of the angle of inclination. (In Russ.). Available from: <https://www.chem21.info/info/427070/> [Accessed 10.04.2024].

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Савкова Евгения Николаевна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электротехники и электроники Белорусского национального технического университета.

Область научных интересов – метрологическое обеспечение оптических методов исследований объектов, вопросы оценивания неопределенности и рисков, валидации и верификации.

Поступила в редакцию 11.04.2024

Поступила после рецензирования 12.04.2024

Принята к публикации 12.05.2024

**Saukova Yauheniya M.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Electrical and Electronics Engineering, Belarusian National Technical University.

Research interests – metrological support for optical methods of object research, including issues of uncertainty and risk assessment, validation and verification.

Received 11.04.2024

Revised 12.04.2024

Accepted 12.05.2024

## Разработка программного обеспечения для оптической системы следования за объектом

Дмитрий Александрович Калашников<sup>1</sup>

slagterra2017@yandex.ru

Петр Анатольевич Безмен<sup>1</sup>

✉ pbezmen@yahoo.com, orcid.org/0000-0001-7335-1141, Author ID: 57191965241, SPIN-код: 4166-4630

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация

**Аннотация.** Статья посвящена разработке алгоритма, позволяющего отслеживать перемещения объекта с заданной цветовой меткой и управлять движением мобильной робототехнической системы в зависимости от считанного перемещения. Приводится реализация разработанного алгоритма на языке Python с использованием библиотеки компьютерного зрения OpenCV. Даются рекомендации по настройке данной программы и аппаратной реализации описываемой оптической системы.

**Ключевые слова:** OpenCV, компьютерное зрение, цветовые контуры, цветовая система HSV, веб-камера, следование за объектом, отслеживание перемещения объекта

**Благодарности.** Исследование выполнено при поддержке Стратегического проекта «Приоритет – 2030. Создание робототехнических средств для расширения функциональности человека».

**Для цитирования:** Калашников Д. А., Безмен П. А. Разработка программного обеспечения для оптической системы следования за объектом // Инновационное приборостроение. 2024. Т. 3, № 3. С. 66–70. DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-66-70.

Original article

## Software development for an optical object tracking system

Dmitry A. Kalashnikov<sup>1</sup>

slagterra2017@yandex.ru

Petr A. Bezmen<sup>1</sup>

✉ pbezmen@yahoo.com, orcid.org/0000-0001-7335-1141, Author ID: 57191965241, SPIN-code: 4166-4630

<sup>1</sup> Southwest State University, Kursk, Russian Federation

**Abstract.** The article is devoted to the development of an algorithm that allows you to track the movement of an object with a given color label, and control the movement of a mobile robotic system depending on the read movement. The implementation of the developed algorithm in Python using the OpenCV computer vision library is presented. Recommendations on the configuration of this program and the hardware implementation of the described optical system are also given.

**Keywords:** OpenCV, computer vision, color contours, HSV color system, webcam, object tracking, object movement tracking

**Acknowledgements.** The paper was prepared with the support of the Strategic Project “Priority – 2030. Creation of robotic tools to expand the functionality of a person”.

**For citation:** Kalashnikov D. A., Bezmen P. A. Software development for an optical object tracking system. Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation. 2024;3(3):66–70. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-66-70.

### Введение

Одной из основных задач исследований в области робототехники является разработка систем управления [1–3]. Важное значение в разработке данных систем управления имеет создание подсистем сбора данных об окружающей робота среде, в частности, создание систем технического зрения.

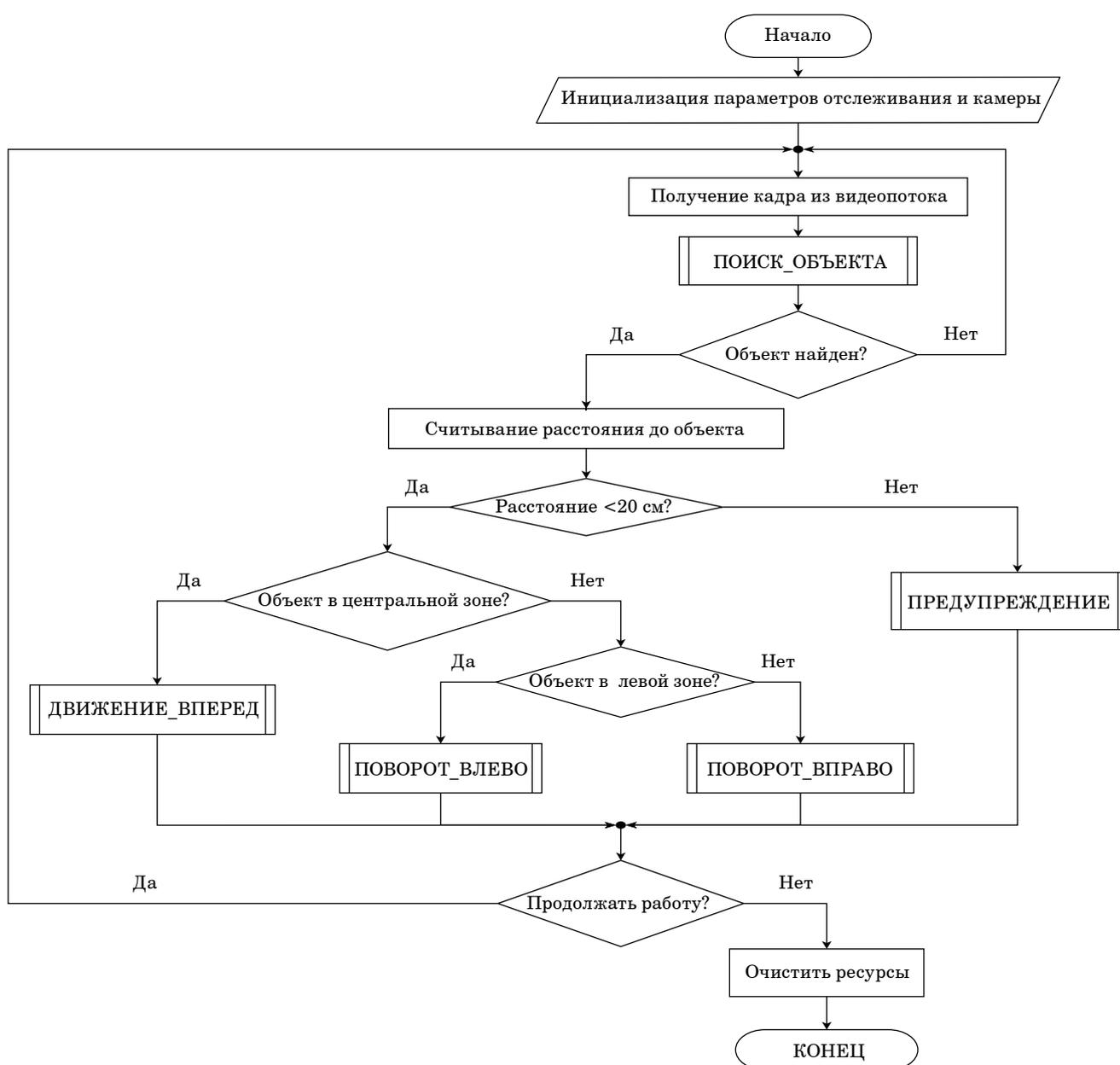
Отслеживание перемещений объектов является одной из самых часто применяемых задач в робототехнике. В контексте мобильных роботов слежение за объектами чаще всего про-

изводится для планирования траектории движения самого робота. Для отслеживания могут использоваться различные датчики, такие как ультразвуковые (или лазерные) дальномеры, IMU- (Inertial Measurement Unit – устройство гиростабилизации) модули, стереокамеры, камеры глубины или их комбинации. Также в таких системах могут применяться довольно сложные и комплексные алгоритмы обработки полученных с датчиков данных, такие как фильтры Калмана [4], Маджвика [5] или алгоритмы с применением глубоких сверточных нейросетей [6].

## Материал и методы исследования

В данной статье будет реализован один из самых простых и в то же время универсальных алгоритмов отслеживания перемещения объектов – отслеживание по цветным контурам. Суть данного алгоритма состоит в выделении на каждом кадре видеопотока контуров первого заданного («фонового») цвета и отслеживании самого большего по площади контура, внутри которого есть достаточно большие контуры второго заданного цвета («цветом маркера или узора»). Система с таким алгоритмом может быть использована,

например, для управления автоматическими грузоперевозчиками в аэропортах, которые будут следовать за работником аэропорта, одетым в безрукавку «фонового» цвета с рисунком «маркером». Также такая система очень нужна в автоматизированных инвалидных колясках, ведь она позволит человеку с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) меньше зависеть от сопровождающего при самостоятельном передвижении или же облегчит работу сопровождающего, ведь он просто будет идти перед коляской, задавая ей траекторию движения, а не катить коляску своими силами.



• Рис. 1. Блок-схема разработанного алгоритма  
 • Fig. 1. Block diagram of the developed algorithm

Рассмотрим алгоритм работы программы более подробно. Блок-схема данного алгоритма показана на рис. 1.

В начале работы алгоритма происходит инициализация таких параметров, как границы диапазонов цветов «фона» и «маркера», а также инициализация камеры. Затем запускается основной цикл программы. Первым шагом в нем считывается кадр с камеры, который потом пропускается через функцию поиска объекта. Данная функция работает так:

1) считанный кадр переводится в цветовое пространство HSV для удобства дальнейшей обработки;

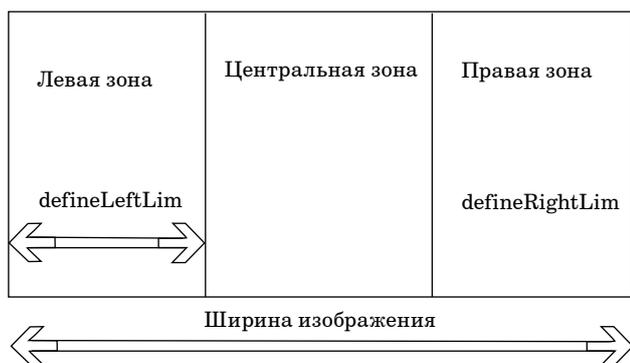
2) на основе данных о диапазонах цветов «фона» и «маркера» создаются черно-белые маски для вычисления контуров этих цветов;

3) вычисляются массивы координат контуров каждого цвета;

4) если в наибольшем по площади контуре цвета фона присутствуют достаточно большие контуры цвета маркера, значит, объект обнаружен, функция возвращает значение **True (Истина)**, а также координаты центра контура объекта.

Если объект обнаружен, происходит считывание расстояния до него. Если объект находится в пределах 20 см, то происходит выбор направления движения, исходя из координат центра контура объекта. Иначе происходит звуковое оповещение. Для выбора направления движения все изображение по ширине разбивается на три зоны – левую, центральную и правую. Разбиение изображения, а также названия переменных, отвечающих за настройку ширины каждой зоны (они задаются также на этапе инициализации алгоритма), показаны на рис. 2.

Если координаты центра контура отслеживаемого объекта попадают в центральную зону, система будет давать команды двигаться прямо, если они попадут в левую зону – будет происходить поворот налево, если в правую – направо.



• Рис. 2. Разбиение изображения на зоны  
• Fig. 2. The image dividing into zones

## Результаты исследования и их обсуждение

Программная реализация описанного алгоритма на языке Python версии 3.8 с использованием библиотеки компьютерного зрения OpenCV 4.9:

```
import numpy as np
import cv2
#settings
fon_hsv_min = np.array([43, 51, 102], np.uint8)
fon_hsv_max = np.array([153, 250, 250], np.uint8)
uzor_hsv_min = np.array([38, 104, 153], np.uint8)
uzor_hsv_max = np.array([200, 153, 200], np.uint8)
minUzorArea = 1000
debugFindObj = 1
defineRightLim = 450
defineLeftLim = 180
safatyDist = 20
def findObject(img: np.array):
    isFind = False
    Cx = 0
    Cy = 0
    hsv = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    thresh = cv2.inRange(hsv, fon_hsv_min, fon_hsv_max)
    contours, hierarchy = cv2.findContours(thresh, cv2.RETR_TREE, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
    contours = sorted(contours, key=cv2.contourArea, reverse=True)
    x, y, w, h = cv2.boundingRect(contours[0])
    thresh2 = cv2.inRange(hsv, uzor_hsv_min, uzor_hsv_max)
    uzor_img = thresh2[y:y + h, x:x + w]
    contoursUzor, hierarchyUzor = cv2.findContours(uzor_img, cv2.RETR_TREE, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
    contoursUzor = sorted(contoursUzor, key=cv2.contourArea, reverse=True)
    if ((len(contoursUzor) > 0) and (cv2.contourArea(contoursUzor[0]) > minUzorArea)):
        if debugFindObj:
            cv2.imshow(«uzor», uzor_img)
            testedImg = img[y:y + h, x:x + w]
            cv2.imshow(«testedImg», testedImg)
            # отображаем контуры поверх изображения
            cv2.drawContours(testedImg, contoursUzor, -1, (0, 127, 0), 3, cv2.LINE_AA, hierarchyUzor, 1)
            cv2.imshow('contours', testedImg) #
        выводим итоговое изображение в окно
        isFind = True
        Cx = (x+w)/2
        Cy = (y+h)/2
    return (isFind, Cx, Cy)
def getDistanceToPoint(x, y):
    return safatyDist
```

```

def goForward():
    print(«Go forward»)
def turnLeft():
    print(«turn Left»)
def turnRight():
    print(«turn right»)

def sound():
    pass
if __name__ == «__main__»:
    cap = cv2.VideoCapture(0)
    while True:
        flag, img = cap.read()
        isFind, Cx, Cy = findObject(img.copy())
        if debugFindObj:
            cv2.line(img, (defineLeftLim, 0),
(defineLeftLim, 480), (255,255,0))
            cv2.line(img, (defineRightLim, 0),
(defineRightLim, 480), (255, 255, 0))
            cv2.circle(img, (int(Cx), int(Cy)), 5,
(0, 0, 255), -1)
            cv2.imshow(«camera», img)
        if isFind:
            d = getDistanceToPoint(Cx, Cy)
            if (d <= 20):
                if ((Cx >= defineLeftLim) and (Cx
<= defineRightLim)):
                    goForward()
                elif (Cx < defineLeftLim):
                    turnLeft()
                elif (Cx > defineRightLim):
                    turnRight()
            elif (d > 20):
                sound()
            if cv2.waitKey(1) == ord(«q»):
                break
    cap.release()
    cv2.destroyAllWindows()

```

В коде под подпрограмму поиска объекта на изображении отведена отдельная функция **findObject**, принимающая на вход numpy-массив с изображением, возвращает эта функция кортеж, первым элементом которого является флаг нахождения объекта, а последующие числа являются координатами центра контура объекта. В данной функции перевод изображения в цветное про-

странство HSV выполняет функция **cv2.cvtColor**, за создание маски отвечает функция **cv2.inRange**, а контуры на изображении по ранее созданной маске создает функция **cv2.findContours**. Все эти функции берутся из библиотеки OpenCV [7]. Функции, отвечающие за передвижение робототехнической платформы и снятие показаний с датчика расстояния, а именно – **getDistanceToPoint**, **goForward**, **turnLeft**, **turnRight** и **sound**, хоть и объявлены, но являются, по факту, фиктивными, так как их конкретная реализация может сильно меняться для разных платформ, и поэтому она не входит непосредственно в рассматриваемую в данной статье подсистему.

Основными настройками приведенной программы являются массивы диапазонов цветов фона и маркера **fon\_hsv\_min**, **fon\_hsv\_max**, **uzor\_hsv\_min** и **uzor\_hsv\_max**. Настраивать эти параметры можно, например, с помощью удобной графической утилиты, код которой приведен в статье [8]. Данная программа позволяет с помощью шести слайдеров (регуляторов), контролирующих все составляющие диапазона маски, в режиме реального времени настраивать ее на выделение нужных цветов.

## Заключение

Подводя итоги, отметим, что главными преимуществами разработанного нами алгоритма являются его простота, скорость работы и низкое потребление вычислительных ресурсов, что делает его пригодным для применения в широком спектре робототехнических устройств. Главным же недостатком данной программы является сильная зависимость от правильности восприятия цветочных маркеров. В зависимости от уровня освещения, при слишком узких настроенных диапазонах цветов, программа может работать некорректно, что делает ее настройку сложнее. Решить эту проблему возможно или выбором ярких и контрастных цветов для маркера и фона, или введением в систему поиска объекта дополнительного фильтра, возможно, с использованием глубоких нейронных сетей.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Яцун С. Ф., Безмен П. А., Лосев Ю. Ю. Экспериментальное исследование движения вибрационного мобильного робота с внутренней подвижной массой // Вибрационные машины и технологии: сб. науч. тр. по материалам VIII науч.-техн. конф. Курск: КурскГТУ, 2008. С. 763–770.
2. Автономный подводный плавающий робот с геопозиционированием / С. Ф. Яцун, Е. Н. Политов, П. А. Безмен, К. Г. Казарян // Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины: сб. науч. ст. по материалам XII Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 ч. Ч. 2. 2016. С. 288–299.

3. Безмен П. А., Бурцев А. П., Герасимов М. С. Аналоговая и цифровая широтно-импульсная модуляция в микроконтроллерных устройствах мехатронных систем // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии* / Орлов. гос. ун-т им. И. С. Тургенева. 2019. № 2(334). С. 46–51.
4. Безмен П. А. Комплексирование данных системы управления мобильным роботом с использованием расширенного фильтра Калмана // *Известия Юго-Западного гос. ун-та*. 2019. Т. 23, № 2. С. 53–64. Doi: 10.21869/2223-1560-2019-23-2-53-64.
5. Фильтр Маджвика. URL: <https://habr.com/ru/articles/255661/> (дата обращения: 31.03.2024).
6. Нейросетевой алгоритм отслеживания движения объекта на множестве цифровых изображений. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neyrosetevoy-algoritm-otslezhivaniya-dvizheniya-obekta-na-mnozhestve-tsifrovyyh-izobrazheniy/viewer>, (дата обращения: 31.03.2024).
7. Кэлер А., Брэдски Г. Изучаем OpenCV 3. М.: ДМК Пресс, 2017. 826 с.
8. OpenCV на python: выделение контуров. URL: <https://robotclass.ru/tutorials/opencv-python-find-contours/> (дата обращения: 31.03.2024).

## REFERENCES

1. Jatsun S. F., Bezmen P. A., Losev Yu. Yu. Experimental study of the movement of a vibrating mobile robot with an internal moving mass. *Vibration machines and technologies: collection of scientific papers based on the proceedings of the VIII scientific and technical conference*. Kursk: Kursk State Technical University; 2008, pp. 763–770. (In Russ.).
2. Jatsun S. F., Polotov, E.N., Bezmen, P. A., Kazaryan K. G. et al. Avtonomnyy podvodnyy plavayushchiy robot s geopozitsionirovaniyem = Autonomous underwater floating robot with geopositioning. *Vibration technologies, mechatronics and controlled machines: collection of scientific articles based on the Proceedings of the XII International Scientific and technical conference: in 2 parts. P. 2*. 2016, pp. 288–299. (In Russ.).
3. Bezmen P. A., Burtsev A. P., Gerasimov M. S. Analog and digital pulse width modulation in microcontroller technics. *Fundamental and applied problems of engineering and technology*. 2019;2(334):46–51. (In Russ.).
4. Bezmen P. A. Integration of mobile robot control system data using the extended Kalman ailter. *Proceedings of the Southwest State University*. 2019;(2):53–64. (In Russ.). Doi: 10.21869/2223-1560-2019-23-2-53-64.
5. The Majwick filter. Available from: <https://habr.com/ru/articles/255661/> [Accessed 31 March 2024].
6. A neural network algorithm for tracking the movement of an object on a set of digital images. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/neyrosetevoy-algoritm-otslezhivaniya-dvizheniya-obekta-na-mnozhestve-tsifrovyyh-izobrazheniy/viewer> [Accessed 31 March 2024].
7. Keller A., Bradsky G. *Studying OpenCV 3*. Moscow: DМК Press; 2017. 826 p. (In Russ.).
8. OpenCV in python: contours selection. Available from: <https://robotclass.ru/tutorials/opencv-python-find-contours/> [Accessed 31 March 2024].

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Калашников Дмитрий Александрович**, студент кафедры механики, мехатроники и робототехники Юго-Западного государственного университета.

Область научных интересов – алгоритмы и методы машинного зрения и нейросетей для обработки данных с различных датчиков мобильных роботов.

**Безмен Петр Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры механики, мехатроники и робототехники Юго-Западного государственного университета.

Область научных интересов – алгоритмы и методы обработки данных с различных датчиков мобильных роботов.

**Kalashnikov Dmitry A.**, Student at the Department of Mechanics, Mechatronics and Robotics, Southwest State University.

Research interests – algorithms and methods of computer vision and neural networks for processing data from various sensors of mobile robots.

**Bezmen Petr A.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Mechanics, Mechatronics and Robotics, Southwest State University. Research interests – algorithms and methods for processing data from various sensors of mobile robots.

Поступила в редакцию 11.04.2024

Поступила после рецензирования 12.04.2024

Принята к публикации 12.05.2024

Received 11.04.2024

Revised 12.04.2024

Accepted 12.05.2024

## Исследование влияния двухуровневой обработки данных на анализ времени передачи пакетов с использованием методов машинного обучения

Жасур Уткирович Киямов<sup>1</sup>

✉ best.only125@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8623-1090, SPIN-код: 1061-7180

<sup>1</sup> Ташкентский университет информационных технологий, Самаркандский филиал, г. Самарканд, Республика Узбекистан

**Аннотация.** Проведено исследование, посвященное анализу влияния двухуровневой обработки данных на процесс анализа времени передачи пакетов в компьютерных сетях с применением методов машинного обучения. В современных сетевых системах существует потребность в эффективной обработке данных, прежде чем они могут быть использованы для обучения алгоритмов машинного обучения. В данном исследовании предлагается методика, основанная на двухуровневой обработке данных, которая включает в себя предварительную обработку данных и их дальнейший анализ с использованием методов машинного обучения. Особое внимание уделяется анализу времени передачи пакетов, которое является важным показателем производительности сети. Результаты исследования могут быть полезны для оптимизации процесса анализа сетевых данных и повышения эффективности систем машинного обучения в контексте сетевых приложений.

**Ключевые слова:** PBFT, Raft, рекуррентные нейронные сети, обеспечение надежности, распределенные системы

**Для цитирования:** Киямов Ж. У. Исследование влияния двухуровневой обработки данных на анализ времени передачи пакетов с использованием методов машинного обучения // Инновационное приборостроение. 2024. Т. 3, № 3. С. 71–75. DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-71-75.

Original article

## Study of the influence of two-level data processing on packet transmission time analysis using machine learning methods

Jasur U. Kiyamov<sup>1</sup>

✉ best.only125@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8623-1090, SPIN-code: 1061-7180

<sup>1</sup> Tashkent University of Information Technologies, Samarkand branch, Samarkand, Uzbekistan

**Abstract.** This article presents a study devoted to the analysis of the influence of two-level data processing on the process of analyzing packet transmission times in computer networks using machine learning methods. In modern networked systems, there is a need to efficiently process data before it can be used to train machine learning algorithms. This study proposes a technique based on two-level data processing, which includes pre-processing of data and its further analysis using machine learning methods. Particular attention is paid to packet transmission time analysis, which is an important indicator of network performance. The results of the study can be useful for optimizing the process of analyzing network data and increasing the efficiency of machine learning systems in the context of network applications.

**Keywords:** PBFT, Raft, recurrent neural networks, reliability ensuring, distributed systems

**For citation:** Kiyamov J. U. Study of the influence of two-level data processing on packet transmission time analysis using machine learning methods. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2024;3(3):71–75. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-71-75.

### Введение

Постоянный поиск новых подходов и алгоритмов является необходимым для развития распределенных систем. Эти подходы должны обеспечивать стабильную работу системы даже в случае неожиданных сбоев или атак, что делает разработку и использование механизмов обеспечения отказоустойчивости и надежности данных ключевыми задачами для инженеров и разработчиков.

Отказоустойчивость в распределенных системах достигается различными способами, включая репликацию данных, резервное копирование и алгоритмы консенсуса. Важнейшую роль в обеспечении согласованности данных в распределенных средах играют алгоритмы консенсуса, такие как PBFT (Practical Byzantine Fault Tolerance) и Raft [1, 2].

В дополнение к этому, современные исследования показывают, что использование нейронных

сетей, особенно рекуррентных нейронных сетей (RNN), может значительно улучшить обнаружение аномалий, прогнозирование нагрузки на систему и анализ временных рядов данных, связанных с работой узлов.

Следовательно, интеграция алгоритмов консенсуса с рекуррентными нейронными сетями представляет собой перспективный подход для повышения надежности и отказоустойчивости распределенных систем. Это сочетание традиционных методов и новых технологий открывает возможности для создания более эффективных, безопасных и адаптивных распределенных систем, которые могут успешно справляться с вызовами современного мира [3].

### Применение нейросети для анализа

Представленный в данной статье комбинированный подход объединяет два ведущих алгоритма консенсуса – PBFT и Raft. PBFT обладает способностью обеспечивать согласованность данных в системах с ограниченным числом узлов, в то время как Raft предлагает простой и понятный механизм консенсуса для распределенных систем.

Интеграция рекуррентных нейронных сетей в этот комбинированный подход открывает новые перспективы для анализа и прогнозирования поведения узлов в сети. Рекуррентные нейронные сети могут быть использованы для выявления аномалий, прогнозирования нагрузки на систему и анализа временных рядов данных, связанных с деятельностью узлов. Этот инновационный подход предоставляет возможность эффективного обнаружения и реагирования на изменения в работе системы.

В рамках распределенных систем рекуррентные нейронные сети могут использоваться для обнаружения аномалий в работе узлов. Они способны анализировать временные ряды данных, связанных с активностью узлов, и выявлять отклонения от типичного поведения, что дает возможность оперативно реагировать на возможные проблемы.

Более того, рекуррентные нейронные сети позволяют прогнозировать нагрузку на систему. Анализируя исторические данные о нагрузке и поведении узлов, они могут предсказывать будущие требования к ресурсам и временные пики активности, что помогает оптимизировать работу системы и предотвращать возможные проблемы.

Интеграция рекуррентных нейронных сетей в комбинированный подход также обеспечивает возможность анализа временных рядов данных, что помогает лучше понять динамику работы си-

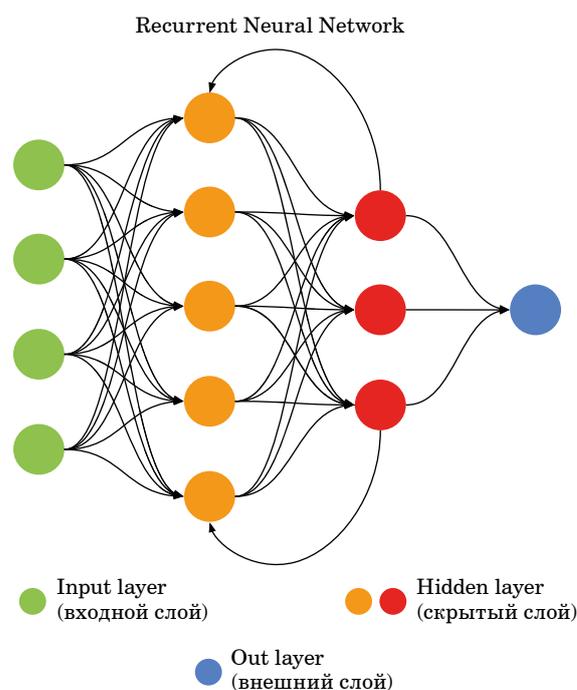
стемы и выявить скрытые закономерности или тренды, полезные для принятия решений.

Совмещение PBFT, Raft и рекуррентных нейронных сетей представляет собой перспективный путь развития распределенных систем. Этот симбиоз традиционных методов и новых технологий открывает возможности для создания более надежных, безопасных и адаптивных распределенных систем, способных успешно преодолевать вызовы современного мира.

### Процесс работы рекуррентных нейронных сетей

В работе рекуррентных нейронных сетей данные проходят через последовательные временные шаги, где каждый шаг включает в себя входные данные и скрытые слои [4]. RNN обладают особенностью, известной как рекуррентность, что позволяет им запоминать информацию о предыдущих состояниях и использовать эту информацию для последующих вычислений.

Каждый скрытый слой в RNN имеет собственную краткосрочную память, позволяющую модели учитывать контекст и последовательность входных данных [5]. Эта краткосрочная память дает RNN возможность «запоминать» информацию о предыдущих входах и использовать ее для принятия решений на последующих шагах (рисунков).



- Модель работы RNN
- RNN operating model

При поступлении новых данных на вход RNN-модель использует текущее входное значение в сочетании с предыдущими значениями, сохраненными в краткосрочной памяти, для прогнозирования следующего выхода или состояния. Этот процесс повторяется на каждом временном шаге, что делает RNN мощным инструментом для анализа и обработки последовательных данных, таких как временные ряды, тексты или звуковые сигналы.

Внедрение рекуррентных нейронных сетей в комбинированный подход представляет собой значительный прорыв в анализе и прогнозировании поведения узлов в распределенной сети. RNN обладают уникальной способностью запоминать и использовать предыдущие входные данные, что делает их мощным инструментом для анализа временных рядов данных.

Благодаря этим возможностям, RNN могут эффективно обнаруживать аномалии в работе узлов, предсказывать нагрузку на систему и анализировать изменения, происходящие во времени. Это позволяет системе оперативно реагировать на изменения в ее работе и принимать необходимые меры для поддержания стабильной и надежной работы.

Интеграция RNN в комбинированный подход открывает новые горизонты для повышения надежности, отказоустойчивости и адаптивности распределенных систем. Анализ данных, предоставляемых RNN, позволяет системе более эффективно адаптироваться к изменяющимся условиям и успешно преодолевать сложные сценарии, возникающие в реальном мире [6, 7].

Исследования в этом направлении могут привести к созданию более эффективных и надежных распределенных систем, способных эффективно реагировать на изменения в окружающей среде и обеспечивать стабильную работу в самых различных условиях. Это открывает новые перспективы для развития технологий и улучшения функционирования распределенных сетей в целом.

## Модель коммуникации сети

Математическая модель комбинированного подхода с использованием RNN, PBFT и Raft в распределенных системах может быть представлена следующим образом.

### 1. RNN:

– представляют собой класс нейронных сетей, в которых информация из прошлых временных шагов сохраняется и передается на следующие шаги;

– математически определяются рекуррентными соотношениями:

$$h_t = f(\mathbf{W}_{\mathbf{xh}}\mathbf{x}_t + \mathbf{W}_{\mathbf{hh}}h_{t-1} + \mathbf{b}_{\mathbf{h}});$$

$$y_t = g(\mathbf{W}_{\mathbf{hy}}h_t + \mathbf{b}_{\mathbf{y}}),$$

где  $h_t$  – скрытое состояние на временном шаге  $t$ ;  $\mathbf{x}_t$  – входной вектор на временном шаге  $t$ ;  $\mathbf{W}_{\mathbf{xh}}$ ,  $\mathbf{W}_{\mathbf{hh}}$ ,  $\mathbf{W}_{\mathbf{hy}}$  – матрицы весов;  $\mathbf{b}_{\mathbf{h}}$ ,  $\mathbf{b}_{\mathbf{y}}$  – векторы смещения;  $f$  и  $g$  – активационные функции.

### 2. PBFT:

– является алгоритмом консенсуса для распределенных систем, обеспечивающим согласованность данных в условиях асинхронности и ненадежности;

– математически опирается на идею кворумов и механизмов проверки подписей;

– использует кворумы для принятия решений. Предположим, что есть  $N$  узлов в системе, и для достижения согласия требуется, чтобы большинство узлов  $N-f$ , где  $f$  – максимальное число дефектных узлов, согласились с предложенным значением. Пусть  $M$  – это множество сообщений, полученных каждым узлом. Предположим, что функция  $Q(m)$  возвращает кворум, где  $m$  – сообщение.

Математически кворум  $Q(m)$  можно определить как:

$$Q(m) = \{m' \in M : \forall \{m \in M : m \text{ поддерживает } m'\} | > N - f\}.$$

### 3. Raft:

– также является алгоритмом консенсуса, который предлагает простой механизм выбора лидера и репликации журнала для поддержания согласованности [8]. Математически Raft определяется логикой выбора лидера и алгоритмом принятия решений на основе большинства голосов;

– основан на выборе лидера и репликации журнала. Предположим, что  $N$  – это количество узлов в системе. Для принятия решения каждый узел голосует за кандидата на лидерство. Если кандидат получает больше половины голосов (более  $N/2$ ), то он становится лидером.

Математически условие выбора лидера можно записать как:

$$\text{Если голоса за кандидата} > \frac{N}{2},$$

то он становится лидером.

Эти математические формулировки описывают основные принципы работы алгоритмов PBFT и Raft. Они помогают обеспечить согласованность данных и управлять консенсусом в распределенных системах.

Комбинированный подход объединяет эти алгоритмы с использованием рекуррентных ней-

ронных сетей для анализа и прогнозирования поведения узлов в сети [9]. Математическая модель комбинированного подхода может включать в себя совместное использование выходных данных RNN с результатами работы алгоритмов PBFT и Raft для принятия решений и адаптации к изменениям в распределенной системе [10]. PBFT и Raft обеспечивают согласованность данных и эффективное управление процессом консенсуса, в то время как интеграция RNN дополняет их способности анализом и прогнозированием поведения узлов в сети.

Для обеспечения высокой надежности и отказоустойчивости системы используются различные методы и подходы, которые дополняют друг друга и обеспечивают оптимальное функционирование даже в неблагоприятных условиях. Рассмотрим основные аспекты этого подхода.

1. Надежность и отказоустойчивость относятся к способности системы продолжать работу непрерывно и надежно даже в условиях возникновения сбоев или отказов. Надежная система сохраняет свою функциональность и целостность несмотря на неблагоприятные условия.

2. Совместный подход, объединяя PBFT, Raft и RNN, позволяет использовать преимущества каждого компонента для улучшения общей надежности и устойчивости к сбоям системы. Этот синергетический подход обеспечивает то, что система может противостоять различным проблемам и продолжать функционировать оптимально.

3. PBFT и Raft для обеспечения согласованности данных и управления консенсусом:

– PBFT известен своей способностью достигать согласия в распределенных системах. Он обеспечивает согласованность данных, достигая соглашения между назначенным кворумом узлов;

Raft – это другой алгоритм консенсуса, который упрощает проектирование распределенной системы, обеспечивая при этом строгие гарантии согласованности. Он выбирает лидера среди узлов, который координирует репликацию журнала и обеспечивает согласованность данных во всем кластере.

4. Интеграция RNN для анализа и прогнозирования поведения узлов: RNN – это класс нейронных сетей, способных моделировать последовательные данные. Интегрируя RNN в систему, мы получаем возможность анализировать и прогнозировать поведение узлов в сети во времени. RNN могут обнаруживать аномалии, прогнозировать рабочую нагрузку узлов и анализировать временные шаблоны данных, связанные с операциями узлов.

5. Взаимодополняющие возможности: интеграция RNN дополняет алгоритмы консенсуса (PBFT и Raft), предоставляя дополнительные ин-

сайты в поведение узлов. Это сочетание улучшает способность системы обнаруживать и реагировать на аномалии или отклонения от ожидаемого поведения, тем самым повышая общую надежность и устойчивость к сбоям.

Вся эта система представляет собой сложную математическую модель, которая требует анализа и оптимизации различных параметров, таких как веса и гиперпараметры нейронных сетей, параметры алгоритмов консенсуса.

## Заключение

Следует подчеркнуть ключевые аспекты комбинированного подхода, использующего PBFT, Raft и рекуррентные нейронные сети (RNN) для разработки распределенных систем:

1) надежность и отказоустойчивость: комбинированный подход позволяет создавать системы с высокой степенью надежности и отказоустойчивости. PBFT и Raft обеспечивают согласованность данных и эффективное управление консенсусом, а интеграция RNN дополняет их возможности анализом и прогнозированием поведения узлов в сети;

2) адаптивность к изменяющимся условиям: использование RNN позволяет системам адаптироваться к динамическим изменениям в среде. Анализ временных рядов данных и прогнозирование позволяют системе быстро реагировать на изменения и эффективно адаптироваться к новым условиям;

3) эффективность и безопасность: комбинированный подход способствует созданию более эффективных и безопасных распределенных систем. Алгоритмы PBFT и Raft обеспечивают стабильную работу системы, а RNN предоставляют инструменты для обнаружения аномалий и предотвращения возможных угроз безопасности;

4) потенциал для развития: дальнейшие исследования в этом направлении могут привести к созданию инновационных и более эффективных распределенных систем. Непрерывное совершенствование алгоритмов и методов анализа данных открывает новые перспективы для развития технологий и улучшения функционирования распределенных сетей.

Итак, комбинированный подход, основанный на совместном использовании PBFT, Raft и RNN, представляет собой перспективное направление для развития распределенных систем. Он объединяет в себе надежность, адаптивность и безопасность, что делает его важным инструментом в стремлении к созданию эффективных и надежных инфраструктур для различных приложений и отраслей.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Castro M., Liskov B.* Practical byzantine fault tolerance // Proceedings of the Third symposium on operating systems design and implementation. 1999. P. 173–186.
2. *Ongaro D., Ousterhout J.* In search of an understandable consensus algorithm // Proceedings of the 2014 USENIX conference on USENIX annual technical conference. 2014. P. 305–319.
3. *Hochreiter S., Schmidhuber J.* Long short-term memory // Neural computation. 1997. Vol. 9, № 8. P. 1735–1780.
4. *Goodfellow I., Bengio Y., Courville A.* Deep learning. MIT Press, 2016.
5. A survey on consensus mechanisms and mining strategy management in blockchain networks / X. Ren, L. Gao, Y. Qi, L. Zhang // IEEE access. 2020. № 8. P. 167880–167894.
6. *De Moura L., Bjørner N.* Z3: an efficient SMT Solver // Proceedings of the Theory and practice of software. 2008. P. 337–340.
7. *Le Q. V., Mikolov T.* Distributed representations of sentences and documents // Proceedings of the 31<sup>st</sup> International conference on machine learning. 2014. P. 1188–1196.
8. *Mauw S., Oostdijk M.* Foundations of attack trees // Journal of logic and algebraic programming. 2005. Vol. 63, № 1. P. 4–34.
9. *Lamport L., Shostak R., Pease M.* The byzantine generals problem // ACM transactions on programming languages and systems. 1982. Vol. 4, № 3. P. 382–401.
10. TensorFlow: a system for large-scale machine learning / M. Abadi [et al.] // Proceedings of the 12<sup>th</sup> USENIX conference on operating systems design and implementation. 2016. P. 265–283.

## REFERENCES

1. Castro M., Liskov B. Practical byzantine fault tolerance. Proceedings of the Third symposium on operating systems design and implementation. 1999, pp. 173–186.
2. Ongaro D., Ousterhout J. In search of an understandable consensus algorithm. Proceedings of the 2014 USENIX conference on USENIX annual technical conference. 2014, pp. 305–319.
3. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory. Neural computation. 1997;9(8):1735–1780.
4. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep learning. MIT Press; 2016.
5. Ren X., Gao L., Qi Y., Zhang L. A survey on consensus mechanisms and mining strategy management in blockchain networks. IEEE access. 2020;(8):167880–167894.
6. De Moura L., Bjørner N. Z3: an efficient SMT Solver. Proceedings of the theory and practice of software. 2008, pp. 337–340.
7. Le Q. V., Mikolov T. Distributed representations of sentences and documents. Proceedings of the 31<sup>st</sup> International conference machine learning. 2014, pp. 1188–1196.
8. Mauw S., Oostdijk M. Foundations of attack trees. Journal of logic and algebraic programming. 2005;63(1):4–34.
9. Lamport L., Shostak R., Pease M. The byzantine generals problem. ACM transactions on programming languages and systems. 1982;4(3):382–401.
10. Abadi M., Barham P., Chen J., Chen Z., Davis A., Dean J., Kudlur M. TensorFlow: a system for large-scale machine learning. Proceedings of the 12<sup>th</sup> USENIX conference on operating systems design and implementation. 2016, pp. 265–283.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Киямов Жасур Уткирович**, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры информационной безопасности Самаркандского филиала Ташкентского университета информационных технологий.

Область научных интересов – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Поступила в редакцию 11.04.2024

Поступила после рецензирования 12.04.2024

Принята к публикации 12.05.2024

**Kiyamov Jasur U.**, PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Information Security, Samarkand branch of Tashkent University of Information Technologies.

Research interests – mathematical modeling, numerical methods and software packages.

Received 11.04.2024

Revised 12.04.2024

Accepted 12.05.2024

## Структура и архитектура мостов SpaceFibre – PCIe

Алексей Юрьевич Виноградов<sup>1</sup>

alexey.vinogradov@guap.ru, orcid.org/0000-0003-2130-9456, SPIN-код: 7330-9794

Елена Александровна Суворова<sup>1</sup>

✉ wildcat15@yandex.ru, orcid.org/0000-0001-6330-8182, SPIN-код: 4026-4290

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В настоящее время стандарт SpaceFibre широко используется в сетях аэрокосмического назначения. На этапах отладки и тестирования этих сетей зачастую существует необходимость подключать к ним персональные компьютеры (ПК). Однако они не имеют интерфейса SpaceFibre. Большинство ПК имеют интерфейс PCIe, их подключение может осуществляться через мост SpaceFibre – PCIe. Поэтому разработка таких мостов является очень актуальной задачей. Стандарт PCIe обеспечивает высокую скорость передачи данных. В этом отношении его возможности сравнимы с SpaceFibre, однако в стандарте SpaceFibre поддерживаются различные механизмы обеспечения качества сервиса, которые в PCIe отсутствуют. В данной статье предлагаются архитектурные решения и протокол передачи данных, которые позволяют обеспечить поддержку этих механизмов при передаче данных SpaceFibre – PCIe. Выполняется оценка характеристик, достижимых при использовании этих механизмов.

**Ключевые слова:** SpaceFibre, PCIe, механизмы обеспечения качества сервиса, реальное время, изоляция потоков данных, динамическая реконфигурация

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2023-0003 «Фундаментальные основы построения помехозащищенных систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга».

**Для цитирования:** Виноградов А. Ю., Суворова Е. А. Структура и архитектура мостов SpaceFibre – PCIe // Инновационное приборостроение. 2024. Т. 3, № 3. С. 76–84. DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-76-84.

Original article

## Structure and architecture of SpaceFibre – PCIe bridges

Alexey Yu. Vinogradov<sup>1</sup>

alexey.vinogradov@guap.ru, orcid.org/0000-0003-2130-9456, SPIN-code: 7330-9794

Elena A. Suvorova<sup>1</sup>

✉ wildcat15@yandex.ru, orcid.org/0000-0001-6330-8182, SPIN-code: 4026-4290

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** Currently, the SpaceFibre standard is widely used in aerospace networks. During the debugging and testing stages of these networks development, it is often necessary to connect personal computers (PCs) to them. However, PC typically do not have a SpaceFibre interface. Most PCs have a PCIe interface, and they can be connected to SpaceFibre via the SpaceFibre – PCIe bridge. Therefore, the development of such bridges is a very important task. The PCIe standard provides high data transfer rates. In this regard, its capabilities are comparable to SpaceFibre, however, the SpaceFibre standard supports various quality of service mechanisms that are not available in PCIe. This article proposes architectural solutions and a data transfer protocol that allow us to support these mechanisms for SpaceFibre – PCIe data transferring. The evaluation of the characteristics achievable using these mechanisms is performed.

**Keywords:** SpaceFibre, PCIe, quality of service, real time, data flows isolation, dynamic reconfiguration

**Acknowledgements.** The paper was prepared with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, grant agreement No. FSRF-2023-0003 “Fundamental principles of building of noise-immune systems for space and satellite communications, relative navigation, technical vision and aerospace monitoring”.

**For citation:** Vinogradov A. Yu., Suvorova E. A. Structure and architecture of SpaceFibre – PCIe bridges. Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation. 2024;3(3):76–84. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-76-84.

### Введение

Стандарт SpaceFibre [1, 2] в настоящее время широко используется в сетях аэрокосмического назначения. В целях отладки или макетирования до-

вольно часто существует необходимость подключать к сети SpaceFibre персональный компьютер (ПК). Современные ПК не имеют интерфейса SpaceFibre, поэтому необходимо использовать мосты между этим стандартом и интерфейсами ПК [3–5].

Такие мосты должны обеспечивать одновременную (параллельную) передачу с ПК, прием на ПК больших объемов данных по разным виртуальным каналам SpaceFibre с поддержкой механизмов качества сервиса и разделения потоков SpaceFibre [3–5]. Для обеспечения этих требований пропускная способность канала передачи между ПК и точкой подключения SpaceFibre должна быть сравнимой с пропускной способностью каналов SpaceFibre. Поэтому в качестве интерфейса ПК был выбран PCIe [6–12]. В настоящее время этот интерфейс очень широко распространен, имеется практически у каждого ПК. Он обеспечивает высокую скорость передачи и пропускную способность.

Вследствие этого разработка мостов SpaceFibre – PCIe, их архитектур, протоколов передачи данных SpaceFibre – PCIe является очень актуальной задачей. В данной статье предлагается структурная и архитектурная организация моста. Также предлагается протокол передачи данных для таких мостов, выполняется оценка достижимых характеристик, определяются требования к программному обеспечению, управляющему приемом/передачей данных на стороне ПК.

## Структура моста SpaceFibre – PCIe

Мост должен включать в себя контроллер интерфейса PCIe и контроллер интерфейса SpaceFibre. Для промежуточного хранения данных необходима память (RX и TX). Данная память расположена на интерфейсе контроллера PCIe. Мост должен включать в себя блоки преобразования объектов данных SpaceFibre – PCIe. (Схема преобразования будет рассмотрена ниже). Базовый вариант схемы моста SpaceFibre – PCIe показан на рис. 1.

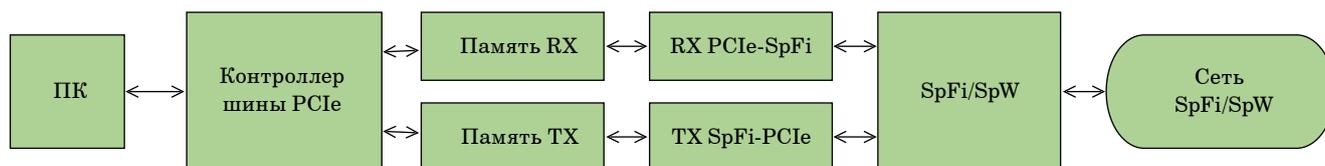
В контроллере SpaceFibre поддерживаются уровни протокола от физического до виртуальных каналов включительно. В текущей реализации поддерживается от 1 до 16 виртуальных каналов. В статье будет рассмотрен вариант с 8 виртуальными каналами. В контроллере PCIe поддерживаются все уровни протокола

PCIe. Текущая реализация выполнена для FPGA Xilinx (Virtex 7 и Kintex 7), в ней используется контроллер PCIe 2.0 x4, имеющийся для данной микросхемы [13]. (Отметим, что предлагаемая структура и архитектура моста не имеют жесткой привязки к выбранной технологии реализации). Память TX используется для хранения данных, которые должны быть переданы в сеть SpaceFibre. Память RX используется для хранения данных, принимаемых из SpaceFibre.

Обмен данными по PCIe осуществляется в терминах транзакций, которые используются для чтения и записи ячеек памяти. Обмен данными по SpaceFibre идет в терминах пакетов. Для приема/передачи данных SpaceFibre был разработан протокол, в котором определен формат объектов данных, которые могут быть прочитаны/записаны транзакциями PCIe. Объект данных включает в себя слова данных SpaceFibre и служебную информацию. Каждый такой объект данных имеет фиксированную длину 128 битов и в памяти хранится как отдельный сегмент. Размер сегмента был выбран таким, чтобы его можно было записывать и считывать в память за 1 такт. Границы сегментов выровнены по границам 16 байтных слов. Формат сегмента приведен в таблице.

- *Формат сегмента*
- *Format of segment*

Биты	Размер поля (количество битов)	Описание
127	1	Наличие данных
126–124	3	Резерв
123–120	4	Номер виртуального канала
119–108	12	Резерв
107–104	4	Флаги слова 2
103–100	4	Флаги слова 1
99–96	4	Флаги слова 0
95–64	32	Слово 2
63–32	32	Слово 1
31–0	32	Слово 0



• *Рис. 1. Структурная схема моста*  
 • *Fig. 1. Structural diagram of the bridge*

Поле «Наличие данных» указывает, что в данном сегменте содержатся какие-то данные.

Поле «Номер виртуального канала» указывает, с какого виртуального канала были приняты данные SpFi. Для передачи данных в SpFi номер канала можно не указывать.

Поле «Флаги слова 2/1/0» – наличие «1» в битах указывает, что в поле «Слово данных 2/1/0» передается служебный символ SpaceFibre EOP, EEP или FILL.

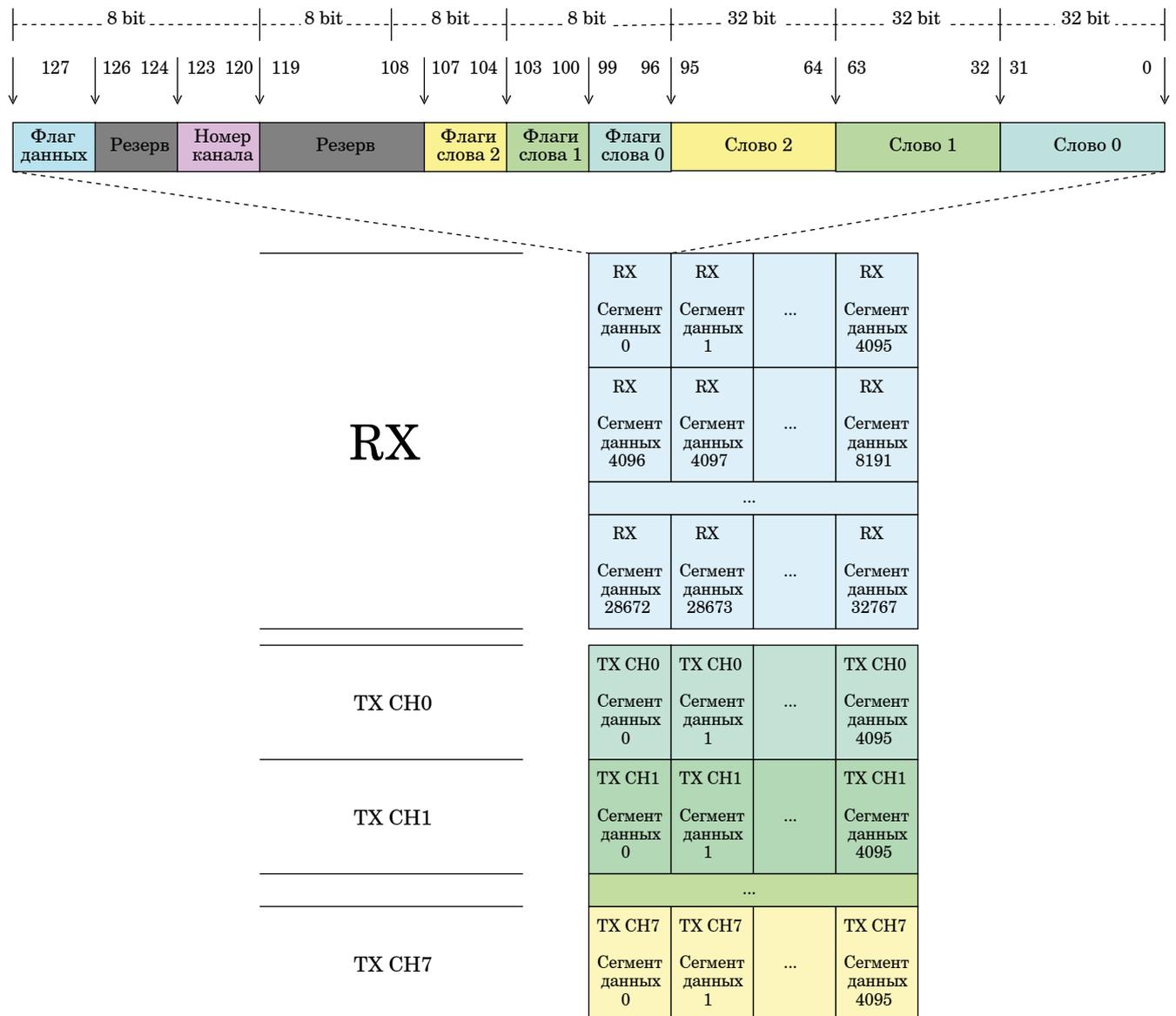
Поле «Слово данных 2/1/0» – 32-битное поле для передачи слов данных или служебных символов.

Память TX разделена на 8 областей, каждая из которых соответствует одному виртуально-

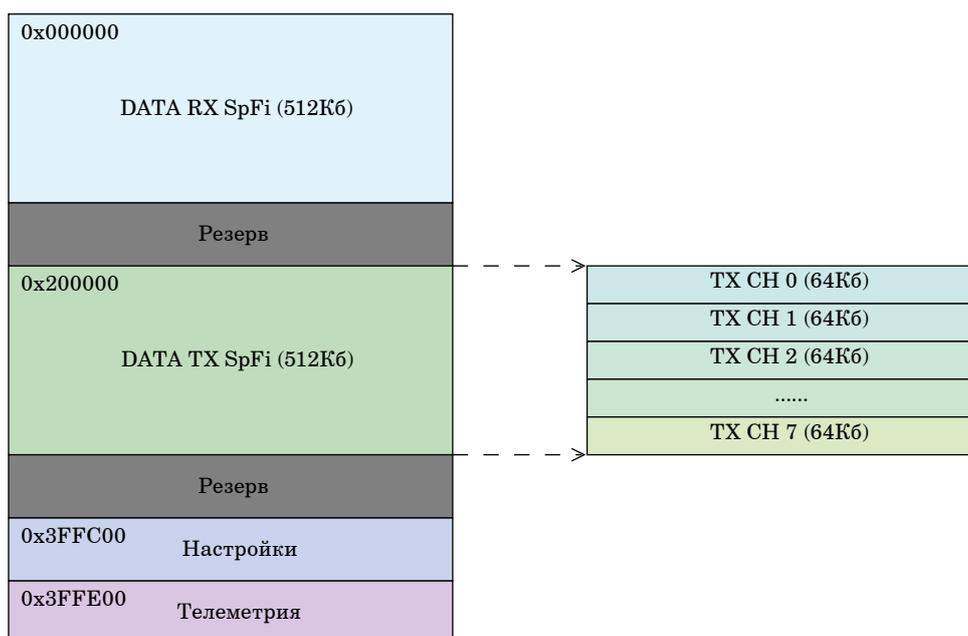
му каналу SpaceFibre. Память RX в базовой реализации не разделена на отдельные области. Сегменты, принимаемые из разных виртуальных каналов SpaceFibre, записываются в нее подряд, в порядке их выборки из виртуальных каналов SpaceFibre. Организация памяти показана на рис. 2.

Пример карты адресов показан на рис. 3.

Рассмотрим процесс передачи данных от хост-системы (ПК) через мост в сеть SpaceFibre. Данные, которые необходимо передать, должны быть программно записаны в память TX-моста. Перед началом записи необходимо выяснить, имеются ли свободные сегменты в области памяти соответствующего виртуального канала.



• Рис. 2. Организация RX- и TX-памяти  
 • Fig. 2. Logical structure of RX and TX memory



- Рис. 3. Карта адресов
- Fig. 3. Address map

Для этого ПК прочитывает слова сегментов, содержащие 128 бит. Записывать данные можно в сегменты, для которых этот бит установлен в 0. В ходе записи его необходимо устанавливать в 1. При записи необходимо учитывать, что передача сегментов в сеть будет осуществляться в порядке их расположения в памяти.

Программно можно хранить информацию о номерах сегментов, уже заполненных передаваемыми данными, и о номерах освободившихся сегментов. Это позволяет сократить количество читаемой каждый раз информации. Наряду с этим, возможны аппаратные реализации, в которых адрес последнего заполненного/первого свободного сегмента для каждого виртуального канала хранится в некоторой фиксированной ячейке памяти.

Также, если несколько сегментов готово к передаче, можно проверять готовность к записи текущего сегмента и сегмента с номером, определяемым по формуле:

$$N = (N_s + N_i) \bmod Nm,$$

где  $N_s$  – количество сегментов, готовых к передаче;  $N_i$  – номер текущего сегмента;  $Nm$  – максимальное количество сегментов в рассматриваемой области памяти.

Далее блок преобразования PCIe – SpFi постоянно (циклически) отслеживает наличие данных в памяти по каждому виртуальному каналу (анализирует значения соответствующих битов

для каждого сегмента) и наличие свободного места в буферах виртуальных каналов на передаче. В случае наличия данных и наличия места в соответствующем буфере выполняется копирование слов данных из памяти в буфер. Далее передача данных осуществляется автоматически контроллером SpaceFibre.

Рассмотрим процесс приема данных из сети SpaceFibre в ПК (хост-систему). Если в памяти есть место для приема данных, блок преобразования SpFi – PCIe постоянно (циклически) контролирует наличие данных в приемных буферах виртуальных каналов SpaceFibre. Если в буфере имеются данные, то блок преобразования выполняет их запись в очередной сегмент памяти RX. На ПК должна выполняться программа, которая (постоянно) циклически читает содержимое заполненных сегментов памяти RX. После прочтения очередного сегмента программно необходимо записать «0» в 127-й разряд этого сегмента, для того, чтобы в дальнейшем этот сегмент мог использоваться для записи следующих данных. Так же, как и для памяти TX, для памяти RX могут использоваться выделенные ячейки, в которых хранится адрес последнего записанного сегмента.

### Механизмы качества сервиса

В стандарте SpaceFibre на уровне виртуальных сетей/виртуальных каналов поддерживают-

ся механизмы обеспечения QoS: приоритеты, гарантированная пропускная способность, планирование. Также поддерживается изоляция виртуальных сетей/виртуальных каналов. Если в одной из виртуальных сетей, например, возникает блокировка (deadlock) из-за ошибок в функционировании одного из маршрутизаторов, то это не сказывается на возможности передавать данные по другим виртуальным сетям. Рассмотрим возможности по обеспечению этих механизмов при подключении абонента через мост SpaceFibre – PCie.

*Передача данных от ПК.* Рассмотрим сначала передачу данных от ПК в SpaceFibre. В мосте каждому отдельному виртуальному каналу соответствует отдельная область памяти. Очередность выборки данных из этих областей в буферы виртуальных каналов может соответствовать параметрам QoS, заданным для виртуальных каналов. Если какая-то область памяти окажется заполненной данными полностью вследствие невозможности передачи данных по одной из виртуальных сетей вследствие возникших в ней сбоев, отказов, это никак не повлияет на возможность программной записи в память других виртуальных каналов. Данные по ним можно будет передавать. Таким образом, внутри моста на передачу могут быть поддержаны все механизмы QoS, и обеспечивается изоляция потоков данных.

Ограничения по поддержке механизмов QoS и изоляции потоков данных в этом случае могут возникнуть только из-за особенностей реализации ПО на ПК. В частности, передача данных по каждому виртуальному каналу может быть реализована программно как отдельная задача (процесс). В этом случае переключение между этими задачами и другими задачами на ПК, доля времени, в течение которого будут выполняться эти задачи, будут зависеть от используемой операционной системы (ОС). Если эти параметры не будут соответствовать характеристикам передаваемых потоков данных, то параметры QoS могут не соблюдаться. Если программное обеспечение (ПО) реализовано как несколько потоков в рамках одного процесса, то программист будет иметь возможность реализовать переключение между ними в соответствии с требуемыми параметрами QoS. Однако в этом случае по-прежнему могут возникнуть нарушения из-за влияния других задач, выполняющихся в системе.

*Прием данных в ПК.* Для приема данных из сети SpaceFibre мост имеет одну общую для всех виртуальных каналов память. Опрос каналов происходит циклически, и, если есть данные, они записываются в свободное место памяти. Это

может соответствовать параметрам QoS. Однако если управляющее ПО не будет успевать извлекать данные, то память заполнится и прием данных остановится по всем виртуальным каналам сразу, но если ПО всегда будет успевать читать данные из памяти, то ни на одном из каналов не возникнет задержек или сбоев. Таким образом, при должной реализации управляющего ПО мост может поддерживать все механизмы QoS.

В отличие от передачи, в приеме нет полной изоляции потоков данных. Изоляция обеспечивается с помощью управляющего ПО в соответствии с номерами виртуальных каналов, находящихся в каждом сегменте.

Для того, чтобы обеспечить изоляцию потоков данных, в памяти RX могут быть выделены отдельные области для виртуальных каналов. В этом случае если одна из областей будет полностью заполнена данными вследствие того, что ПО не будет успевать их вычитывать, то это не приведет к невозможности приема данных по другим виртуальным каналам.

### **Возможности по динамической реконфигурации**

В ходе функционирования системы интенсивность (и другие характеристики) потоков данных может существенно изменяться во времени. Например, это может происходить в разных фазах вычислительного процесса или при изменении набора решаемых задач. Кроме того, при использовании механизма планирования каждый виртуальный канал может передавать данные только в отдельных таймслотах. Чем больше интенсивность потока данных, тем большая доля пропускной способности канала должна быть ему выделена.

*Передача данных от ПК.* В стандарте SpaceFibre доля выделенной пропускной способности для виртуального канала может изменяться во время передачи данных. Новое значение будет использовано при выборе очередного фрейма для передачи. Однако то, насколько будет использована эта выделенная доля пропускной способности, зависит и от размера памяти TX, выделенной для данного виртуального канала. В общем случае память TX должна распределяться между виртуальными каналами пропорционально доле их пропускной способности. Если изменения пропускной способности происходят редко (например, при смене набора решаемых задач), то перед этим все передачи данных от завершаемого набора задач будут завершены, память TX будет пуста. В этом случае можно за достаточно короткое

время перенастроить границы памяти для виртуальных каналов программно.

Если же изменения происходят довольно часто и на фоне передачи потоков данных (какая-то часть памяти ТХ может быть занята данными), программные изменения потребуют постоянного отслеживания, когда освободятся блоки памяти, которые необходимо перераспределить. Это приведет к довольно существенной загрузке процессора и довольно длительному времени, которое понадобится для реконфигурации. Для решения этой проблемы могут быть использованы виртуализация памяти ТХ и реализация в мосту аппаратного MMU для управления перераспределением памяти. В этом случае ПК будет взаимодействовать с этой памятью в терминах виртуальных адресов. Для каждого виртуального канала будут заданы виртуальный адрес для записи очередного сегмента на передачу и виртуальный адрес, по которому можно программно прочитать, есть ли в памяти свободное место для передачи по данному виртуальному каналу. Аппаратный MMU может перераспределять свободные и вновь освобождающиеся сегменты между виртуальными каналами с учетом текущей интенсивности потоков, расписания таймслотов, в которых разрешена передача для каждого виртуального канала. В этом случае для каждого виртуального канала программно должны быть заданы минимально и максимально допустимые размеры области памяти. Это позволит исключить блокировки передачи данных по виртуальным каналам из-за того, что вся их память в какие-то моменты времени может оказаться перераспределенной другим виртуальным каналам. Таким образом, независимость потоков данных будет сохранена.

Отметим, однако, что реализация данного механизма влечет за собой дополнительные аппаратные затраты. В этом случае понадобится хранить информацию о принадлежности сегментов памяти виртуальным каналам. Размером этой информации можно управлять путем объединения сегментов в группы. Между виртуальными

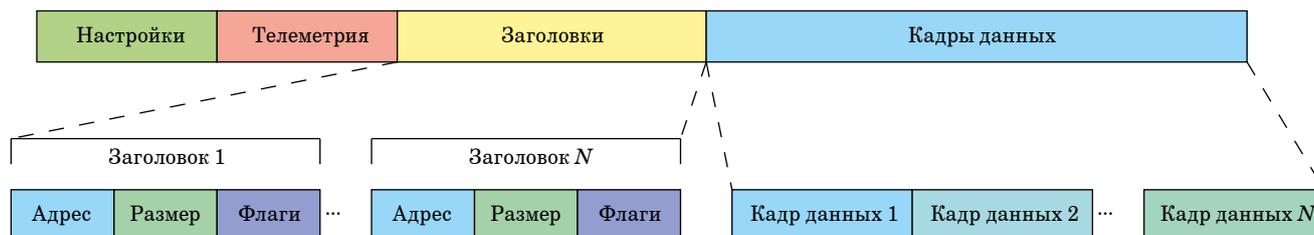
каналами в этом случае будут перераспределяться не отдельные сегменты, а эти группы. Чем больше размер группы, тем меньше понадобится дополнительной памяти, но тем медленнее может оказаться реакция на изменение интенсивности потоков данных.

*Прием данных в ПК.* Интенсивность потоков принимаемых данных может меняться так же, как интенсивность потоков передаваемых данных. Отметим, что в базовой версии реализации моста отсутствие отдельных областей памяти для виртуальных каналов позволяет максимально адаптироваться к текущим интенсивностям потоков данных. (Для этого не требуется выполнять каких-либо специальных действий). Однако, как было отмечено выше, это же становится причиной возможных блокировок одних потоков данных другими.

Для реализации памяти RX с возможностью динамической реконфигурации и поддержкой изоляции потоков данных так же, как и для ТХ-памяти, может быть использована виртуализация. Для каждого виртуального канала могут быть заданы виртуальный адрес для чтения очередного принятого сегмента и адрес, по которому можно прочитать, если ли в памяти еще данные, относящиеся к этому виртуальному каналу. Так же, как для ТХ-памяти, в этом случае для каждого виртуального канала должны быть заданы минимальный и максимальный размеры используемой памяти. Такая схема позволит адаптировать использование памяти к интенсивностям потоков данных и при этом обеспечить изоляцию отдельных потоков.

#### Альтернативный вариант организации данных в памяти

При рассмотрении различных вариантов реализации ПО, обеспечивающего обмен данными с мостом, было определено, что в некоторых случаях время обмена данными может быть сокращено, если в памяти хранить не сегменты цели-



• Рис. 4. Альтернативный вариант организации памяти  
 • Fig. 4. Alternative variant of logical memory structure

ком, а использовать отдельные области для хранения заголовков и полей данных. Такая схема организации памяти показана на рис. 4.

В поле «Настройки» находятся настройки моста SpFi – PCIe, в поле «Телеметрия» – информация о состояниях портов SpFi и статистика передачи данных. Поле «Данные» содержит поля заголовков и кадров данных. В каждом заголовке находится адрес, указывающий положение кадра данных, его размер и флаги.

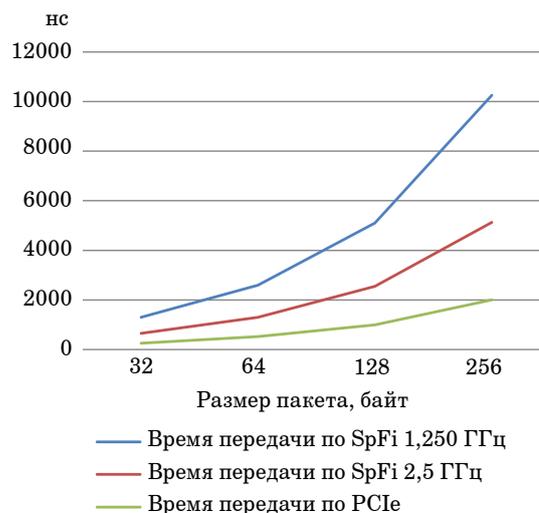
## Оценка характеристик

*Передача данных от ПК.* Рассмотрим сначала передачу больших объемов данных. В базовом варианте текущей реализации для каждого виртуального канала выделено 4096 сегментов. Это позволяет хранить до 12 288 32-разрядных слов (49 152 байтов, 393 216 бит). Размер используемой памяти определяется количеством блочной памяти в используемой FPGA. Если передача по каналу SpaceFibre осуществляется на 1,25 Гбит/с, то для передачи такого объема данных понадобится около 500 мкс. Если передача осуществляется на 2,5 Гбит/с, то, соответственно понадобится около 250 мкс (если одному виртуальному каналу выделена вся пропускная способность).

По PCIe для передачи 4096 сегментов понадобится передать  $128 \cdot 4096 \text{ бит} = 524 288 \text{ бит}$  на 5 Гбит/с. На передачу может потребоваться 100–120 мкс. Соотношение практически совпадает с соотношением пропускных способностей используемых вариантов PCIe и SpaceFibre 5:1 (в случае скорости передачи по SpaceFibre 1,25 Гбит/с) и 2,5:1 (в случае скорости передачи по SpaceFibre 2,5 Гбит/с).

За время передачи одной области по SpFi можно заполнить данными следующую область. Таким образом, в этом случае можно разработать софт таким образом, чтобы особо заметных простоев на передачу не было. (За сотни микросекунд на современных ПК можно контекст между задачами переключать несколько раз).

Если же передавать пакеты небольшого размера 32, 64, 128, 256 байт (11, 22, 43, 86 сегментов), то время передачи таких пакетов будет очень невелико. По сети SpaceFibre такие пакеты будут передаваться за 1300 нс – 10 мкс (1300, 2600, 5100 и 10250 нс соответственно) на скорости 1,25 Гбит/с, а на скорости 2,5 Гбит/с – 650 нс – 5 мкс. По PCIe для передачи 11, 22, 43 и 86 сегментов понадобится от 260 нс до 2 мкс (260, 520, 1000, 2000 нс соответственно). Соответствующие графики приведены на рис. 5.



• Рис. 5. Время передачи данных в зависимости от длины пакетов

• Fig. 5. Dependency between packets length and transmission time

Время передачи данных будет складываться из задержки транзакций PCIe (прочитать память, записать минимум 3 слова), записи в память и переход через домен, выборки канала и области памяти (чем больше каналов, тем дольше выборка), записи в модуль передачи в канал (96-битное слово разбирает на три 32-битных), записи в канал и передачи по SpFi. В этом случае задержки передачи данных из-за софта могут быть достаточно значительными.

*Прием данных в ПК.* На прием ситуация по временным характеристикам аналогичная. Время приема будет складываться из задержки в SpFi, чтения памяти, выборки канала SpFi (чем больше каналов, тем больше задержка, и зависит от загрузки других каналов), записи в память и задержки транзакции PCIe.

Если в течение длительного времени передается большой объем данных по одному виртуальному каналу, потом происходит переключение на другой виртуальный канал, то большое количество подряд идущих сегментов памяти будет заполнено данными, относящимися к одному пакету. В этом случае предпочтительным будет базовый вариант реализации.

Использование механизмов виртуализации может быть целесообразно, если, наряду с приемом большого объема данных по одному виртуальному каналу, идет прием критичного ко времени трафика (например, команд) по другому виртуальному каналу. В этом случае использование базового варианта будет приводить к большим временным задержкам для критичного ко времени трафика, поскольку его еще нужно будет

программно найти в общем массиве читаемых из памяти данных.

Также улучшить ситуацию в этом случае может использование организации данных в памяти, при котором заголовки хранятся отдельно (приведено в подразделе «Альтернативный вариант организации данных в памяти»).

Если на прием приходят относительно короткие пакеты данных по разным виртуальным каналам, то также виртуализация памяти может быть полезной.

## Заключение

В статье обоснована необходимость разработки мостов SpaceFibre – PCIe, предложены архитектура моста, различные варианты организации памяти для него и различные варианты протокола передачи данных SpaceFibre – PCIe. Для этих вариантов была выполнена оценка характеристик, возможностей по динамической реконфигурации, даны рекомендации по их применению.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. SpaceFibre – Very high-speed serial link. ECSS-E-ST-50-11C.ESA-ESTEC. The Netherlands: Noordwijk, 2019. 233 p.
2. ГОСТ Р 71083-2023. Космическая техника. Интерфейсы и протоколы высокоскоростного межприборного информационного обмена и комплексирования бортовых систем космических аппаратов. SpaceFibre-RUS // Росстандарт: каталог нац. стандартов. 2024.
3. A complete EGSE solution for the SpaceWire and SpaceFibre protocol based on the PXI industry standard / L. D. Sterpaio, A. Marino, P. Nannipieri, G. Dinelli // Sensors. 2019. Vol. 19, № 22. P. 16.
4. SPACEMAN: A SpaceWire network management tool / W. Hołubowicz [et al.] // Proc. 6<sup>th</sup> Int. SpaceWire conf. athens. 2014. P. 99–102.
5. SpaceFibre and SpaceWire network management: NDCP version 2 / J. Kwiatkowski, K. Romanowski, P. Tyzka, D. Jameux // Submitted to 9<sup>th</sup> Int. SpaceWire and SpaceFibre conf. Pisa, 2022. P. 1–8.
6. PCI express base specification, 5.0. URL: <https://pcisig.com/specifications> (дата обращения: 01.04.2024).
7. PCI Express Base Specification, 4.0. URL: <https://members.pcisig.com/wg/PCI-SIG/document/10912> (дата обращения: 01.04.2024).
8. Cha K., Koo K., Jung H. M. Performance improvement of PCI express adapter cards by adjusting the location of DMA functions // RACS '20: Proceedings of the International conference on research in adaptive and convergent systems. 2020. P. 201–206.
9. Kaviani-pour H., Muschter S., Bohm C. High performance FPGA-based DMA interface for PCIe // IEEE trans. nucl. sci. 2014. № 61. P. 745–749.
10. Review of PCI express protocol-based systems in response to 5G application demand / Y. Lin, J.-Y. Jeng, Y.-Y. Liu, J.-J. Huang // Electronics. 2022. Vol. 11, № 5. P. 25.
11. A review on 802.11 MAC protocols industrial standards, architecture elements for providing QoS guarantee, supporting emergency traffic, and security: future directions / S. K. Memon [et al.] // J. Ind. inf. integr. 2021. Vol. 24, № 2. P. 12.
12. Design of PCIe-DMA bridge interface for High speed ethernet applications / K. Chandra, A. P. Jagtap, N. Ranjan, S. Srivastava // Second International conference on advanced computational and communication paradigms (ICACCP). 2019. P. 1–5.
13. 7 series integrated block for PCIe, v3.3. Xilinx Inc., 2018.

## REFERENCES

1. SpaceFibre – Very high-speed serial link. ECSS-E-ST-50-11C.ESA-ESTEC. Netherlands: Noordwijk; 2019. 233 p.
2. GOST R 71083-2023. Space technology. Interfaces and protocols for high-speed inter-instrument information exchange and integration of on-board systems of spacecraft. SpaceFibre-RUS; Rosstandart. Catalog of national standards; 2024. (In Russ.).
3. Sterpaio L. D., Marino A., Nannipieri P., Dinelli G. A complete EGSE solution for the SpaceWire and SpaceFibre protocol based on the PXI industry standard. Sensors. 2019;19(22):16.
4. Hołubowicz W., Lancmański P., Romanowski K., Kollias V. D., Pogkas N. SpaceFibre and SpaceWire network management: NDCP version 2. Proc. 6<sup>th</sup> Int. SpaceWire conf. athens. 2014, pp. 99–102.
5. Kwiatkowski J., Romanowski K., Tyczka P., Jameux D. SpaceFibre and SpaceWire network management: NDCP version 2. Submitted to 9<sup>th</sup> Int. SpaceWire and SpaceFibre conf. Pisa; 2022, pp. 1–8.
6. PCI express base specification, 5.0. Available from: <https://pcisig.com/specifications> [Accessed 01 April 2024].

7. PCI express base specification, 4.0. Available from: <https://members.pcisig.com/wg/PCI-SIG/document/10912> [Accessed 01 April 2024].
8. Cha K., Koo K., Jung H. M. Performance improvement of PCI express adapter cards by adjusting the location of DMA functions. RACS '20: Proceedings of the International conference on research in adaptive and convergent systems. 2020, pp. 201–206.
9. Kaviani-pour H., Muschter S., Bohm C. High performance FPGA-based DMA interface for PCIe. IEEE trans. nucl. sci. 2014;(61):745–749.
10. Lin Y., Jeng J.-Y., Liu Y.-Y., Huang J.-J. Review of PCI express protocol-based systems in response to 5G application demand. Electronics. 2022;11(5):25.
11. Memon S. K., Nishar K., Hanafi A. H. M., Chowdhry B. S., Sodhro A. H., Pirbhulal S., Rodrigues J. J. P. C. A review on 802.11 MAC protocols industrial standards, architecture elements for providing QoS guarantee, supporting emergency traffic, and security: future directions. J. Ind. inf. integr. 2021;24(2):12.
12. Chandra K., Jagtap A. P., Ranjan N., Srivastava S. Design of PCIe-DMA bridge interface for High speed ethernet applications. Second International conference on advanced computational and communication paradigms (ICACCP). 2019, pp. 1–5.
13. 7 Series Integrated Block for PCIe, v3.3. Xilinx Inc.; 2018.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Виноградов Алексей Юрьевич**, инженер лаборатории сетей и систем-на-кристалле Центра аэрокосмических исследований и разработок Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – бортовые сети, разработка IP-блоков и протоколов обмена на языках HDL.

**Суворова Елена Александровна**, кандидат технических наук, заведующая лабораторией лаборатории сетей и систем-на-кристалле Центра аэрокосмических исследований и разработок Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – динамическая реконфигурация как средство адаптации локальных вычислительных сетей и систем-на-кристалле к решаемым задачам и к сбоям и отказам, возникающим в ходе эксплуатации систем.

Поступила в редакцию 18.04.2024

Поступила после рецензирования 23.04.2024

Принята к публикации 12.05.2024

**Vinogradov Alexey Yu.**, Engineer at the Laboratory of Networks and the Systems-on-a-chip, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – on-board networks, development of IP blocks and exchange protocols in HDL languages.

**Suvorova Elena A.**, PhD in Technical Sciences, Head at the Laboratory of Networks and the Systems-on-a-chip, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – dynamic reconfiguration as a means to adapt local area networks and systems-on-a-chip to the tasks being solved and to faults that occur during the life of systems.

Received 18.04.2024

Revised 23.04.2024

Accepted 12.05.2024

## Формирование социотехнических трендов ценностных инноваций

Дарья Сергеевна Шукина<sup>1</sup>

✉ shchukinadaria00@gmail.com, SPIN-код: 1760-4247

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы, связанные с развитием новых технологий, формированием трендов и степенью влияния развития определенных тенденций на новые продукты и инновации. Выявлены наиболее значимые тенденции развития за 2023 г., проанализированы тренд «Генеративный искусственный интеллект» и ценностная инновация, сформировавшаяся в результате его появления.

**Ключевые слова:** инновации, тренды, формирование трендов, патентный анализ, ценностные инновации

**Для цитирования:** Шукина Д. С. Формирование социотехнических трендов ценностных инноваций // Инновационное приборостроение. 2024. Т. 3, № 3. С. 85–88. DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-85-88.

Original article

### Formation of sociotechnical trends of value innovations

Daria S. Shchukina<sup>1</sup>

✉ shchukinadaria00@gmail.com, SPIN-code: 1760-4247

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The work examines issues related to the development of new technologies, the formation of trends and the degree to which the development of certain trends influences new products and innovations. The most significant development trends for 2023 have been identified the “Generative artificial intelligence” trend and the value innovation that has emerged as a result of its emergence have been analyzed.

**Keywords:** innovations, trends, trends formation, patent analysis, value innovations

**For citation:** Shchukina D. S. Formation of sociotechnical trends of value innovations. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2024;3(3):85–88. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-85-88.

Современное общество сталкивается с глобальными вызовами, обусловленными появлением и широким распространением передовых технологий и разнообразных феноменов социального, экономического, политического и других аспектов. Эти изменения воздействуют на деятельность в различных секторах и сферах деятельности, детерминируют новые траектории развития экономики и глобальные трансформации.

Изучение трендов актуально за счет высоких перспектив новых направлений и методов, а также возможности достижения синергетического эффекта, когда инновационные исследования в рамках определенного тренда и развитие существующих процессов в определенных областях приводят к значительному изменению основных концепций и методов в этих областях.

Результатами данного эффекта являются ценностные инновации, которые на основании проведенных исследований в области изучения новых технологий способны влиять и даже менять

человеческие взгляды и подходы к уже укоренившимся процессам.

Потребительские тренды, формулирующие ценностные инновации, складываются на основании изучения аналитических данных и формирования гипотез, а также отслеживания рынков и внутреннего и внешнего прогнозирования развития тенденций в определенных областях. Под потребительским трендом понимается направление развития наиболее востребованных сфер жизнедеятельности потребителей, подкрепленных объективными исследованиями и статистическими данными о спросе на решение проблем в определенной сфере.

Формирование технологических трендов непосредственно зависит от объективных процессов развития мировых рынков и изменений в технологической сфере. Влияние на создание таких трендов оказывают также меры государственного регулирования экономики, учитывающие различные социальные, экологические и политические факторы. Результаты анализа мировых

экономических процессов выражаются в различных стратегиях, прогнозах и исследованиях, проводимых как государственными органами, так и международными консалтинговыми фирмами и финансовыми организациями. Эти документы, как правило, представляют собой результат всесторонних исследований и характеризуются высокой степенью объективности [1, 2].

Социальные исследования, связанные с развитием и распространением инноваций, основаны на методологиях двух различных дисциплин: исследования инноваций (Innovation Studies, IS), которые чаще всего используются для обоснования политических решений, и исследования науки и технологий (Science and Technology Studies, STS), которые фокусируются на исследовании взаимодействия между наукой, технологиями и обществом [3]. Однако сейчас для анализа трендов инноваций по большей части применяется гибридная методика анализа, представляющая комбинированный подход к анализу тенденций развития отраслей и технологий на основании как количества научно-исследовательских работ, патентов, реализованных проектов, грантов и полученных стипендий в областях, так и экономических, социальных, пользовательских и рыночных аспектов, влияющих на объем рынка и, как следствие, на рост или падение востребованности инновационной технологии [4].

В настоящее время изучается примерно десять ключевых тенденций развития технологий, направленных на широкое внедрение цифровизации и автоматизации производственных процессов [5]. Они включают в себя использование прикладного искусственного интеллекта, внедрение машинного обучения, генеративного искусственного интеллекта, развитие low-code-платформ, дизайна безопасности, основывающегося на изначальной уязвимости систем компании, концепции Web3, развития оптоволоконных сетей, облачных и граничных вычислений, квантовых технологий, биоинженерии будущего. В зависимости от демографических, экономических, научно-технических, природных, социокультурных и политико-правовых факторов, представленные тенденции могут видоизменяться. При этом, по результатам анализа за 2023 г., ведущей и наиболее значимой тенденцией, сформировавшей новую ценностную инновацию, является тренд «Генеративный искусственный интеллект».

Тренд генеративного искусственного интеллекта представляет собой развитие и использование технологий, позволяющих создавать искусственно сгенерированные контенты, изображения, тексты, музыку и многие другие объекты, для создания которых ранее необходимы были определенные навыки. Эти технологии основа-

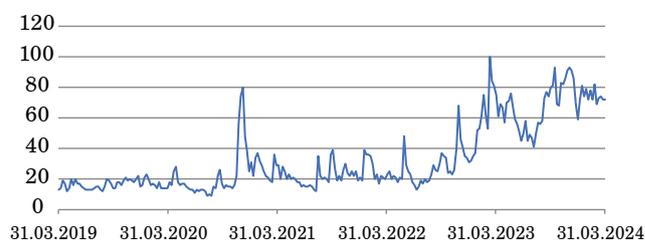
ны на глубоком обучении и нейронных сетях, что позволяет компьютерным системам производить уникальные и качественные художественные и творческие результаты.

Для дальнейшего анализа необходимо привести доказательства существования тренда «Генеративный искусственный интеллект».

На рис. 1; 2, по данным *GoogleTrends*, показаны результаты по числу запросов пользователей на информацию об искусственном интеллекте, в частности, самой распространенной ценностной инновации, сформировавшейся в результате развития тренда «Генеративный искусственный интеллект» – нейросетевая модель OpenAI ChatGPT.

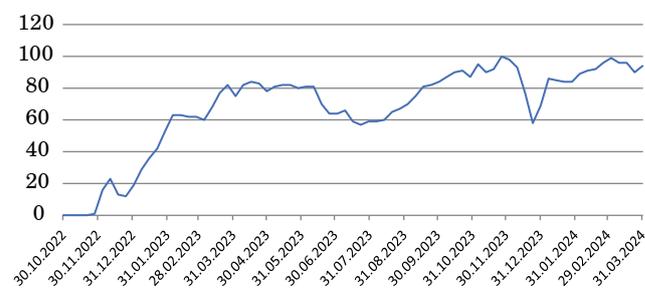
Искусственный генеративный интеллект в промышленном секторе является активно развивающейся сферой. Искусственный интеллект применяют для дизайна и проектирования новых продуктов, оптимизации производственных процессов, повышения эффективности, сокращения издержек. Также генеративный искусственный интеллект применяют для контроля качества изделий: контроль качества продукции, дефектоскопия, анализ, прогнозирование появления несоответствия, распознавание дефектов и предложения по мерам их устранения.

Для дальнейшей оценки наиболее значимых характеристик тренда на рис. 3; 4 приведены гра-



• Рис. 1. Число запросов «Искусственный интеллект» в Google в 2019–2024 гг.

• Fig. 1. Number of “Artificial Intelligence” ueries on Google in 2019–2024



• Рис. 2. Число запросов «ChatGPT» в Google в 2022–2024 гг.

• Fig. 2. Number of “ChatGPT” requests on Google in 2022–2024

фики по количеству запросов, связанных с выбранным трендом «Генеративный искусственный интеллект», для визуального представления этапов развития тренда.

Инструментально наличие какого-либо тренда доказывается численными подтверждениями по основным характеристикам:

1) угол наклона – чем больше угол наклона линии тренда в графике относительно горизонтальной оси времени, тем более выраженное движение импульса определяется этой линией. Увеличение угла наклона указывает на сильное направление движения, в то время как более пологий угол говорит о менее выраженном или слабом тренде;

2) временной масштаб – чем более длительный временной интервал используется для построения линии тренда, тем более значимым является ее представление. Например, линия тренда, построенная на пятилетнем графике, отражает более стабильную и долгосрочную динамику, чем линия тренда, построенная на годовом графике;

3) длительность – чем больше продолжительность трендовой линии, тем выше ее достовер-

ность, поскольку она отражает изменения в построениях отрасли за более длительный период времени;

4) число касаний – чем больше количество касаний точек с линией тренда, тем более надежным считается этот тренд. Линия тренда, которую точки касаются три или более раз, считается более стабильной и устойчивой к прорыву, чем линия, к которой точки имеют всего два касания.

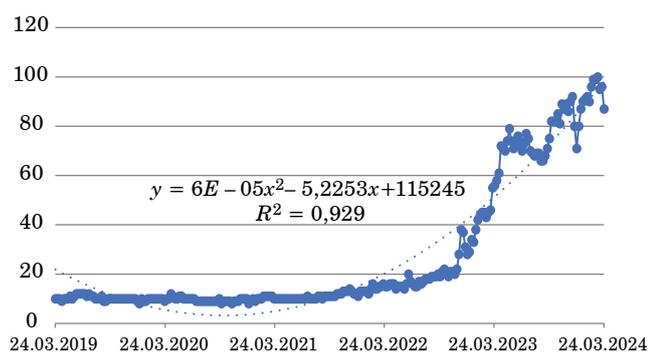
Для дальнейшего анализа существования тренда необходимо определить характеристики тренда, с помощью которых классифицируется степень важности тренда (таблица).

Представленные данные говорят о том, что тренд «Генеративный искусственный интеллект» является достаточно сильным и стабильным, так как угол наклона больше 0,01, количество касаний превышает три точки. Однако он не является достаточно надежным в связи со своей непродолжительностью.

Если говорить о прогнозах развития тенденции создания новых инструментов генеративного искусственного интеллекта, то следует отметить, что рынок продаж генеративных нейросетей будет только расти. По данным источников «Financial Times», в декабре 2023 г. годового оборот OpenAI (показатель выручки за предыдущий месяц, умноженный на 12) достиг отметки в 2 млрд долларов, хотя еще в октябре 2023 г. годового доход компании, по данным «The Information», составлял 1,3 млрд долларов [6].

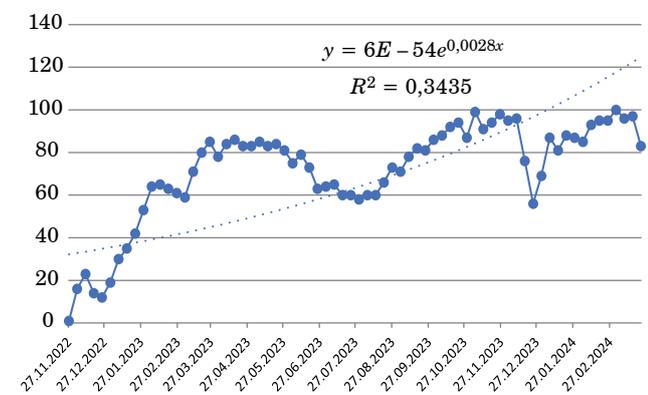
Изучение развития трендов является крайне важным для оценки текущего состояния экономики и определения перспектив развития в любой стране. Тенденции и лидеры различных отраслей, влияющие на формирование ценностей жизни и потребностей потребителей, также напрямую влияют на спрос на товары и услуги, формируют новые технологические и инновационные направления, а также стимулируют рост рынков и развитие промышленности.

Ценностные инновации, возникающие в результате данных тенденций, конкурируют за



• Рис. 3. Число запросов «Искусственный интеллект» за 2019–2024 гг. по данным GoogleTrends

• Fig. 3. Number of queries “Artificial Intelligence” in 2019–2024 according to GoogleTrends



• Рис. 4. Число запросов «ChatGPT» за 2022–2024 гг. по данным GoogleTrends

• Fig. 4. Number of “ChatGPT” in 2022–2024 requests according to GoogleTrends

- Характеристики тренда «Генеративный искусственный интеллект»
- Characteristics of the «Generative artificial intelligence» trend

Запрос/ характеристика	Угол наклона	Число касаний	Длительность, лет	Временной масштаб, лет
Искусственный интеллект	0,041744	10	2	5
ChatGPT	0,11964	5	2	2

признание на рынке, поощряя конкуренцию и стимулируя предпринимательство и инновации. Эти инновации могут оказать существенное воздействие на экономику страны в целом, способствуя ее росту и развитию.

Поэтому анализ и изучение трендов является необходимым инструментом для понимания динами-

ки рынков, прогнозирования будущих изменений и принятия стратегических решений, как на уровне бизнеса, так и на уровне политики и государственного управления. Осведомленность о тенденциях и их воздействии на рынок позволяет адаптироваться к меняющейся среде и оставаться конкурентоспособным в быстро развивающемся мире.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Korobkin D., Fomenkov S., Golovanchikov A. Method of identification of patent trends based on descriptions of technical functions // J. phys. conf. Ser.: 1015. 2018. № 7. P. 1–6.
2. Бушueva И. П., Андреева Е. А., Крюкова А. Д. Разработка карты HR-трендов и технологий // УПИРР. 2021. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-karty-hr-trendov-i-tehnologiy> (дата обращения: 25.03.2024).
3. Земнухова Л. В. Социальные исследования технологий: эволюция и взаимодействие подходов // Эконом. социология. 2018. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialnye-issledovaniya-tehnologiy-evolyutsiya-i-vzaimodeystvie-podhodov> (дата обращения: 25.03.2024).
4. Семёнова А. А. Будущее цифрового ритейла: тренды для инноваций // Петербург. эконом. журн. 2020. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/budushee-tsifrovogo-riteyla-trendy-dlya-innovatsiy> (дата обращения: 25.03.2024).
5. Технологические тренды 2023 – версия McKinsey Digital // Цифровая экономика. URL: <https://d-economy.ru/news/tehnologicheskie-trendy-2023-versiya-mckinsey-digital/> (дата обращения: 09.12.2023).
6. OpenAI на пути к достижению рубежа в 2 миллиарда долларов по мере стремительного роста // Financial times. URL: <https://www.ft.com/content/81ac0e78-5b9b-43c2-b135-d11c47480119> (дата обращения: 25.03.2024).

## REFERENCES

1. Korobkin D., Fomenkov S., Golovanchikov A. Method of identification of patent trends based on descriptions of technical functions. J. phys. conf. Ser.: 1015. 2018;(7):1–6.
2. Bushueva I. P., Andreeva E. A., Kryukova A. D. Development of a map of HR-trends and technologies. UPIR. 2021;(2). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-karty-hr-trendov-i-tehnologiy> (date of access: 25.03.2024).
3. Zemnukhova L. V. Social studies of technology: evolution and interaction of approaches. Economic sociology. 2018;(5). (In Russ.). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialnye-issledovaniya-tehnologiy-evolyutsiya-i-vzaimodeystvie-podhodov> [Accessed 25 March 2024].
4. Semyonova A. A. The future of digital retail: trends for innovation. St. Petersburg economic journal. 2020;(1). (In Russ.). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/budushee-tsifrovogo-riteyla-trendy-dlya-innovatsiy> [Accessed 25 March 2024].
5. Technological trends 2023 – McKinsey Digital version. Digital economy. Available from: <https://d-economy.ru/news/tehnologicheskie-trendy-2023-versiya-mckinsey-digital/> [Accessed 09 December 2024].
6. OpenAI on track to reach \$2 billion milestone as it grows rapidly. Financial times. Available from: <https://www.ft.com/content/81ac0e78-5b9b-43c2-b135-d11c47480119> [Accessed 25 March 2024].

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Щукина Дарья Сергеевна**, магистрант кафедры инноватики и интегрированных систем качества Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – инновации, аддитивные технологии, оценка качества, роботизация, автоматизация, организация производства.

Поступила в редакцию 25.03.2024

Поступила после рецензирования 29.03.2024

Принята к публикации 12.05.2024

**Shchukina Daria S.**, Master's Student at the Department of Innovation and Integrated Quality Systems, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – innovations, additive technologies, quality assessment, robotization, automation, production organization.

Received 25.03.2024

Revised 29.03.2024

Accepted 12.05.2024

## Использование метода газовой хроматографии для оценки пищевых растительных масел в качестве источника полиненасыщенных и насыщенных жирных кислот

Татьяна Ивановна Фомичева<sup>1</sup>

✉ mukhlenova@mail.ru, orcid.org/0009-0005-7243-825X

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Хроматографический метод анализа позволяет оценить количественные соотношения компонентов природных масел и содержание в них жирных кислот. Результаты исследования с применением хроматографа «Кристалл 5000.2» могут быть использованы для расчета рекомендуемых доз масел при употреблении их в качестве пищевых продуктов и биологически активных добавок.

Приведены сведения о хроматографическом анализе различных растительных масел для определения жирнокислотного состава. Масла характеризуются высоким содержанием жирных кислот различных видов, как насыщенных, так и ненасыщенных ( $\omega$ -3,  $\omega$ -6 и  $\omega$ -9).

**Ключевые слова:** хроматографический анализ, жирные кислоты, растительные масла

**Для цитирования:** Фомичева Т. И. Использование метода газовой хроматографии для оценки пищевых растительных масел в качестве источника полиненасыщенных и насыщенных жирных кислот // Инновационное приборостроение. 2024. Т. 3, № 3. С. 89–93. DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-89-93.

Original article

## The gas chromatography method used to evaluate polyunsaturated and saturated fatty acids balance in the oils of natural origin

Tatyana I. Fomicheva<sup>1</sup>

✉ mukhlenova@mail.ru, orcid.org/0009-0005-7243-825X

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The chromatographic analysis method allows us to evaluate the natural oils components quantitative ratios for the content of fatty acids. The results of the study using the «Crystal 5000.2» chromatograph can be used to calculate the oils recommended doses to use it as food products and biologically active additives.

The article provides information about the chromatographic analysis of various vegetable oils for fatty acid composition. The oils are characterized by a high content of fatty acids of various types, both saturated and unsaturated  $\omega$ -3,  $\omega$ -6 and  $\omega$ -9.

**Keywords:** chromatographic analysis, fatty acids, vegetable oils

**For citation:** Fomicheva T. I. The gas chromatography method used to evaluate polyunsaturated and saturated fatty acids balance in the oils of natural origin. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2024;3(3):89–93. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2024-3-89-93.

### Введение

Газовая хроматография позволяет осуществлять экспресс-идентификацию природных масел на содержание триглицеридов (жирных кислот) с определением состава по компонентам. По международному стандарту ISO серии 9000, идентификация – это процедура, позволяющая отличить исследуемый объект от всех остальных по компонентам.

Дифференциация растительных жиров различного происхождения связана, прежде всего, с определением набором жирных кислот, входящих в их состав. Капиллярная газовая хромато-

графия на стандартных капиллярных колонках дает возможность распознать в маслах до 35 кислот [1] в диапазоне концентраций 0,1–100 %.

Состав масел может различаться в зависимости от климатических факторов, особенностей возделывания сельскохозяйственных культур, различием сортов и т. д. К примеру, рапсовое и горчичное масла могут иметь ограничения для пищевого применения вследствие наличия токсичной эруковой кислоты (C22:1). Новые сорта горчицы и рапса, выведенные благодаря селекции, не содержат эту кислоту или содержат не большое ее количество.

Газовая хроматография является эффективным способом оценки состава натуральных масел на содержание полезных для человека компонентов, в частности, насыщенных и полиненасыщенных жирных кислот [4, 5].

Растительные масла природного происхождения содержат ряд полезных для человека компонентов. Среди них имеются пищевые вещества, которые являются необходимыми компонентами рациона питания человека, они могут поступать в организм только с продуктами питания или биологически активными добавками [6–8], а не генерируются организмом человека. К таковым относятся жирные кислоты, в частности, ненасыщенные –  $\omega$ -3,  $\omega$ -6 и  $\omega$ -9, а также аминокислоты, витамины, минеральные вещества [9].

Наиболее приемлемым для человеческого организма соотношением полиненасыщенных жирных кислот  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 ранее считалось соотношение 1:1. Однако в настоящее время принято соотношение  $\omega$ -6 к  $\omega$ -3 как 5:1 [6].

Природные растительные масла используются в качестве пищевых продуктов и имеют форму, удобную для применения, например, в качестве пищевых добавок, что позволяет с легкостью использовать их в дозированном виде. **Цели работы** – использование газовой хроматографии для сравнения эффективности исследуемых масел путем изучения их составов по содержанию триглицеридов (полиненасыщенных и насыщенных жирных кислот) для оценки или пользы для организма человека и соответствия образцов заявленным типам. Установление в исследуемых маслах соотношения насыщенных и полиненасыщенных жирных кислот и определение возможных суточных доз масел в соответствии с «Нормами физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» [10] при использовании масел в пищу и в качестве биологически активных добавок.

## Материал и методы исследования

В качестве примеров для оценки составов использованы льняное, оливковое, соевое, рапсовое масла. Каждое из них изучали по нескольким образцам. В результате идентифицировано несоответствие некоторых из них заявленным видам (маркам).

Принцип действия хроматографов основан на разделении компонентов пробы методом газодсорбционной, газожидкостной хроматографии и масс-спектрометрии с последующим детектированием и обработкой хроматографических сигна-

лов с помощью программного обеспечения [2]. По режиму работы хроматографы относятся к изделиям многократно циклического действия.

Исследовательский комплекс состоит из газового хроматографа с комплектом детекторов и устройств ввода пробы, персонального компьютера (или устройства с аналогичным функциональным назначением), программного обеспечения, методик анализов [1–3].

## Результаты исследования и их обсуждение

Газовохроматографическим способом изучены образцы природных масел, выбранные для исследования, которые могут служить источниками полезных для человека компонентов. Для исследования были выбраны оливковое, соевое, рапсовое и льняное масла.

Анализ образцов осуществляли на газовом хроматографе модели «Кристалл 5000.2» с капиллярной газовохроматографической колонкой DB-FFAP/HP-FFAP/ZB-FFAP. Масла для анализа были подготовлены согласно ГОСТ 31663-2012 «Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот». Исследования также проводили в соответствии с методикой ГОСТ 31663-2012 [1], используя для сравнения в качестве стандартных образцов смесь метиловых эфиров 37 жирных кислот.

Составы масел по содержанию различных жирных кислот приведены в табл. 1–4.

В маслах имеются предельные (насыщенные) кислоты – пальмитиновая, стеариновая, арахиновая и бегеновая, которые способствуют усвоению кальция и регулируют процесс пищеварения. В оливковом и соевом маслах их от 15 до 18 %, в рапсовом – 7,8 %, в льняном – 10 %. Насыщенные жирные кислоты обеспечивают организм энергией, участвуют в усвоении жирорастворимых витаминов А, Е, D, К, являются необходимой частью питания. Избыток жирных кислот может нарушить равновесие физиологических процессов в организме человека и привести к некоторым нарушениям.

В соответствии с «Нормами физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» [10], доза жирных кислот для взрослых должна составлять не более 10 % суточного рациона.

Мононенасыщенные ( $\omega$ -9) (олеиновая и гондоиновая) кислоты необходимы для снижения риска сердечно-сосудистых заболеваний.

- Таблица 1. Содержание насыщенных жирных кислот, %
- Table 1. Saturated oil acids content, %

Жирная кислота	Содержание							
	оливковое		соевое масло		рапсовое масло		льняное масло	
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
Миристиновая С14	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Пальмитиновая С16	13,8	13,5	10,6	10,3	4,8	5,1	5,9	5,9
Пальмитолеиновая С16:1	0,1	0,1	0	0	0,2	0,2	0,1	0,1
Гептадекановая С17	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0
Стеариновая С18	4,1	4,1	4,3	4,5	1,8	2,2	4,1	4,5
Арахидиновая С20:1	0,1	0,1	0,4	0,4	0,5	0,5	0,1	0,1
Бегеновая С22:0	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1
Лигноцериновая С24:0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0
Всего	18,0	18,3	15,6	16,1	7,8	7,8	10,2	10,2

- Таблица 2. Содержание  $\omega$ -3-жирных кислот, %
- Table 2.  $\omega$ -3 oil acids content, %

Жирная кислота	Содержание			
	оливковое масло	соевое масло	рапсовое масло	льняное масло
С18:3 $\omega$ -3 $\alpha$ -линоленовая	0,8–0,9	5,9–6,0	7,2–7,7	55,1–55,6

- Таблица 3. Содержание  $\omega$ -6-жирных кислот, %
- Table 3.  $\omega$ -6 oil acids content, %

Кислота	Концентрация масла в образцах			
	оливковое масло	соевое масло	рапсовое масло	льняное масло
С18:2 $\omega$ -6-линолевая	13,5–13,7	50,2–50,7	24–26,8	15,4–15,6

- Таблица 4. Содержание  $\omega$ -9-жирных кислот, %
- Table 4.  $\omega$ -9 oil acids content, %

Кислота	Концентрация масла в образцах			
	оливковое масло	соевое масло	рапсовое масло	льняное масло
С18:1 $\omega$ -9-олеиновая	62,9–63,2	50,4–50,7	52,4–57,4; 57,1–57,4	15,4–15,6
Гондоиновая	0,4–0,5	0,2–0,3	1,1–1,3	0,1

В исследуемых маслах содержатся в основном мононенасыщенные кислоты: рапсовое – 57,4 %, оливковое – 63 %, соевое – 25,5 %, льняное – 15,5 %.

Полиненасыщенные жирные линолевая  $\omega$ -6, линоленовая  $\omega$ -3 оказывают наиболее эффективное позитивное воздействие на организм человека [8, 9].

$\omega$ -6 в виде линолевой кислоты содержится в льняном масле – 15,5 %, в рапсовом – 24–26 %. В оливковом ее сравнительно мало – 0,8–0,9 %. Линолевая кислота и продукты ее метаболизма – одно из защитных средств организма в борьбе с преждевременным старением, сердечно-сосудистыми заболеваниями, артритом, аллергией, аутоиммунными заболеваниями.

$\omega$ -3-полиненасыщенные жирные кислоты представлены в исследуемых маслах в виде  $\omega$ -3  $\alpha$ -линоленовой кислоты. Она в большом количестве содержится в льняном масле – 55,5 %, в рапсовом – 7,2–7,7 %. В соевом существенно меньше – 6 %, в оливковом – довольно низкое содержание (0,8 %).

Согласно методическим рекомендациям [10] о нормах физиологических потребностей в питательных веществах, можно рассчитать примерное количество масел для приема в сутки для восполнения суточной потребности одним видом масла (табл. 4).

Для поддержания сбалансированного количества незаменимых кислот удобно использовать их при приеме в виде масла, что существенно об-

- Таблица 5. Необходимое количество масла в сутки
- Table 5. Oil amount per day

Масло	Количество масла в сутки по содержанию, г/сутки			Всего, в сутки, г
	$\omega$ -3	$\omega$ -6	$\omega$ -9	
Соевое	2–6	16–20	16	20
Льняное	24	28	62	28
Оливковое	14	60–80	15	60–80
Рапсовое	20	40	17	40

легчает задачу поддержания определенного уровня питательных компонентов в рационе, как при применении жидкого масла, так и при использовании в виде капсулированного продукта.

### Заключение

В результате проведенного исследования удалось определить дневную дозу масел для внесения в организм количества, соответствующих нормам.

Необходимо помнить, что рекомендуемое соотношение  $\omega$ -6 к  $\omega$ -3 составляет 5:1 [10]. Соевое масло содержит необходимое суточное количество в 20 г, льняное – в 28 г, некоторое превышение по  $\omega$ -3 не оказывает отрицательного влияния на человека. Оливковое масло – в количестве 60–80 г, а рапсовое – 40 г. Превышение уровня  $\omega$ -6, по некоторым сведениям, нежелательно.

Преимущества хроматографии по сравнению с инфракрасной спектроскопией заключаются в относительной скорости получения результатов.

Выбор хроматографического метода с использованием хроматографа «Кристалл 5000.2» в сочетании с капиллярной ГХ-колонкой DB-FFAP/HP-FFAP/ZB-FFAP показал наилучшие результаты в процессе установления показателей количественного и качественного состава природных масел.

Необходимы дальнейшие исследования для определения рекомендаций по применению других масел и жиров и наилучших способов их изучения.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 31663-2012. Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот. М.: Стандартинформ, 2012. 8 с.
2. Современные аспекты технологии и экспертизы растительных масел: монография / Т. В. Пилипенко, Н. И. Пилипенко, В. В. Шевченко, З. Х. Сикоев; СПбТЭИ. СПб., 2012. 88 с. (Агрономия и биология).
3. Жижин Н. А. Применение метода «быстрой» газовой хроматографии для регулярного анализа жирных кислот в молоке и молочных продуктах // Вестн. ВГУИТ. 2020. Т. 82, № 1. С. 164–168.
4. Фомичева Т. И., Колужникова Е. В. Газовая хроматография как метод оценки баланса полиненасыщенных и насыщенных жирных кислот в маслах и жирах природного происхождения // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2, № 2. С. 104–109. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-2-104-109.
5. Жиры. Химический состав и экспертиза качества / О. Б. Рудаков, А. Н. Пономарев, К. К. Полянский, А. В. Любарь. М.: ДеЛи Принт, 2005. 312 с.
6. Гладышев М. И. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты и их пищевые источники для человека // Журн. Сиб. федерального ун-та. Биология. 2012. № 4. С. 352–386.
7. Волгарёв М. Н., Мустафина О. К., Трушина Э. Н. О механизмах действия полиненасыщенных жирных кислот на иммунную систему // Вопросы питания. 2003. № 3. С. 35–40.
8. Швейнов А. И. Профилактика аритмических осложнений у пациентов с острым инфарктом миокарда: перспективы применения  $\omega$ -3-полиненасыщенных жирных кислот // Молодеж. инновац. вестн.: Материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых-медиков, посвящ. 100-летию ВГМУ им. Н. Н. Бурденко. 2017. Т. 6, № 1. С. 149–151.
9. Экспертиза масел, жиров и продуктов их переработки. Качество и безопасность / Е. П. Корнева [и др.]. Новосибирск: Сибир. университет. изд-во, 2007. 272 с.
10. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 36 с.

### REFERENCES

1. GOST 31663-2012. Vegetable oils and fatty animals. Determination by gas chromatography shows the proportion of fatty acid methyl esters. Moscow: Standartinform; 2012. 8 p. (In Russ.).

2. Pilipenko T. V., Pilipenko N. I., Shevchenko V. V., Sikoev Z. Kh. Modern aspects of technology and examination of vegetable oils: monograph; SPbTEI. SPb.; 2012. 88 p. (Agronomy and biology). (In Russ.).
3. Zhizhin N. A. Application of the “fast” gas chromatography method for regular analysis of fatty acids in milk and dairy products. *Vestnik VGUIT*. 2020;82(1):164–168. (In Russ.).
4. Fomicheva T. I., Koluzhnikova E. V. The gas chromatography as a method to evaluate polyunsaturated and saturated fatty acids balance in oils and fats of natural origin. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2023;2(2):104–109. (In Russ.). Doi: 10.31799/2949-0693-2023-1-104-109.
5. Rudakov O. B., Ponomarev A. N., Polyansky K. K., Lyubar A. V. Fats. Chemical composition and quality examination. Moscow: DeLi Print; 2005. 312 p. (In Russ.).
6. Gladyshev M. I. Essential polyunsaturated fatty acids and their food sources for humans. *Journal of the Siberian Federal University. Biology*. 2012;(4):352–386.
7. Volgarev M. N., Mustafina O. K., Trushina E. N. On the mechanisms of action of polyunsaturated fatty acids on the immune system. *Nutrition issues*. 2003;(3):35–40. (In Russ.).
8. Shveynov A. I. Prevention of arrhythmic complications in patients with acute myocardial infarction: prospects for the use of  $\omega$ -3-polyunsaturated fatty acids. *Youth. innovation vestn.: Materials of the XI International scientific-practical conf. young medical scientists, dedicated. 100<sup>th</sup> anniversary of VSMU named after. N. N. Burdenko*. 2017;6(1):149–151.
9. Korneva E. P. et al. Examination of oils, oils and their products. Quality and safety. Novosibirsk: Siberia University publishing house; 2007. 272 p. (In Russ.).
10. Standards for consistent application in the field of energy and nutritional substances for various groups of the population of the Russian Federation. Guidelines. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor; 2009. 36 p. (In Russ.).

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Фомичева Татьяна Ивановна**, кандидат технических наук, доцент кафедры инноватики и интегрированных систем качества Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – неорганическая и аналитическая химия, сорбенты, препараты природного происхождения.

Поступила в редакцию 28.03.2024

Поступила после рецензирования 05.04.2024

Принята к публикации 12.05.2024

**Fomicheva Tatyana I.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Innovation and Integrated Quality Systems, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – inorganic and analytical chemistry, sorbents, medication of natural origin.

Received 28.03.2024

Revised 05.04.2024

Accepted 12.05.2024

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Фролова Е. А., Тур А. С.** Практика применения TQM в радиоэлектронной промышленности..... 5
- Назаревич С. А., Белова М. Ю.** Организационный дизайн для технологических инноваций..... 9
- Тихомирова А. Ю., Назаревич С. А.** Исследование типовых несоответствий в обновленной информационной системе суперсервиса «Поступление в вузы онлайн» ..... 15

### СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

- Шихотов А. А., Турецкая Е. Л.** Веб-приложение по анализу данных методами описательной статистики и машинного обучения ..... 21
- Коробейников И. С., Петров Д. Ю.** Математическая модель оценки средней наработки на отказ сервопривода..... 29
- Конников И. А., Прусов А. В.** Сверхширокополосное схемотехническое моделирование линий с распределенными параметрами..... 33
- Лисюков Д. С., Яковлева Е. А.** Методы управления данными в организации: принципы, проблемы и перспективы ..... 40
- Затонский А. В., Федосеева К. А., Кузнецов С. В.** Улучшение качества распознавания окатышей полиметаллических руд на изображении за счет адаптивной коррекции контраста ..... 48

### ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

- Савкова Е. Н.** Метрологические аспекты оценки чувствительности методов исследований в колориметрии цифровых изображений ..... 53
- Калашников Д. А., Безмен П. А.** Разработка программного обеспечения для оптической системы следования за объектом..... 66

## CONTENTS

### PRODUCT QUALITY MANAGEMENT. PRODUCTION ORGANIZATION

- Frolova E. A., Tur A. S.** Practical application of TQM in the radioelectronic industry ..... 5
- Nazarevich S. A., Belova M. Yu.** Organizational design for technological innovation..... 9
- Tikhomirova A. Yu., Nazarevich S. A.** Investigation of typical inconsistencies in the updated information system of the superservice "Admission to Universities online" ..... 15

### SYSTEM ANALYSIS, CONTROL AND INFORMATION PROCESSING

- Shikhotov A. A., Turnetskaya E. L.** Web-application for data analysis using descriptive statistics and machine learning methods ..... 21
- Korobeynikov I. S., Petrov D. Yu.** A mathematical model for estimating the average operating time for a servo failure..... 29
- Konnikov I. A., Prusov A. V.** Ultrawideband circuit modelling distributed parameters lines ..... 33
- Lisyukov D. S., Yakovleva E. A.** Data management methods in organizations: principles, issues and perspectives ..... 40
- Zatonskiy A. V., Fedoseeva K. A., Kuznetsov S. V.** Improving the quality of recognition of polymetallic ore pellets in an image by adaptive contrast correction ..... 48

### INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS

- Saukova Y. M.** Metrological aspects of assessing the sensitivity of research methods in digital image colorimetry..... 53
- Kalashnikov D. A., Bezmen P. A.** Software development for an optical object tracking system..... 66

---

СИСТЕМЫ, СЕТИ И УСТРОЙСТВА  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

**Киямов Ж. У.** Исследование влияния двухуровневой обработки данных на анализ времени передачи пакетов с использованием методов машинного обучения..... 71

**Виноградов А. Ю., Суворова Е. А.** Структура и архитектура мостов SpaceFibre – PCIe..... 76

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ НАУКИ  
И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Щукина Д. С.** Формирование социотехнических трендов ценностных инноваций..... 85

**Фомичева Т. И.** Использование метода газовой хроматографии для оценки пищевых растительных масел в качестве источника полиненасыщенных и насыщенных жирных кислот..... 89

TELECOMMUNICATION SYSTEMS,  
NETWORKS AND DEVICES

**Kiyamov J. U.** Study of the influence of two-level data processing on packet transmission time analysis using machine learning methods..... 71

**Vinogradov A. Yu., Suvorova E. A.** Structure and architecture of SpaceFibre – PCIe bridges ..... 76

FUNDAMENTAL SCIENCES  
AND APPLIED RESEARCH

**Shchukina D. S.** Formation of sociotechnical trends of value innovations ..... 85

**Fomicheva T. I.** The gas chromatography method used to evaluate polyunsaturated and saturated fatty acids balance in the oils of natural origin ..... 89

## Требования к порядку представления рукописей для публикации в научном журнале «Инновационное приборостроение»

1. Для публикации в журнале принимаются оригинальные научные материалы, не публиковавшиеся ранее и соответствующие тематической направленности журнала и критериям научного качества, представляющие интерес для научного сообщества. Авторы представляют в редакцию бумажную и электронную версии статьи в формате Microsoft Word (файл «Структура статьи и образец ее оформления» находится на сайте: <https://fs.guar.ru/inps/obr.pdf>). Заключение пишется в повествовательном стиле, не разбивается на пункты. Выводы должны быть лаконичными и точными, состоять из нескольких пронумерованных пунктов. Обычно количество пунктов соответствует количеству поставленных задач.

2. Объем статьи не должен быть менее 12 000 знаков с пробелами (7–8 машинописных страниц) и не должен превышать 40 000 знаков с пробелами (22–23 машинописные страницы).

Распечатка статьи должна быть подписана всеми авторами с указанием даты ее отправки.

3. К рукописи статьи должны прилагаться две рецензии (внутренняя и внешняя), заключения экспертной комиссии и комиссии экспортного контроля, отчет о проверке на наличие заимствований (процент оригинальности статьи должен составлять не менее 80).

4. При оформлении статьи необходимо придерживаться следующей структуры информации, представленной **на русском и английском языках**:

– фамилия, имя и отчество автора(-ов) полностью; ученая степень, ученое звание, почетное звание (если имеются); должность, название учреждения(-ий), в котором выполнена работа; город, где находится учреждение(-ия), страна. Если рукопись подается от нескольких учреждений, их следует пронумеровать надстрочко и так же пронумеровать авторов статьи. Необходимо указать телефоны, адреса электронной почты, ORCID (при наличии) и SPIN-код авторов; одного из авторов следует указать в качестве ответственного за переписку;

– индекс УДК. Помещают в начале статьи на отдельной строке слева;

– заглавие статьи;

– аннотация / Abstract. Объем ограничен 250 словами, использование ссылок и аббревиатур не допускается;

– ключевые слова / Keywords. У статьи может быть от 3 до 15 ключевых слов. Термины-словосочетания считаются одним ключевым словом.

5. В конце статьи размещается список источников / References на русском и английском языках. Список источников и ссылки на них оформляют по ГОСТ Р 7.0.5-2008. Библиографические записи в перечне нумеруют и располагают в порядке цитирования источников в тексте статьи. References оформляют согласно стилю Vancouver (файл «Основные правила оформления References в стиле Vancouver» расположен на сайте: <https://fs.guar.ru/inps/vancouver.pdf>).

### Краткие технические требования к оформлению статьи

Объем статьи (текст, таблицы, иллюстрации и список источников) не должен превышать 22–23 страниц машинописного текста формата А4, набранных на одной стороне через 1,5 интервала Word шрифтом Times New Roman размером 14, поля не менее 2 см.

Простые **формулы** следует набирать в Word, сложные – с помощью редактора MathType или Equation. В десятичных дробях ставятся запятые. Для набора одной формулы не используйте два редактора одновременно. При наборе формул в формульном редакторе знаки препинания, ограничивающие формулу, набирайте вместе с формулой. Номер формулы (если он есть) набирается в тексте справа от формулы в скобках, не в формульном редакторе, не в таблице. Нумеруются те формулы, на которые в тексте имеются ссылки. При нумерации формул рекомендуется пользоваться десятичной системой.

При наборе формулы используйте только настройки по умолчанию; никогда не пользуйтесь вкладкой Size, не подгоняйте размер символов в формулах под размер шрифта в тексте статьи, не растягивайте и не сжимайте мышью формулы, вставленные в текст; пробелы в формуле ставьте только после запятой при перечислении с помощью Ctrl+Shift+Space (пробел); не отделяйте пробелами знаки: + = – ×, а также пространство внутри скобок; для выделения греческих символов в MathType полужирным начертанием используйте Style → Other → bold.

Для набора формул в Word никогда не используйте вкладки: «Уравнение», «Конструктор», «Формула» (на верхней панели: «Вставка» – «Уравнение»), так как этот ресурс предназначен только для внутреннего использования в Word и не поддерживается программами, предназначенными для изготовления оригинал-макета журнала.

При наборе символов в тексте помните, что латинские набираются светлым курсивом, русские и греческие – светлым прямым, векторы и матрицы – прямым полужирным шрифтом.

#### Иллюстрации:

– рисунки, графики, диаграммы, блок-схемы предоставляйте в виде отдельных исходных файлов, поддающихся редактированию, они должны быть выполнены в векторных программах: Visio (\*.vsd, \*.vsdx); Adobe Illustrator (\*.ai); Coreldraw (\*.cdr, версия не выше 15); Excel (\*.xls); Word (\*.docx); AutoCad, Matlab (экспорт в PDF, EPS, SVG, WMF, EMF); Компас (экспорт в PDF), веб-портал DRAW.IO (экспорт в PDF); Inkscape (экспорт в PDF);

– фотографии и скриншоты – в формате \*.tif, \*.png с максимальным разрешением (не менее 300 pixels/inch).

Графические материалы (рисунки, схемы, иллюстрации) должны иметь последовательные порядковые номера, подписанные на русском и английском языках (Рис. 1 / Fig. 1), обязательные ссылки в тексте. Условные обозначения, приведенные на рисунках, необходимо пояснять в основном тексте статьи или подрисуночной подписи.

**Таблицы** должны иметь последовательные порядковые номера, названия на русском и английском языках (Таблица 1 / Table 1), ссылки в тексте. Для всех показателей в таблице необходимо указать единицы измерений по СИ, ГОСТ 8.417-2002.

Полный перечень технических требований расположен на сайте: [https://fs.guar.ru/inps/tech\\_tr.pdf](https://fs.guar.ru/inps/tech_tr.pdf).

### Рукописи, не соответствующие указанным требованиям, не рассматриваются

**Автор несет полную ответственность за точность и достоверность данных, приведенных в рукописи статьи, присылаемой в редакцию журнала**