

## НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЗЕМЛИ

### HIGH TECHNOLOGIES IN EARTH SPACE RESEARCH

Журнал **H&ES Research** издается с 2009 года, освещает достижения и проблемы российских инфокоммуникаций, внедрение последних достижений отрасли в автоматизированных системах управления, развитие технологий в информационной безопасности, исследования космоса, развитие спутникового телевидения и навигации, исследование Арктики. Особое место в издании уделено результатам научных исследований молодых ученых в области создания новых средств и технологий космических исследований Земли.

**Журнал H&ES Research входит в перечень изданий, публикации в которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ), в систему российского индекса научного цитирования (РИНЦ), а также включен в Международный классификатор периодических изданий.**

Тематика публикуемых статей в соответствии с перечнем групп специальностей научных работников по Номенклатуре специальностей:

- 2.2.15 Системы, сети и устройства телекоммуникаций (техн. науки)
- 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации (техн. науки)
- 2.3.5 Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей (техн. науки)
- 2.3.6 Методы и системы защиты информации, информационная безопасность (техн. науки)
- 2.5.13 Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов (техн. науки)
- 2.5.16 Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (техн. науки)

#### ИНДЕКСИРОВАНИЕ ЖУРНАЛА H&ES RESEARCH

- NEICON • CyberLenika (Open Science) • Google Scholar • OCLC WorldCat • Ulrich's Periodicals Directory • Bielefeld Academic Search Engine (BASE) • eLIBRARY.RU • Registry of Open Access Repositories (ROAR)

Все номера журнала находятся в свободном доступе на сайте журнала [www.hes.ru](http://www.hes.ru) и библиотеке [elibrary.ru](http://elibrary.ru).

Всем авторам, желающим разместить научную статью в журнале, необходимо оформить ее согласно требованиям и направить материалы на электронную почту: [HT-ESResearch@yandex.ru](mailto:HT-ESResearch@yandex.ru).

С требованиями можно ознакомиться на сайте: [www.H-ES.ru](http://www.H-ES.ru).

Язык публикаций: русский, английский.

Периодичность выхода – 6 номеров в год.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77-86203 от 27.10.2023

Территория распространения: Российская Федерация, зарубежные страны

Тираж 1000 экз. Цена 1000 руб.

Плата с аспирантов за публикацию рукописи не взимается.

© ООО “ИД Медиа Паблишер”, 2023

**H&ES Research** is published since 2009. The journal covers achievements and problems of the Russian infocommunication, introduction of the last achievements of branch in automated control systems, development of technologies in information security, space researches, development of satellite television and navigation, research of the Arctic. The special place in the edition is given to results of scientific researches of young scientists in the field of creation of new means and technologies of space researches of Earth.

**The journal H&ES Research is included in the list of scientific publications, recommended Higher Attestation Commission Russian Ministry of Education for the publication of scientific works, which reflect the basic scientific content of candidate and doctoral theses. IF of the Russian Science Citation Index.**

Subject of published articles according to the list of branches of science and groups of scientific specialties in accordance with the specialties:

- 2.2.15 Telecommunication systems, networks and devices
- 2.3.1 System analysis, management and information processing
- 2.3.5 Mathematical and software support for computing systems, complexes and computer networks
- 2.3.6 Methods and systems of information security
- 2.5.13 Design, construction and production of aircraft
- 2.5.16 Dynamics, ballistics, aircraft motion control

#### JOURNAL H&ES RESEARCH INDEXING

All issues of the journal are in a free access on a site of the journal [www.hes.ru](http://www.hes.ru) and [elibrary.ru](http://elibrary.ru).

All authors wishing to post a scientific article in the journal, you must register it according to the requirements and send the materials to your email: [HT-ESResearch@yandex.ru](mailto:HT-ESResearch@yandex.ru).

The requirements are available on the website: [www.H-ES.ru](http://www.H-ES.ru).

Language of publications: Russian, English.

Periodicity – 6 issues per year.

Media Registration Certificate PI No. FS 77-86203 Date of issue: 27.10.2023

Distribution Territory: Russian Federation, foreign countries

Circulation of 1000 copies. Price of 1000 Rub.

Postgraduate students for publication of the manuscript will not be charged

© “Media Publisher”, LLC, 2023

**Учредитель:**

ООО "ИД Медиа Паблишер"

**Издатель:**

ДЫМКОВА С.С.

**Главный редактор:**

ЛЕГКОВ К.Е.

**Редакционная коллегия:**

**БОБРОВСКИЙ В.И.**, д.т.н., доцент;

**БОРИСОВ В.В.**, д.т.н., профессор,  
Действительный член академии военных наук РФ;

**БУДКО П.А.**, д.т.н., профессор;

**БУДНИКОВ С.А.**, д.т.н., доцент,

Действительный член Академии информатизации образования;

**ВЕРХОВА Г.В.**, д.т.н., профессор;

**ГОНЧАРЕВСКИЙ В.С.**, д.т.н.,

профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ;

**КОМАШИНСКИЙ В.И.**, д.т.н., профессор;

**КИРПАНЕВ А.В.**, д.т.н., доцент;

**КУРНОСОВ В.И.**, д.т.н., профессор,

академик Международной академии информатизации, Действительный член Российской академии естественных наук;

**МОРОЗОВ А.В.**, д.т.н., профессор,

Действительный член Академии военных наук РФ;

**МОШАК Н.Н.**, д.т.н., доцент;

**ПАВЛОВ А.Н.**, д.т.н., профессор;

**ПРОРОК В.Я.**, д.т.н., профессор;

**СЕМЕНОВ С.С.**, д.т.н., доцент;

**СИНИЦЫН Е.А.**, д.т.н., профессор;

**ШАТРАКОВ Ю.Г.**, д.т.н., профессор,

заслуженный деятель науки РФ.

**Адрес издателя:**

111024, Россия, Москва,  
ул. Авиамоторная, д. 8, корп. 1, офис 323.

**Адрес редакции:**

194044, Россия, Санкт-Петербург,  
Лесной Проспект, 34-36, к. 1,  
Тел.: +7(911) 194-12-42.

**Адрес типографии:**

Россия, Москва, ул. Складочная, д. 3,  
кор. 6.

Мнения авторов не всегда совпадают с точкой зрения редакции.

За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет.

Материалы, опубликованные в журнале – собственность ООО "ИД Медиа Паблишер".

Перепечатка, цитирование, дублирование на сайтах допускаются только с разрешения издателя.

# СОДЕРЖАНИЕ

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

**Толстых В.Н.**

Нейронные сети для экстраполяции временных рядов

4

**Док Цихон Гордон Франц Эмануэль, Шахомиров А.В.**

О подходе к определению ориентации примитивов в однородных координатах

12

**Звездинский С.С., Нижник И.К.**

Идентификация лиц людей при мешающих факторах с использованием искусственных нейронных сетей

19

**Искандеров Ю.М., Шахнов С.Ф.,**

**Буцанец А.А., Чумак А.С.**

Влияние концепции промышленного интернета вещей на развитие цепей поставок

26

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

**Степанова И.В., Патенченкова Е.К.**

Особенности построения систем широкополосного мобильного доступа технологии WI-FI

34

**Буряков В.М.**

Виртуальные базовые станции сотовой связи в контексте информационной безопасности России

43

**Шахнов С.Ф., Смоленцев С.В.,**

**Буцанец А.А., Иванова А.А.**

Концепция построения подсистемы телекоммуникации системы управления движением пассажирских судов в крупных туристических центрах России

52



# CONTENTS

## INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL

### **Tolstykh V.N.**

Neural networks for a time series extrapolation

4

### **Gordon Cichon, Shakhomirov A.V.**

On the approach to orientation detection of primitives  
in homogeneous coordinates

12

### **Zwierzynski S.S., Nizhnik I.K.**

People interfering factors faces identification  
using artificial neural networks

19

### **Iskanderov Y.M., Shakhnov S.F.,**

### **Butsanets A.A., Chumak A.S.**

The impact of the Industrial Internet of Things  
concept on the development of supply chains

26

## RF TECHNOLOGY AND COMMUNICATION

### **Stepanova I.V., Patenchenkova E.K.**

Features of building broadband mobile access systems  
with Wi-Fi technology

34

### **Buryakov V.M.**

Virtual Base Stations within a context of Russian  
information security

43

### **Shakhnov S.F., Smolentsev S.V.,**

### **Butsanets A.A., Ivanova A.A.**

The concept of building a telecommunication subsystem  
of passenger vessel tracking management system  
in major tourist centers of Russia

52

#### **Founder:**

"Media Publisher", LLC

#### **Publisher:**

DYMKOVA S.S.

#### **Editor in chief:**

LEGKOV K.E.

#### **Editorial board:**

**BOBROWSKY V.I.**, PhD, Docent;  
**BORISOV V.V.**, PhD, Full Professor;  
**BUDKO P.A.**, PhD, Full Professor;  
**BUDNIKOV S.A.**, PhD, Docent,  
Actual Member of the Academy of  
Education Informatization;  
**VERHOVA G.V.**, PhD, Full Professor;  
**GONCHAREVSKY V.S.**, PhD, Full  
Professor, Honored Worker of Science  
and Technology of the Russian Federation;  
**KOMASHINSKIY V.I.**, PhD, Full Professor;  
**KIRPANEV A.V.**, PhD, Docent;  
**KURNOSOV V.I.**, PhD, Full Professor,  
Academician of the International Academy  
of Informatization, law and order, Member  
of the Academy of Natural Sciences;  
**MOROZOV A.V.**, PhD, Full Professor,  
Actual Member of the Academy of Military  
Sciences;  
**MOSHAK N.N.**, PhD, Docent;  
**PAVLOV A.N.**, PhD, Full Professor;  
**PROROK V.Y.**, PhD, Full Professor;  
**SEMEV S.S.**, PhD, Docent;  
**SINICYN E.A.**, PhD, Full Professor;  
**SHATRAKOV Y.G.**, PhD, Full Professor;  
Honored Worker of Science of the Russian  
Federation.

#### **Address of publisher:**

111024, Russia, Moscow,  
st. Aviamotornaya, 8, bild. 1, office 323

#### **Address of edition:**

194044, Russia, St. Petersburg,  
Lesnoy av., 34-36, h.1,  
Phone: +7 (911) 194-12-42.

#### **Address of printing house:**

Russia, Moscow, st. Skladochnaya, 3, h. 6

The opinions of the authors don't always  
coincide with the point of view of the pub-  
lisher. For the content of ads, the editorial  
Board is not responsible. All articles and  
illustrations are copyright. All rights  
reserved. No reproduction is permitted in  
whole or part without the express consent of  
Media Publisher Joint-Stock company.

doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-6-4-11

# НЕЙРОННЫЕ СЕТИ ДЛЯ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

**ТОЛСТЫХ**

**Виктор Николаевич<sup>1</sup>**

## АННОТАЦИЯ

Предлагается использование новых типов нейронов для решения задачи прогнозирования временных рядов. Рассматриваются существующие методы решения – искусственные нейронные сети и их аналоги, базирующиеся на идее группирования аргументов. Отмечены их достоинства и недостатки. Показано, что искусственные нейронные сети позволяют делать прогнозы, но без экстраполяции – с ней нейронные сети справляются плохо. Показано, что метод группирования аргументов более приспособлен для задач экстраполяции, хотя, и к нему есть вопросы. **Цель исследования:** Определение возможности изменения архитектуры искусственных нейронных сетей, чтобы адаптировать их для задач прогноза. **Методы:** Исследуются способы соединения перечисленных решений детерминистских и пошаговой оптимизации для создания нейросетей следующего поколения. **Результаты:** Приведены расчетные графики, демонстрирующие, что качество экстраполяции у алгебраических функций выше, чем у нейросетей, но у них тоже есть слабые места. Также показано, что в нейросетях можно использовать нейроны на рациональных функциях вместо сверточных нейронов, которые, сохраняя общую структуру нейросети, придают ей возможность экстраполировать поведение временного ряда. **Практическая значимость:** Решения задачи экстраполяции временных рядов имеет большое практическое значение для задач прогноза, который касается буквально всех сфер нашей жизни: от финансовых рынков до беспилотного управления летательными аппаратами – везде, где нужно принимать решение с упреждением. Обсуждаются перспективы использования нейросетей нового типа для создания механизмов с искусственным интеллектом, способным прогнозировать свои действия, в том числе за пределами земной атмосферы.

## Сведения об авторе:

<sup>1</sup> к.т.н., доцент кафедры  
инфокоммуникационных технологий и связи  
Государственного университета  
аэрокосмического приборостроения,  
Санкт-Петербург, Россия

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *нейронные сети, групповой учет аргументов, рациональные функции, прогноз временных рядов, плотные подмножества.*

---

**Для цитирования:** Толстых В.Н. Нейронные сети для экстраполяции временных рядов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2023. Т. 15. № 6. С. 4-11. doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-6-4-11

## Введение

Технологии искусственных нейронных сетей<sup>1</sup> (ИНС или нейросетей), как главной составляющей искусственного интеллекта, активно развиваются и, несомненно, являются одним из двигателей прогресса. Причем, основное развитие идет в направлении кластеризации, классификации объектов и распознавания образов. Задачи аппроксимации и тем более экстраполяции [1] пользуются существенно меньшей популярностью. Более полувека нейронные сети, как новое направление так называемых коннекционистских<sup>2</sup> (иначе коннективистских) методов, в отличие от привычных детерминистических, были скорее экзотикой, чем полезным инструментом. Но, потом произошла революция в развитии компьютерной техники, стимулированной потребностями игровой и медиа индустрии.

Компьютеры стали мощнее, появились видеокарты высокой производительности, которые позволили производить не только быстрый параллельный расчет шейдеров для трехмерных объектов в компьютерных играх, но и выполнять другие задачи, в том числе научные и коммерческие (в областях астрофизики, динамики жидкостей, молекулярной динамики, биоинформатики, томографии, майнинга биткоинов и др.), работающие на принципе распараллеливания вычислений. Структура многоуровневых нейронных сетей с их тензорной организацией данных, ориентированных на параллельные вычисления, идеально вписалась в новые возможности. Появление примерно в то же время алгоритма глубокого обучения<sup>3</sup> (deep machine learning) с обратным распространением ошибки (error backpropagation algorithm) позволило производить эффективное обучение многоуровневых нейронных сетей. Область применения ИНС постоянно расширяется, вплоть до искусственной имитации искусственного интеллекта с возможностью прохождения теста Тьюринга «человек-машина»<sup>4</sup>.

Современные ИНС используют многопараметрические модели, включающие десятки миллионов параметров и они эффективно решают задачи кластеризации и классификации, проводя многомерную оптимизацию параметров в координатных пространствах размерностью в многие миллионы. При этом, для задач регрессии или, что то же самое, задач аппроксимации, нейросети не очень подходят. И тем более, их успехи не замечены в области экстраполяции данных. В отдельных случаях всё ещё надежнее использовать метод Гаусса решения переопределенных систем уравнений, который известен по учебникам как метод наименьших квадратов.

«Ахиллесовой пятой» ИНС является их долгое обучение, затем дообучение, а также переобучение. Пока что выход

находят в предварительном обучении нейронных сетей на огромном количестве образцов, которые регулярно проводят крупные высокотехнологичные компании, такие как Google, Microsoft и др. В том числе и через соревнование дата-сайентистов на регулярно организуемом корпорацией Google конкурсе Кэглл «Kaggle Competitions». Предварительно обученная нейросеть – это массив из огромного числа весовых коэффициентов, компонентов начального вектора спуска для локальной сети, ориентированной на «местные условия». Такая нейросеть обучается на представительном наборе из примерно 1000 изображений в течение долгого времени на сверхмощных компьютерах. После чего она может «дообучаться применению к местным условиям» уже на менее мощных компьютерах за меньшее время. Но, и при таких «тепличных» условиях обучение занимает часы. То есть, долго, что во многих случаях крайне неудобно. Особенно если речь идет об изолированных компьютеризированных устройствах, не имеющих доступа к большим компьютерам или не имеющих возможности совершать дообучение на месте.

Мы не можем всегда и во всё полагаться на поддержку крупных зарубежных компаний, особенно если речь идет о космосе, спутниках и тем более других планетах, куда огромным компьютерам доступа нет – нужны другие, более компактные решения.

## Метод Гаусса и пошаговая оптимизация

Формально, метод Гаусса предназначен для решения задачи интерполяции в условиях, когда число точек в данных превосходит число параметров (обычно для алгебраического многочлена), что приводит к переопределенной системе линейных уравнений относительно неизвестных параметров. В таком случае, интерполяция переходит в аппроксимацию, то есть в приближенное решение. Из практики известно, что метод Гаусса хорошо подходит для задач аппроксимации многочленами младших степеней на ограниченном интервале  $I$  (в том числе многомерном  $I^m$ ) данных — не больше третьей степени. Для задач с высокой степенью изменчивости данных на большом интервале применяют различные алгоритмы локальной аппроксимации с последующей их «склежкой» функциями вида  $g \cdot (1 - g)$ , где  $g$  – обычно дважды дифференцируемая функция, гладко спадающая на отрезке от единицы до нуля. Примером такой функции может быть  $g(t) = \cos^2(t \cdot \pi/2)$  или обратная «сигмоида»  $g(t) = 1 - 1/(1 + \exp(-t))$ . Среди алгоритмов с более сложной организацией искусственных нейронных наиболее перспективным можно назвать почти забытый<sup>5</sup> метод группового учета аргументов (МГУА) [2, 3],

<sup>1</sup> Искусственная нейронная сеть – это сложная дифференцируемая функция, задающая отображение из исходного признакового пространства в пространство ответов, все параметры которой могут настраиваться одновременно и взаимосвязанно

<sup>2</sup> В когнитивистике коннекционизм – это подход к изучению познавательных процессов, основывающийся на предположении о том, что система (такая как мозг) оперирует так, как будто она состоит из сети узлов, каждый из которых в определенный момент времени имеет определенный уровень активации

<sup>3</sup> Алгоритм глубокого обучения – это совокупность методов машинного обучения (с учителем, с частичным привлечением учителя, без учителя, с подкреплением), основанных на обучении представлениям, а не специализированных алгоритмах под конкретные задачи

<sup>4</sup> Тест, предложенный Тьюрингом, – это мысленный эксперимент, заключающийся в том, что некий собеседник-исследователь, взаимодействуя либо с машиной, претендующей на обладание искусственным интеллектом, либо с человеком, должен определить, с кем из них он взаимодействует. Согласно гипотезе Тьюринга, машина, которую собеседник-исследователь не сможет отличить от человека, обладает искусственным интеллектом.

<sup>5</sup> В последние годы в научных публикациях наблюдается возобновление интереса к этому методу, в основном, как к альтернативе нейросетям или параллельному методу коннекционизма.

разработанный в нашей стране ещё в далекие семидесятые годы<sup>6</sup>. Метод изначально предназначался для многомерной аппроксимации частными моделями – многочленами, с группированием их значений в новые аргументы. Которые, в свою очередь, подавались на вход моделям следующего ряда (так в [3]) и так далее. Этот подход очень похож на многослойные нейронные сети со встроенным алгоритмом дифференцирования суперпозиции функций<sup>7</sup>.

В многомерном случае используются матрицы Якоби. Производной от суперпозиции матриц будет их произведение [4], как способом подбора или обучения коэффициентов моделей нейросети в обратном порядке от ряда к ряду – то есть, «back propagation» [5]. С тех пор метод много раз изменялся как самим автором, так и его последователями [6, 7]. Его наследием является ставшее традиционным для нейронных сетей разбиение всего множества данных  $X$  на обучающую  $X_L$  и проверочную  $X_T$  выборки. За счет чего устраняется эффект «переобучения», когда модель работает на одних данных и не работает на других. Также еще в 1971-м году был применен метод обучения восьмизначной (аналог восьмислойной) нейросети МГУА методом, позднее получившим название метода «глубокого обучения». В 2006 году этот метод был переизобретен (впервые применен на конкурсе Kaggle<sup>8</sup>) и использован для обучения ИНС. С тех пор в технологии нейросетей этот метод доминирует<sup>9</sup>.

В отличие от нейронных сетей, изначально, МГУА разрабатывался для аппроксимации (аналитического моделирования) временных процессов (все переменные в модели изначально параметризованы переменной времени  $t$ ), в основном, с целью экстраполяции, то есть прогноза поведения динамической многопараметрической системы без накопления опыта. Известно, что многочлены высоких степеней для экстраполяции подходят не лучшим образом. Поэтому, в методе генерируются частные модели полного многочлена (Колмогорова-Габора [7]) (см. 3), на отдельных участках-интервалах с переменными  $x_i = x_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, n$ . Многочлены выбираются младших степеней, не выше третьей.

Частные модели строятся методом Гаусса на обучающих выборках и проверяются на проверочных. Из прошедших проверку моделей строятся узлы полиномиальной модели  $x_1 = f_1(x)$  первого уровня. Далее значения (вектора)  $x_1$  становятся новыми переменными для модели  $x_2 = f_2(x_1)$  следующего ряда. Процесс группирования данных заканчивается тогда, когда модель начинает работать должным образом. Метод показал свою работоспособность, но отсутствие должной поддержки, как организационной, так и финансовой, не позволило ему развиваться до уровня технологии сравнимого с современными ИНС [8].

### Плотные семейства функций

Следующий вопрос связан с выбором аппроксимирующего семейства: насколько мы ограничены использованием

многочленов? Если рассматривать множество непрерывных функций  $C^n$  на  $n$ -мерном кубе как топологическое пространство с базой, индуцированной выбранной метрикой, то можно определить всюду плотность<sup>10</sup> для различных семейств многопараметрических функций, включая многочлены, ряды Фурье и, в том числе, искусственные нейронные сети. Развитие компьютерной техники отодвинуло на задний план аналитические методы, выдвинув вперед методы пошаговой оптимизации выбранной многопараметрической модели, имитирующей нейронные связи мозга. Вместе с тем, ничто не мешает функцию нейрона сделать изначально нелинейной: линейность нейронной модели – это не более чем дань традиции в моделировании естественного нейрона, с которого всё началось [9].

Как может выглядеть более совершенная модель искусственного нейрона в будущем? Сейчас формальная модель трехслойного перцептрона выглядит следующим образом:

$$f(w, x) = \sum_{i=1}^M \sigma \left( \sum_{j=0}^m (w_j x_j + b)_i \right). \quad (1)$$

Здесь  $x$  –  $m$ -мерный вектор аргумента,  $w$  –  $m$ -мерный вектор весовых параметров  $i$ -го нейрона скрытого слоя,  $b$  – коэффициент смещения,  $m$  – размерность пространства (тензорного пространства в терминологии нейросетей),  $M$  – число нейронов на скрытом слое,  $\sigma$  – активаторная или активационная функция, которая может быть разных видов. Наиболее часто используют два вида этих функций –  $s$ -образная «сигмоида» для сверточных нейросетей

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$

и кусочно-линейная ReLu для полносвязных нейросетей.

$$\sigma(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ x, & x > 0 \end{cases}$$

Аргумент активатора «сигма» (2) является линейной частью полного многочлена от  $m$  переменных. Полный многочлен степени  $n$  может выполнять ту же функцию, но без привлечения активационной функции. Его формальная запись такая

$$p(x_1, \dots, x_n) = \sum_I c_I x_1^{i_1} x_2^{i_2} \dots x_n^{i_n}, \quad (3)$$

где  $I = (i_1, i_2, \dots, i_n)$  – мультииндекс, а  $c_I$  – коэффициенты многочлена, зависящие от мультииндекса. Ввиду того, что все коэффициенты многочлена имеют линейное вхождение, градиент такой модели, необходимый для корректировки весов, быстро вычисляется. Аппроксимирующие свойства полиномиальной модели хорошо изучены – у неё есть как достоинства, так и недостатки. Применение метода градиентного спуска также стало дальнейшим развитием метода группового учета аргументов, он пришел на смену методу

<sup>6</sup> Первый общий рабочий алгоритм для глубоких многослойных перцептронов был опубликован в книге советских учёных А. Г. Ивахненко и В. Г. Лапы «Кибернетические предсказывающие устройства» в 1965 г.

<sup>7</sup> Целное правило или правило дифференцирования сложной функции позволяет вычислить производную композиции двух и более функций на основе индивидуальных производных.

<sup>88</sup> Kaggle – система организации конкурсов по исследованию данных, а также социальная сеть специалистов по обработке данных и машинному обучению

<sup>9</sup> В настоящее время чаще используют разделение на обучающую, проверочную и тестовую наборы данных

<sup>10</sup> Пусть дано топологическое пространство  $X$  и два его подмножества  $A, B \subset X$ . Множество  $A$  называется плотным на множестве  $B$  если любая окрестность любой точки из  $B$  содержит хотя бы одну точку множества  $A$ . Множество  $A$  называется всюду плотным если оно плотно в  $X$ .

наименьших квадратов. А, поскольку градиенты не всегда можно легко вычислить (при использовании нетрадиционных нейронов), то и другие методы оптимизации по критерию ошибки также используются [9,10,11].

Всюду плотные семейства на  $C^n$  перечисленными тремя семействами не исчерпываются. Очевидное дополнение списка плотных семейств – это семейство рациональных функций  $F^{mn} = G^{mn}/H^{mn}$ <sup>11</sup>, где  $m$  – размерность векторного пространства аргумента, а  $n$  – степень многочленов  $G$  и  $H$ . То же самое можно сказать про семейство тригонометрических функций  $T^n$ . Оба семейства, очевидно, всюду плотны на  $C^n$ , поскольку они содержат в качестве подмножеств либо многочлены, либо ряды Фурье [12]. Проблема для перехода на эти семейства в задачах регрессии состоит в том, что они содержат нелинейное вхождение неопределенных коэффициентов. В первом случае это коэффициенты знаменателя ( $b_i$ ), во втором – период ( $T_i$ ) и смещение ( $\varphi_i$ ). Видимо, данное обстоятельство привело к тому, что эти семейства в задачах регрессии никак не используются: ни в методе наименьших квадратов, ни в методе градиентного спуска. Вместе с тем, для градиентного спуска таких семейств есть решение через оптимизацию с запаздывающим градиентом. Пусть

$$f(x) = g(x)/h(x) = (a_0 + a_1x + \dots)/(b_0 + b_1x + \dots).$$

Тогда градиент ищется в виде ковектора<sup>12</sup> длины  $2n$ :

$$\nabla f = \begin{bmatrix} f'_{a_0} \\ f'_{a_1} \\ \dots \\ f'_{b_0} \\ f'_{b_1} \\ \dots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/h \\ x/h \\ \dots \\ -g/h^2 \\ -xg/h^2 \\ \dots \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Градиент (4) рациональной функции имеет достаточно простой для вычисления вид. Главное отличие от модели с линейным вхождением коэффициентов в том, что в вычислении градиента на  $k$ -м шаге оптимизации участвуют коэффициенты из  $k-1$ -го шага. То есть, градиент корректирует коэффициенты  $a_k$  и  $b_k$  функции  $f$  с отставанием и это надо учитывать при составлении алгоритма программы. При небольшом шаге оптимизации не имеет принципиального значения, используем ли мы для вычисления градиента значения коэффициентов на этом или на предыдущем шаге. Второе отличие заключается в том, что случайный выбор начальной точки спуска для таких моделей не является лучшим выбором.

Большой плюс в использовании рациональных функций для задач регрессии заключается в том, что их поведение за границами интервала обучения контролируемо, независимо от общего количества коэффициентов в числителе и знаменателе. Второй плюс модели в виде рациональной функции состоит в том, что при заданной степени многочленов, число

коэффициентов удваивается, что делает модель более изменчивой. То есть, рациональная функция степени  $n$  аппроксимирует на отрезке не хуже (по экспериментальному опыту, всегда лучше), чем многочлен в два раза большей степени  $2n$ . И третий несомненный плюс в том, что её экстраполяционные, то есть прогнозные, свойства несравненно лучше, чем у многочленов.

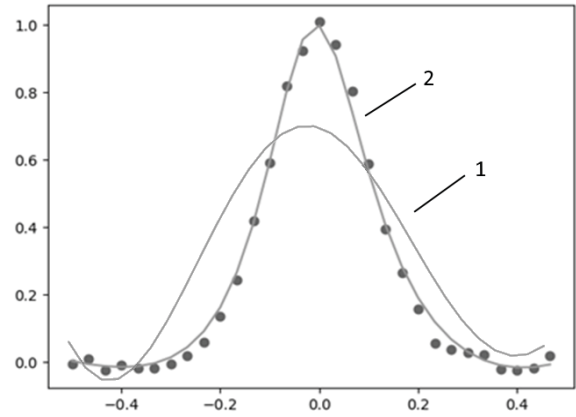


Рис. 1. Сравнение результатов аппроксимации данных многочленом (1) и рациональной функцией (2)

Обучение моделей для рис.1 проходило в равных условиях с использованием многочлена и рациональной функции разной степени, но с равным числом параметров за равное число итераций. Преимущество последней модели очевидно. Помимо полиномов и рациональных функций, существуют и другие плотные на интервале (в том числе многомерном) семейства, исследование свойств которых ещё впереди.

Вместе с тем, эксперимент показал, что для частных случаев можно пользоваться плотными подмножествами не на всем множестве непрерывных функций  $C$ , а на его представительном подмножестве  $B \subset C$  [13]. К примеру, если известно, что числовая зависимость, такая как на рисунке 1, то есть гауссоида<sup>13</sup> с неизвестными параметрами, то можно искать модель среди семейства гауссоид  $G$  с нелинейным вхождением параметров  $G(a, t) = a_0 \exp(-(t + a_1)^2 / a_2)$  тем же способом каким моделировалась гауссоида на рисунке. В статье [14] приведен пример «подгонки» функциональной модели с нелинейными параметрами для аппроксимации данных резонатора Фабри-Перо<sup>14</sup>. Рациональные функции, как плотное подмножество алгебраических функций, хорошо аппроксимируют не только в одномерном, но и в многомерном случае с многими переменными. Вопрос о многомерной аппроксимации другими семействами в рамках данной работы не рассматривается.

### Вопрос о построении частных моделей

Применяемый в методе группового учета аргументов алгоритм генерации частных многочленов нельзя назвать

<sup>11</sup> Рациональная или дробно-рациональная функция – это дробь, в числителе и знаменателе которой находятся многочлены.

<sup>12</sup> Векторы и ковекторы различают по тому, какое из представлений для них естественно. Так, для ковекторов – например, для градиента – естественно разложение по дуальному базису, так как их естественная свёртка с обычным вектором осуществляется без участия метрики

<sup>13</sup> Гауссоида – неформальное название кривой плотности нормального распределения Гаусса, имеющей куполообразную форму как на рисунке. Традиционный объект при моделировании

<sup>14</sup> Резонатор Фабри-Перо состоит из двух соосных параллельных зеркал, между которыми образуется стоячая оптическая волна.

совершенным – он не перебирает все возможные модели и более того, не организует направленный поиск лучших моделей [3, 4]. Вместо этого он организует автоматический перебор большого количества частных моделей, большая часть которых отбрасывается в процессе обучения (на самом деле, вместо пошагового обучения используется метод наименьших квадратов). При этом, на их проверку тратится значительное время. С другой стороны, саму идею уменьшения числа параметров стоит отметить, как перспективную. Даже при обучении нейронных сетей можно заметить, что далеко не все весовые коэффициенты участвуют в обучении – значения некоторых практически не изменяются. Это не значит, что их надо игнорировать, поскольку в противном случае модель становится неплотной и может один раз сработать, а в дальнейшем выдавать неверные результаты. Более перспективным выглядит направленный поиск частных моделей с редукцией числа параметров. Приведем простой пример: пусть известно (по результатам предыдущих шагов генерации с увеличением степени многочлена), что модель проходит (или близко проходит) через точку  $(x_0, y_0)$ . Аппроксимация (для простоты) функцией второй степени  $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$  потребует определения трёх параметров  $a_0, a_1, a_2$ . Ставим условие прохода через точку  $y_0 = a_0 + a_1x_0 + a_2x_0^2$  и получаем уравнение  $y = y_0 + a_1(x - x_0) + a_2(x^2 - x_0^2)$  относительно параметров. Их число сократилось до двух –  $a_1, a_2$ . И оба они входят в модель линейно. Обобщая этот подход, можно сказать, что фиксация  $k$  точек уменьшает число неопределённых параметров на  $k$ . Это же относится и к многомерным зависимостям. Из этого следует, что можно построить эффективный алгоритм быстрого направленного поиска частных моделей, без ухудшения аппроксимирующих свойств и без генерации лишних моделей.

Другой метод построения частных моделей состоит в редукции числа переменных на многомерном интервале  $I^n$ . Переменные эти, как правило, не равноценные и образуют не реальное евклидово пространство с евклидовой метрикой, а скорее «координатное» пространство, наделенное неизотропностью, прямо зависящей от координатных осей. Из этого следует, что локально искомая функция реально зависит от небольшого числа переменных, оставляя остальные примерно константами – частные производные по этим координатам равны нулю и матрица Якоби<sup>15</sup> в общем случае будет разреженной, что может привести к проблемам с плохой обусловленностью<sup>16</sup>. Поэтому поиск зависимостей следует начинать с «прогулок» вдоль всех осей. Если вдоль какой-то оси изменения нет или изменения незначительные, то из полного полинома (3) эта переменная убирается – так можно перейти к маломерным моделям.

### Что могут несвёрточные нейроны

Поскольку задачи у ИНС и МГУА были изначально разные, возможность ИНС решать задачи регрессии и тем более задачи временного прогноза, не является их сильной стороной.

<sup>15</sup> Матрица Якоби – матрица всех частных производных функции многих переменных

<sup>16</sup> Плохо обусловленная система линейных алгебраических уравнений – это система, малое изменение исходных данных которой приводит к большому изменению решения.

Формально говоря, нейросети также могут прогнозировать, но это вариант распознавания событий или вариантов поведения по образцам из прошлого, как в техническом анализе [15, 16]. То есть, это не экстраполяция с точки зрения математики. Посмотрим, что получится, если заставить простую нейронную сеть аппроксимировать. Выглядеть эта сеть будет так:

$$f(a, x) = \sum_{k=1}^n (2 \cdot \sigma(a_{0k} + a_{1k}x) - 1). \quad (5)$$

Здесь  $a_0$  и  $a_1$  – пара коэффициентов, образующих линейную часть многочлена,  $n$  – количество этих пар, которое также является числом нейронов на скрытом слое нейросети. Удвоение сигмы (s-образная активационная функция) с вычитанием единицы нужно для растяжения её на интервал от минус единицы до единицы по оси ординат. В противном случае, нейросеть осуществляет регрессию очень долго и неаккуратно. Выглядит новая нейросеть (5) несколько необычно, но, в рамках концепции нейросетей: скрытый слой состоит из набора нейронов, каждый из которых содержит линейную зависимость под функцией активации. Коэффициент  $a_0$  в данном случае используется вместо коэффициента смещения  $b$  в формуле (1) и, большому счету, на результат какого-то значимого влияния не оказывает. Входной вектор состоит всего из одного элемента –  $x$ , что тоже необычно. Обучающий датасет<sup>17</sup> прежний. В данном случае, это набор из тридцати точек функции (или пары функций) плотности нормального распределения, сдвинутого по оси абсцисс. Такая сеть действительно хорошо и быстро интерполирует и аппроксимирует числовые зависимости. В этом она может создать конкуренцию рациональным функциям.

Нейронная сеть с достаточным количеством нейронов справляется с регрессией на интервале обучения, но так ли хорошо она справится с задачей экстраполяции временного ряда? То есть, за пределами интервала обучения. Разделим всю последовательность данных пополам на обучающую  $(-0.5 - 0)$  и прогнозную  $(0 - 0.5)$  выборки.

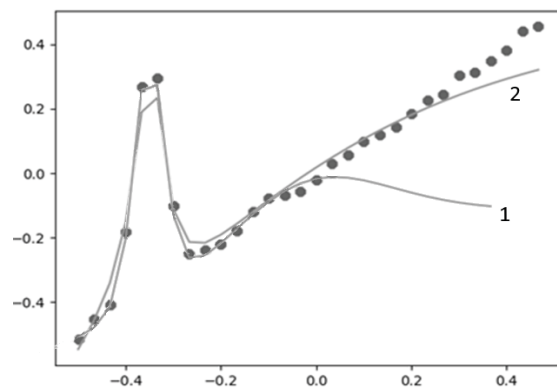


Рис. 2. Аппроксимация модели нейросетью (1) и рациональной функцией (2) с использованием для обучения только левой части датасета от -0.5 до 0

<sup>17</sup> Датасет – принятое в технологии название для последовательности данных, выборки.





Прогнозную выборку также можно считать проверочной выборкой, с той поправкой, что она находится вне полуинтервала обучения. Сравним её прогноз с прогнозом рациональной функции. На рисунке 2 частный, но типичный результат.

Рисунок 2 показывает, что с экстраполяцией нейронная сеть справляется не лучшим образом, в пределах 10%. В то время как рациональная функция с ней справляется намного лучше, хотя и медленнее.

### Нейросети с несвёрточными нейронами

В свете сказанного, вполне естественно построить нейросеть с нейронами, содержащими нелинейные функции вместо традиционной свертки под активационной функцией (или без неё) и посмотреть, что из этого получится.

$$f(a, x) = \sum_{k=1}^n \left( 2 \cdot \sigma \left( a_0 + a_1 x + a_2 x^2 \right)_k - 1 \right) \quad (6)$$

На рисунке 3 один характерный случай экстраполяции довольно простой числовой зависимости нейросетью вида (6). В данном случае, линейная часть многочлена заменена многочленом второй степени, то есть параболой.

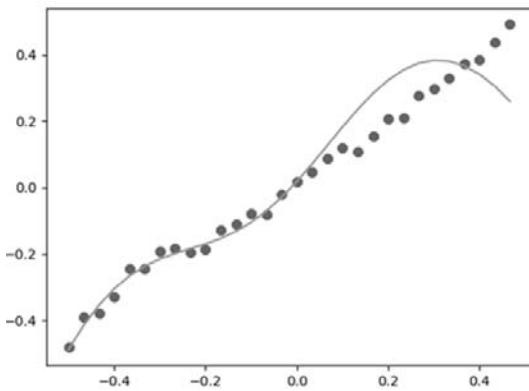


Рис. 3. Аппроксимация модели нейросетью с новыми нейронами на многочленах. Обучающая выборка на интервале от -0.5 до 0

Как и ожидалось, результат прогноза оказался по качеству немного лучше – примерно 20-30%. При этом, «хвост» экстраполяции непременно задирается вверх или вниз – такова неустраимая особенность регрессии с участием многочленов. Чем больше степень многочлена, тем этот эффект значительнее.

Для сравнения, результаты экстраполяции рациональными функциями на том же интервале обучения, показаны на рисунке 4. Поэтому их интереснее использовать вместо многочленов, как при самостоятельной экстраполяции, так и в составе нейросетей. Качество прогноза у рациональных функций принципиально выше – от 40% и далее.

Прежде чем строить нейронные сети с несвёрточными<sup>18</sup> нейронами на этих функциях, рассмотрим зачем они могут понадобиться, какие новые задачи они могут помочь решать, как могут выглядеть и нужны ли они вообще.

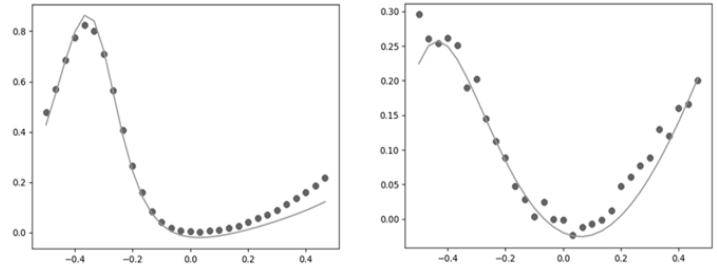


Рис. 4. Аппроксимация числовых последовательностей рациональной функцией. Обучающая выборка на интервале от -0.5 до 0

### Какие бывают задачи прогноза

Многим из нас жизненно необходимо знать прогноз поведения окружающей среды, включающей в себя много значимых факторов, зависящих от времени. Начиная от сезонного спроса на товары в магазинах или поведения биржевых курсов, до появления геомагнитных бурь или сдвигов земной коры. Есть процессы, характеризуемые сезонностью – они имеют циклический характер и для их моделирования целесообразно использовать периодические функции. Есть процессы, которые характеризуются волатильностью, то есть, плохо предсказуемой изменчивостью – для их прогноза в финансовых сферах разработан технический анализ [15,16], позволяющий делать краткосрочный прогноз, а трейдерам оперативно принимать решение. Есть также практически не предсказуемые процессы, происходящие редко, но при том резко изменяющие поведение в данных.

Для всех этих случаев подходят разные виды прогноза. И прогнозы нужны всегда. Даже для последнего очевидно непредсказуемого случая есть польза от прогноза: резкое расхождение с прогнозом говорит о том, что что-то произошло и надо обратить на это событие особое внимание. Это повод для сигнала «alarm». С прогнозом «по образцам» нейросети уже успешно справляются, но для прогноза без образцов по текущей изменчивости данных нужны нейроны нового типа, работающие на экстраполяции. При этом, стоит учитывать, что «правильный прогноз» – это не тот прогноз, который обязательно сбудется, а тот, при учете которого мы примем правильное решение.

Если ситуативный прогноз, которым пользуются нейронные сети, оперирует узнаванием уже известных ситуаций, то прогноз экстраполяционный позволяет предсказать как наступление уже известной ситуации, так и ситуации новой: то ли всё идет как положено, то ли впереди есть что-то новое, неизученное. Представим марсоход, который потерял связь с Землей, но продолжает действовать по плану. Это скорее философское, чем техническое, умозаключение позволяет нам с нашим человеческим опытом быть экспертами в том какая экстраполяция хороша и какая не очень. Особенно, если прогнозной выборки нам не предоставлено. Наш интуитивный прогноз – это тоже работа нейронов. Нейронов мозга. Тут нет каких-то строгих правил – мы буквально «чувствуем», что будет дальше. Интуиция, опыт.

<sup>18</sup> Несвёрточные нейроны – это те, которые содержат под активационной функцией нелинейную зависимость от переменных. Разделяют свёрточные и

полносвязные сети, которые отличаются активационной функцией, но под ней всё равно свертка ковектора весов с вектором аргумента.

### Перспективы развития направления

До сих пор мы разбирали поведение аппроксимирующих функций на коротких интервалах и нашли, что нейросети хороши для интерполяции и плохи для экстраполяции. Но, даже для аппроксимации на больших интервалах с большой изменчивостью в данных, алгебраические<sup>19</sup> функции, включающие многочлены и рациональные функции, малоприспособлены. Поэтому, использование нейросетей и, в целом, коннекционистских инструментов решения – лучшее, что у нас есть. При этом, добавление нейронов нового типа не меняют концепцию нейросетей, но могут привести в неё нечто новое.

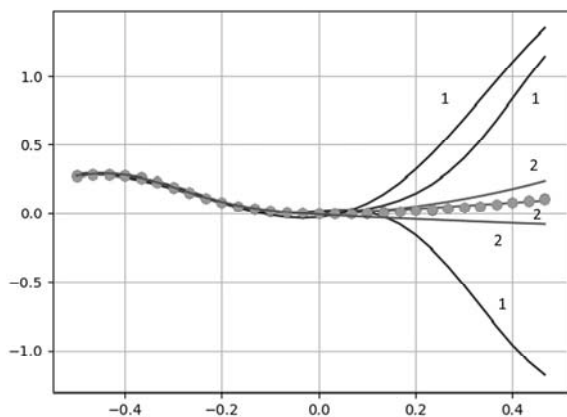


Рис. 5. Сравнение конвенциональной сети на свертках (1) и сети на рациональных функциях (2) четвертой степени по трем испытаниям

На рисунке 5 видно, что экстраполяция нейросети на новых нейронах (2) сгруппировалась вокруг прогнозной выборки, а в одном испытании даже прошла по ней. В то же время нейросеть на свертках (1) дала очень кроткий и ненадежный прогноз. Возможно использование и других нелинейных функций, потребность в которых может возникнуть. Человеческий мозг состоит не только из нейронов – он сложнее устроен. К тому же, самих нейронов насчитывается более полусотни разных типов, из которых 10-20 миллиардов в коре головного мозга и 55-70 миллиардов нейронов в мозжечке [17, 18]. Если продолжать идею коннекционизма, то искусственные нейроны тоже понадобится разнообразить, чтобы они могли решать более широкий круг задач.

### Заключение

Организация архитектуры нейросетей с нестандартными нейронами, основанными на нелинейных функциях – это направление будущих исследований. А также в перспективе создание более мощных и «умных» вычислительных систем, способных прогнозировать поведение окружающего мира – это как раз то, что свойственно практически всем живым существам нашей планеты.

Вычислительные эксперименты [13, 14] показали перспективность предлагаемых вариантов улучшения существующих методов как классификации и регрессии, так и экстраполяции, особенно на малоразмерных данных с высокой изменчивостью значений аргумента. Практическую ценность развития этого направления развития нейросетей покажет будущее.

### Литература

1. Alain Le Mehaute, Christophe Rabut, Larry L. Schumaker. Surface Fitting and Multiresolution Methods, 1997.
2. Ивахненко А.Г. Самообучающиеся системы распознавания и автоматического управления. К.: Техніка, 1969.
3. Ивахненко А.Г., Лана В.Г. Кибернетические предсказывающие устройства, 1965.
4. Вычисление матрицы Якоби нейронной сети на Python, <https://questu.ru/articles/396587/>, [дата обращения 11.04.2023]
5. Николенко С., Кадури А., Архангельская Е. Глубокое обучение. СПб. ПИТЕР, 2020.
6. Стрижов В.В., Крымова Е.А. Методы выбора регрессионных моделей. М.: ВЦ РАН, 2010. 60 с.
7. Галушкин А.И. Синтез многослойных систем распознавания образов. М.: Энергия, 1974.
8. Что такое нейронные сети, что они могут, и как написать нейронную сеть на Python? // <https://neural-university.ru/neural-networks-basics>, [дата обращения 11.04.2023].
9. Аттетков А.В., Галкин С.В., Зарубин В.С. Методы оптимизации. М.: Изд. МГТУ им. Баумана, 2001.
10. Hager W.W., Zhang H. A new conjugate gradient method with guaranteed descent and an efficient line search // SIAM Journal on Optimization, no. 16. 2005).
11. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование. М.: Финансы и статистика, Инфра-М, 2010.
12. Гатин, П.А. Семенова В.Н. Исследование циклических временных рядов с переменной циклическостью методом рядов Фурье // Вестник ДИТИ, 2018.
13. Victor Tolstykh, Irina Tolstykh. Generalization of Artificial Neuron // Proc. of the Int. Workshop "Soft Computing and the Measurements", 2000.
14. Толстых В.Н., Толстых И.В., Ульянова Н.С. Исследование методов аппроксимации с нелинейными параметрами // Proc. of the Int. Workshop "Soft Computing and the Measurements", 2002.
15. Майкл. Н. Кан. Технический анализ. «ПИТЕР», 2003.
16. Michael N. Kahn. Technical Analysis. Plain and Simple. 2006, 2009, 2010 editions.
17. фон Бартельд К.С., Бани Дж., Эркулано-Хоузел С. Поиск истинного количества нейронов и глиальных клеток в человеческом мозге: обзор 150-летнего подсчета клеток // Журнал сравнительной неврологии. 2016, no. 524 (18), pp. 3865-3895.
18. von Bartheld CS, Bahney J, Herculano-Houzel S. The Cellular Composition and Glia-Neuron Ratio in the Spinal Cord of a Human and a Nonhuman Primate: Comparison with Other Species and Brain Regions // The Anatomical Record Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology, no. 301(4). DOI:10.1002/ar.23728
19. Толстых В.Н. Перцептрон, нейронная сеть. Что дальше? ПАРАДИГМА, СПб, 2022.
20. Элис Джен, Аманда Казари. Машинное обучение. Конструирование признаков. БОМБОРА, 2022.
21. Стивен Скиена. Алгоритмы. Руководство по разработке. Springer, БХВ-Петербург.
22. Bernard Friedman. Principles and Technologies of Applied Mathematics. Dover Publications Inc., NY, 1990.
23. Mark Nixon, Alberto Aquado. Feature Extraction & Image Processing. Newnes, 2003.

<sup>19</sup> Алгебраические функции, помимо четырех арифметических операций, как в случае рациональных функций, или трёх как у многочленов, включают операции возведения в целую степень и извлечения целого корня.



## NEURAL NETWORKS FOR A TIME SERIES EXTRAPOLATION

**VIKTOR N. TOLSTYKH**  
 St. Petersburg, Russia

### ABSTRACT

**Introduction:** A new types of neurons to solve the problem of time series forecasting is proposed. The existing solutions are considered including artificial neural networks and their analogues, based on arguments grouping. It's shown that step-by-step optimization methods such as conventional neural networks make the forecasting possible, excluding mathematical extrapolation – neural networks don't fit for this. It's shown that the arguments grouping method is more suitable for the extrapolation problems. **The purpose:** Determine a possibility of new networks architecture in order to adapt them for forecasting. **Methods:** Ways of combining the listed solutions to create next-generation neural networks.

### REFERENCES

1. Alain Le Mehaute, Christophe Rabut, Larry L.Schumaker. Surface Fitting and Multiresolution Methods. 1997
2. A.G. Ivakhnenko. Self-learning recognition and automatic control systems. K.: "Technology", 1969.
3. A.G. Ivakhnenko, V. G. Lapa "Cybernetic predictive devices." 1965.
4. Calculation of the Jacobian matrix of a neural network in Python, <https://questu.ru/articles/396587/>, (access date 04/11/2023).
5. S. Nikolenko, A. Kadurin, E. Arkhangelskaya. Deep learning. St. Petersburg: Peter, 2020.
6. V.V. Strizhov, E.A. Krymova. Methods for selecting regression models. Moscow: Computer Center RAS, 2010. 60 p.
7. A.I. Galushkin. Synthesis of multilayer pattern recognition systems. Moscow: Energy, 1974.
8. What are neural networks, what can they do, and how to write a neural network in Python? <https://neural-university.ru/neural-networks-basics>, (access date 04/11/2023).
9. A.V. Atetkov, S.V Galkin, V.S Zarubin. Optimization methods. Ed. MSTU im. Bauman. 2021.
10. W.W. Hager, H. Zhang. A new conjugate gradient method with guaranteed descent and an efficient line search. *SIAM Journal on Optimization*, 16. 2005.
11. V.N. Afanasyev, M.M. Yuzbashev. Time series analysis and forecasting. Moscow: Finance and Statistics, Infra-M, 2010.
12. P.A. Gatin, V.N. Semenova, Study of cyclic time series with variable cyclicity using the Fourier series method, *Vestnik DITI*, 2018.

**KEYWORDS:** neural networks, group method of data handling, rational functions, time series forecasting, dense subsets

Results: Calculations reveal that the extrapolation quality of algebraic functions is higher, but they also have weaknesses. It's also shown that in neural networks possible to use rational functions instead of weights-values convolution within common neural network structure. **Practical significance:** Solving the problem of extrapolation of time series is of a great practical importance for short-term forecasting problems, which concerns literally all areas of our lives: from financial markets to unmanned control of cars, aircrafts, so on. Wherever you need to make a proactive solution. The prospects for using new generation neural networks makes capable predicting their actions, including outside the Earth's atmosphere, are discussed.

13. Victor Tolstykh, Irina Tolstykh. Generalization of Artificial Neuron. Proc. of the Int. Workshop "Soft Computing and the Measurements", 2000.
14. V.N. Tolstykh, I.V. Tolstykh, N.S. Ulyanova. Study of approximation methods with nonlinear parameters. *Proc. of the Int. Workshop "Soft Computing and the Measurements"*, 2002.
15. Michael N. Kan. Technical analysis. PETER, 200316.
- Michael N. Kahn. Technical Analysis. Plain and Simple. 2006, 2009, 2010 editions.
17. von Bartheld KS, Bani J, Herculano-Houell S (December 2016). "Finding the true number of neurons and glial cells in the human brain: a review of 150 years of cell counts." *Journal of Comparative Neuroscience*. No. 524(18), pp. 3865-3895.
18. von Bartheld CS, Bahney J, Herculano-Houzel S. The Cellular Composition and Glia-Neuron Ratio in the Spinal Cord of a Human and a Nonhuman Primate: Comparison With Other Species and Brain Regions. *The Anatomical Record Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology*, no. 301(4). DOI:10.1002/ar.23728
19. V.N. Tolstykh. Perceptron, neural network. What's next? PARADIGM, St. Petersburg, 2022.
20. Alice Jen, Amanda Casari. Machine learning. Feature construction. BOMBORA, 2022.
21. Stephen Skiena. Algorithms. Development Guide. Springer, BHV-Petersburg
22. Bernard Friedman. Principles and Technologies of Applied Mathematics. Dover Publications Inc., NY, 1990.
23. Mark Nixon, Alberto Aquado. Feature Extraction & Image Processing. Newnes, 2003.

### INFORMATION ABOUT AUTHOR:

**Viktor N. Tolstykh**, Ph.D., Associate Professor of the Department of Infocommunication Technologies and Communication, State University of Aerospace Instrumentation

## О ПОДХОДЕ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОРИЕНТАЦИИ ПРИМИТИВОВ В ОДНОРОДНЫХ КООРДИНАТАХ

**ДОК ЦИХОН ГОРДОН**  
**Франц Эмануэль<sup>1</sup>**

**ШАХОМИРОВ**  
**Андрей Викторович<sup>2</sup>**

### АННОТАЦИЯ

**Введение:** Методы преобразования системы координат объекта в экранную систему координат известны уже давно. Обычно объекты определяются с помощью примитивных треугольников в системе координат объекта или объектного пространства. Треугольник определяется тремя его вершинами  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ . В случае трехмерного графического приложения для каждой точки в трехмерной системе координат требуются три значения координат. Однородное представление точки в трехмерном пространстве достигается путем указания четырех координат для точки в трехмерном пространстве, где четвертая координата  $w$  – это коэффициент масштабирования. Необходимо обрабатывать треугольники в системе координат объекта для того, чтобы оставлять для визуализации только те, которые однозначно видно наблюдателю. **Цель работы:** представить подход к определению ориентации треугольных примитивов в трехмерном пространстве в однородных координатах для проведения операций графического отсечения и удаления невидимых поверхностей методом отбраковки с обратной стороны. Данные операции возможно применять непосредственно перед операциями вычисления освещения. При этом могут быть значительно сокращены вычислительные затраты на операции отсечения примитивов и вычисления освещенности поверхностей. Обоснованность данного подхода доказана аналитически. Данный подход работает для произвольных искажений и преобразований. **Результат:** представлен метод определения ориентации графических примитивов в однородных координатах.

### Сведения об авторах:

<sup>1</sup> доцент, PhD, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения Санкт-Петербург, Россия, gordon.cichon@guap.ru

<sup>2</sup> доцент, к.т.н., Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения Санкт-Петербург, Россия, shakhomirov@guap.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** компьютерная графика, однородные координаты, отсечение примитивов

---

**Для цитирования:** Док Цихон Гордон Франц Эмануэль, Шахомиров А.В. О подходе к определению ориентации примитивов в однородных координатах // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2023. Т. 15. № 6. С. 12-18. doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-6-12-18

## Введение

Подсистема трехмерной графики проецирует геометрические фигуры на поверхность экрана так, как они были бы видны зрителю, находящемуся в заданном положении, и геометрические фигуры преобразуются в пиксели дискретного экрана (рис. 1). Такой процесс называют рендерингом, а память, в которой вычисляется изображение для отображения, называется буфером кадра. Произвольные геометрические фигуры состоят из больших наборов простых фигур, которые называются примитивами. Поскольку треугольник является наиболее часто используемой примитивной формой, а все другие примитивные формы (например, четырехугольники или линии с определенной шириной) могут быть представлены в виде наборов треугольников, следующее исследование сосредоточено именно на поведении треугольников.

Угловые точки данных примитивных треугольников называются вершинами (vertex), они задаются в произвольной проективной системе координат. Также примитивы могут обладать и другими атрибутами, таких как цвета, свойства материала, векторы нормалей и т.д.

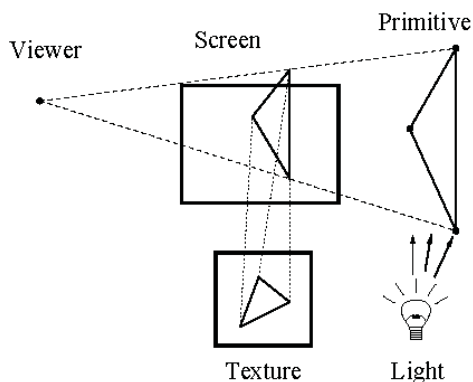


Рис. 1. Графическая подсистема

Все операции, которые выполняются во время рендеринга, можно разделить на две фазы: в первую – которая воздействует на вершины, которые представлены непрерывно, и вторую – которая воздействует на дискретные пиксели (изображенные в левой части рисунка 2). Исторические предпосылки и введение в предысторию компьютерной графики дано в [1].

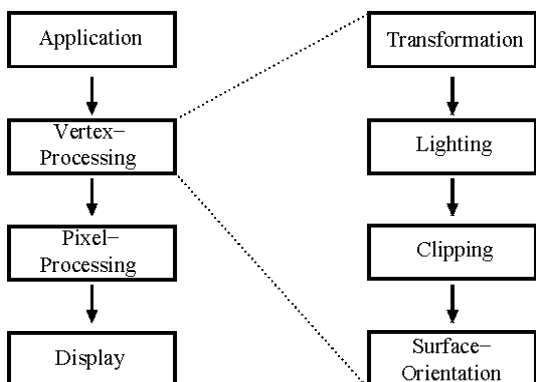


Рис. 2. Общий графический конвейер

Чтобы отображаемые фигуры выглядели как можно более реалистично, требуется предпринять ряд мер. Во-первых, отображаемая фигура может быть дополнительно покрыта растровым изображением, так называемой текстурой. Операция нанесения такого дополнительного изображения на фигуру на экране монитора называется операцией отображения текстуры. Во-вторых, внешний вид геометрической фигуры при отображении может быть изменен в зависимости от освещенности, которая рассчитывается исходя из положения фигуры и ее дополнительных атрибутов.

## Постановка задачи

Этап вычисления световых эффектов следует после этапа рендеринга: во время обработки вершин, для каждой вершины вычисляется собственный набор свойств освещенности. Затем эти свойства интерполируются для каждого отдельного пикселя экрана, в котором появляется примитив при отображении. В течение многих лет происходило устойчивое развитие алгоритмов определения конкретных свойств, которые должны вычисляться для каждой вершины, и как именно должна работать интерполяция.

Классический подход к этой проблематике называется локальным освещением в сочетании с затенением Гуро [2], когда происходит вычисление набора цветов для каждой вершины и вычисление цвета пикселей экрана с помощью линейной интерполяции. Данный подход был разработан для высокопроизводительных систем автоматизированного проектирования (САПР) и визуализации научных данных, и до сих пор успешно используется в этих областях компьютерной графики.

Вычисление цвета на основе свойств освещения требует вычисления сложного выражения, которое определяется так называемой моделью освещения. Подход к вычислению этого выражения для каждого пикселя экрана в отдельности, называется затенением по Фонгу. Данный метод имеет значительно более высокую вычислительную сложность, чтобы избежать ошибок отображения, вызванных линейной интерполяцией по методу Гуро.

В то время как затенения Гуро и Фонга основаны на простой и стандартизированной модели освещения, современные компьютерные трехмерные игры [3] и анимационные фильмы [4] разрабатывают все более сложные индивидуальные модели освещения. Общим для этих подходов является то, что они оценивают произвольное выражение модели освещения для каждого пикселя экрана [5]. Это приводит к реализации с многопоточными средствами визуализации [6] или программируемыми вершинными шейдерами [7], способными выполнять несколько проходов затенения пикселей одновременно без необходимости переноса промежуточных значений во внешнюю память.

Для анимационных фильмов качество изображения является первостепенным фактором. При временном бюджете в несколько часов на каждый отрисованный кадр, эти системы допускают произвольную точность промежуточных значений в модели освещения. Для адаптивных компьютерных игр числовое разрешение, доступное для оценки модели освещения, зависит от глубины цвета экрана, которое обычно равно 8 бит.

С более сложными моделями освещения подготовка параметров каждой вершины примитивных треугольников для оценки модели освещения каждого пикселя, становится дорогостоящей задачей. Найденное в прошлом решение этой проблемы – работа с относительно большими текстурированными треугольниками, не подходит для будущих реализаций, так как в современном мире все более распространенными становятся гладкие поверхности, созданные с помощью поверхностей разделения, сплайновых или NURBS-вычислителей (Non-Uniform Rational B-Spline, неоднородные рациональные B-сплайны) [8]. В дополнение к этому, на основе параметров и характеристик каждого пикселя, вычисляются характеристики модели освещения для каждого пикселя независимо, и при этом не используются функции устойчивости модели освещения.

Чтобы справиться задачей освещенности, становится важным переключить внимание на алгоритмы обработки каждой вершины примитивов и их взаимодействие с более эффективными алгоритмами интерполяции для отображения на экране. Прделанное исследование делает небольшой шаг в этом направлении, устраняя общее препятствие повышения эффективности в стандартизированном алгоритме освещения каждой вершины. Это препятствие вызвано поздним определением ориентации примитивов, как это будет объяснено позже в этой статье.

### Обработка вершин в OpenGL

OpenGL API является одной из наиболее зрелых и хорошо документированных систем для трехмерной графики, и, поэтому его применение в качестве программного средства для приведения аргументов об ориентации поверхностей, является вполне оправданным.

Как упоминалось ранее, и показано в левой части на рисунке 2, работа графической подсистемы состоит из двух различных фаз: обработки вершин и обработки пикселей. Давайте более подробно рассмотрим фазу обработки вершин, изображенную в правой части рисунка 2.

Графическое приложение предоставляет поток вершин для обработки вершин в OpenGL. Этот поток вершин состоит из угловых точек треугольных примитивов и соответствующих им дополнительных необязательных атрибутов (таких как цвет, свойства материала, векторы нормалей и т.д.). На этапе преобразования координаты всех вершин преобразуются из системы координат объекта, в которой задаются все положения примитивов, в две разные целевые системы координат: с одной стороны – в систему координат для расчета освещения, с другой стороны – в систему координат клипа, которая позже преобразуется в целочисленные экранные координаты пикселей. Эти два преобразования определяются в однородных координатах  $(x, y, z, w)$ , и каждое такое преобразование требует умножения матриц размерности  $4 \times 4$ .

Следующий этап построения кадра – вычисление освещения, когда происходит оценка стандартизированной модели освещения в вершине на основе ее дополнительных атрибутов. В графическом приложении может быть задано произвольное количество источников света. И для каждого

источника света (и для каждой вершины) оценка модели освещенности требует вычисления до 4 произведений нормализованных векторов направлений. Результаты этих вычислений определяют взвешенную сумму цвета вершины, используемого для затенения примитива.

В отличие от массивных трехмерных фигур, у которых видна только внешняя для наблюдателя сторона фигуры, плоские примитивы имеют две стороны, которые с точки зрения модели освещения должны различаться между собой. Для получения правильного результата модели локального освещения OpenGL, положительное направление вектора нормали к поверхности примитива должно быть направлено на зрителя, а отрицательное направление – от зрителя вглубь экрана монитора, соответственно. Таким образом, графическая подсистема должна различать две стороны примитива, противоположные по знаку вектора нормали.

Для примитивов типа треугольника такое различие в векторах нормалей достигается последовательностью нумерации вершин, в которой все вершины примитива отображаются на экране: по часовой стрелке или против часовой стрелки. Пользовательское графическое приложение сообщает графической системе, какую ориентацию необходимо рассматривать как «внешнюю», а какую – как «внутреннюю». Внешние примитивы называются фронтальными, внутренние – обратными.

Есть два разных варианта того, что должна делать графическая система перед непосредственным отображением обратного примитива. Один из вариантов – удалять такие примитивы из потока вершин. Если приложение рисует замкнутые фигуры, то любая внутренняя поверхность будет закрыта какой-либо внешней поверхностью. Данный подход называется отбраковкой с обратной стороны. Второй вариант для обратных примитивов – не удаление, а, наоборот, отображением таких примитивов. В этом случае модель освещения должна быть рассчитана с использованием обратного вектора нормали, чтобы получать правильные результаты.

Поскольку фактическая ориентация поверхности на данном этапе еще неизвестна, то такие программные реализации, как Mesa [9], фактически дважды оценивают уравнение освещения, а затем отбрасывают один из наиболее вычислительно-затратных результатов.

Когда примитивы частично или полностью расположены за пределами видимой области экрана, то на этапе отсечения возникают проблемы, которые на этапе обработки пикселей могут привести к ошибкам с переполнением, из-за физического отсутствия пикселей в областях, расположенных за пределами экрана. Считается, что примитивы, расположенные полностью внутри видимой области экрана, являются тривиально приемлемыми. Если же примитив полностью оказывается за пределами видимой области экрана, то он может быть тривиально отклонен, то есть удален из потока примитивов. Примитив, который простирается как внутри, так и за пределы видимой области экрана, необходимо обрезать. Данная операция называется нетривиальным отсечением.

В случаях применения метода отбраковки с обратной стороны, примитивы, обращенные к обратной стороне, удаляются на этом этапе. В случаях двустороннего освещения

выбирается один из двух вычисленных результатов освещения, а второй результат просто отбрасывается. Было бы лучше сначала удалить все «невидимые» примитивы, прежде чем тратить усилия на их подсветку, обрезку, и, опять-таки, удаление.

Из-за применения перспективной проекции в OpenGL, положения всех вершин должны обрабатываться непосредственно в однородных координатах, вплоть до операции отсечения. После операции отсечения (или операции нетривиального отсечения), координаты всех вершин примитивов дегомогенизируются, т.е.  $x$ -,  $y$ - и  $z$ -координаты делятся на  $w$ . Спецификация OpenGL определяет ориентацию треугольника с вершинами  $V_1, V_2, V_3$  следующим образом:

$$A = [(v_2 - v_1) \times (v_3 - v_1)] \cdot e_z = (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1)$$

Однако, определение ориентации примитивов тем способом, который описан в спецификации OpenGL, до сих пор работает только с неоднородными координатами. Чтобы получить неоднородные координаты, примитивы сначала должны подвергнуться отсечению. Дегомогенизация неотсеченных примитивов не работает, поскольку  $w$  может принимать отрицательные значения перед отсечением. В этом случае положение вершины становится зеркальным относительно начала координат, что приводит к недопустимому результату в этой формуле.

Кроме того, отсечение примитивов вычисляет атрибуты новых вершин в отсеченных примитивах на основании анализа всех атрибутов существующих вершин (цвет, материал, вектор нормали, и т.д.), включая результаты вычисления освещенности. Поэтому перед выполнением операции отсечения необходимо произвести расчет освещенности. Далее будем проводить исследование, как можно уменьшить количество выполняемых вычислений.

### Дополнительные исследования

Одним из возможных способов уменьшить количество вычислений является определение ориентации поверхности в координатах объекта или в координатах освещения.

Определение ориентации в координатах объекта возможно только в случае, если преобразование не содержит анизотропного искажения. Например, эллипсоид создается путем рендеринга сферы в искаженной системе координат. Поскольку единичный вектор в направлении обзора не является единичным вектором в этой системе координат, то для вычисления выражения площади эллипсоида потребуется дополнительной вычисление определителя матрицы размерности  $3 \times 3$ .

Определение ориентации в координатах системы освещения требует преобразования всех координат объектов в систему координат освещения перед определением ориентации объектов. Этот подход также неприменим в случаях искаженных систем координат, и он требует дополнительного преобразования, то есть умножения матриц размерности  $4 \times 4$  для однородных координат, прежде чем можно будет определить ориентацию поверхности.

### Ориентация поверхности

Мы будем рассматривать одиночный треугольник от стадии преобразования до определения его ориентации. На этапе преобразования вычисляем положение треугольника в координатном пространстве кадра в однородных координатах. Так как освещение никак не влияет на положение примитива в пространстве кадра, то не влияет и на расчет ориентации текущего примитива. Координаты вершин треугольного примитива в однородных системе координат задаются как:

$$P_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ w_1 \end{pmatrix}, P_2 = \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \\ w_2 \end{pmatrix}, P_3 = \begin{pmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \\ w_3 \end{pmatrix}.$$

Далее необходимо выполнить операцию отсечения. Отсечение гарантирует, что все вершины примитива лежат внутри однородного единичного куба. Для каждой вершины текущего примитива выполняются следующие шесть проверочных тестов:

$$-w_i \leq x_i \leq w_i; -w_i \leq y_i \leq w_i; -w_i \leq z_i \leq w_i.$$

Каждый из этих тестов соответствует одной из плоскостей, ограничивающих единичный куб: левой, правой, нижней, верхней, ближней и дальней от наблюдателя. Каждая плоскость определяет полупространство, внутри которого должны быть расположены все примитивы. Если все тесты пройдены, то текущий треугольный примитив может быть тривиально принят. Если текущий треугольный примитив не проходит один тест для всех своих вершин, то такой треугольный примитив тривиально отклоняется, то есть удаляется из общего потока примитивов, что сокращает общее количество рассчитываемых объектов сцены. Если одна из вершин треугольника проходит тест для определенной ограничивающей плоскости, а другая вершина не проходит, то должна выполняться нетривиальная операция отсечения, так как примитив частично выходит за границы отображения экрана. Предположим, что  $P_1$  – это вершина, прошедшая тест на отсечение конкретной плоскостью. Две другие вершины треугольника, находящиеся за пределами плоскости отсечения, заменяются новыми вершинами на плоскости отсечения по следующим формулам:

$$P'_2 = tP_2 + (1 - t_1)P_1,$$

$$P'_3 = tP_3 + (1 - t_2)P_1,$$

где  $t_1$  и  $t_2$  – параметры прямой линии, рассчитанные с помощью алгоритма отсечения в диапазоне  $(0, 1)$  [10]. В случае, если точки  $P_2$  или  $P_3$  прошли тест на отсечение по плоскостям, то полагаем  $t_2$  и  $t_3$  равными 1. Если или  $t_1$  или  $t_2$  равны 0, то образовавшийся новый примитивный треугольник имеет нулевую площадь. Такой треугольник называется вырожденным. И он может быть удален из общего потока вершин.

Следовательно, предыдущие формулы могут быть уточнены:

$$P'_2 = P_1 + t_1(P_2 - P_1), t_1 \in (0, 1]$$

$$P'_3 = P_1 + t_2(P_3 - P_1), t_2 \in (0, 1]$$

Рассматривая все возможные пересечения треугольно примитива с отсекающими плоскостями, получаем, что из одного треугольника путем обрезки в шести плоскостях отсечения можно создать многоугольник с 9 вершинами. Поскольку этот многоугольник имеет такую же ориентацию, что и каждый из его подтреугольников, то в дальнейшем можно ограничиться рассмотрением только одного подтреугольника  $(P_1, P'_2, P'_3)$ .

Такая схема обрезки повторяется до тех пор, пока не будут удовлетворены требования ко всем плоскостям обрезки. Обратите внимание, что для вершины  $P_i$ , которая расположена внутри однородного единичного куба и проходит любые тесты на отсечение, должно иметься положительное значение однородной координаты  $w_i$ .

Итак, треугольник  $(P_1, P'_2, P'_3)$  был обрезан в одной плоскости отсечения и имеет ту же ориентацию, что и исходный треугольник. После отсечения координаты можно безопасно дегомогенизировать:

$$Q_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ w_1 \end{pmatrix}, Q_2 = \begin{pmatrix} x'_2 \\ y'_2 \\ z'_2 \\ w'_2 \end{pmatrix}, Q_3 = \begin{pmatrix} x'_3 \\ y'_3 \\ z'_3 \\ w'_3 \end{pmatrix}$$

Треугольник охватывается следующими двунаправленными векторами:

$$d_1 = Q_2 - Q_1 = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}, d_2 = Q_3 - Q_1 = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix}$$

Следовательно, направление ориентации треугольника может быть получено как получение знака операции вычисления площади:

$$A = \frac{1}{2}(a_1 b_2 - a_2 b_1)$$

### Новый подход

Подставим данные о процессе рендеринга, полученные выше, обратно в формулу вычисления площади. Это позволит получить новое уравнение, способное определять ориентацию треугольника перед вычислением освещения.

$$A = \frac{1}{2}(a_1 b_2 - a_2 b_1)$$

$$\begin{aligned} 2 \cdot A &= \left( \frac{x'_2}{w'_2} - \frac{x_1}{w_1} \right) \left( \frac{y'_3}{w'_3} - \frac{y_1}{w_1} \right) - \left( \frac{x'_3}{w'_3} - \frac{x_1}{w_1} \right) \left( \frac{y'_2}{w'_2} - \frac{y_1}{w_1} \right) = \\ &= \left( \frac{x_1 + t_1(x_2 - x_1)}{w'_2} - \frac{x_1}{w_1} \right) \cdot \left( \frac{y_1 + t_2(y_3 - y_1)}{w'_3} - \frac{y_1}{w_1} \right) - \\ &- \left( \frac{x_1 + t_2(x_3 - x_1)}{w'_3} - \frac{x_1}{w_1} \right) \cdot \left( \frac{y_1 + t_1(y_2 - y_1)}{w'_2} - \frac{y_1}{w_1} \right) \end{aligned}$$

Все это уравнение может быть преобразовано следующим образом:

$$\frac{2w_1 w'_2 w'_3}{t_1 t_2} \cdot A = w_1(x_2 y_3 - x_3 y_2) + w_2(x_3 y_1 - x_1 y_3) + w_3(x_1 y_2 - x_2 y_1)$$

Поскольку нас интересует только знак области  $A$ , достаточно вычислить другую область  $A'$ , масштабируемую с положительным коэффициентом:

$$A' = \frac{2w_1 w'_2 w'_3}{t_1 t_2} \cdot A$$

Поскольку каждое из  $w_1$ ,  $w'_2$  и  $w'_3$ , а также  $t_1$  и  $t_2$  являются положительными, результирующая величина  $A'$  имеет тот же знак, что и площадь  $A$ . Следовательно, знак величины  $A'$  может быть использован для определения ориентации треугольника.

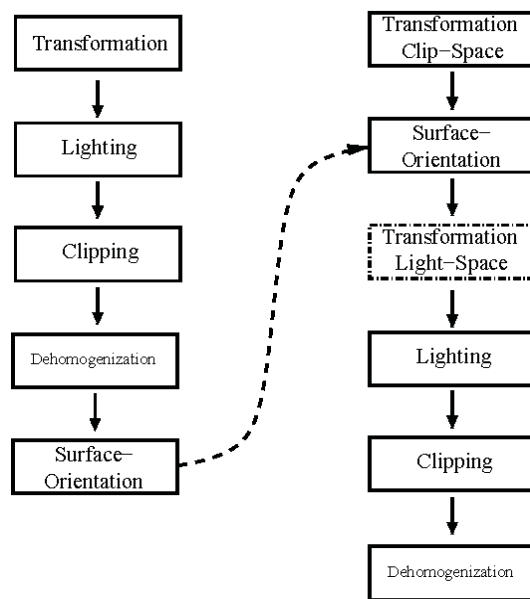


Рис. 3. Новый вершинный конвейер

Путем оценки  $A'$ , ориентация поверхности может быть вычислена непосредственно после преобразования в пространство кадра (см. рис. 3). Нет необходимости вычислять освещение каких-либо примитивов, которые потом удаляются методом отбраковки с обратной стороны. И при этом для модели двустороннего освещения необходимо оценить только один экземпляр уравнения освещенности, что опять же ведет к снижению вычислительных затрат.





Еще одним свойством этого подхода является то, что возможно параллельное выполнение операций по определению ориентации примитивов и тестов на отсечение. После этих операций можно переходить к удалению примитивов из потока вершин из-за тривиального отклонения и отбраковки с обратной стороны. Удаление примитивов логически сложно и нарушает работу реализаций систолического массива, а также внутренних циклов высокопараллельных SIMD-программ, хотя это не требует больших вычислительных затрат. Но соединение двух различных примитивных точек удаления значительно упрощает конструкцию.

При необходимости, после определения ориентации, может быть выполнено преобразование в пространство модели освещения, когда лишний поток вершин был уничтожен.

Как показано в [7], процесс оценки NURBS [8] инвариантен по отношению к однородным преобразованиям. Это означает, что контрольные точки криволинейной NURBS-поверхности могут быть преобразованы в пространство кадра, и NURBS-вычислитель может генерировать вершины для тесселяции непосредственно в пространстве кадра. Примитивы, сгенерированные этим средством оценки, затем могут быть алгоритмически отбракованы непосредственно перед их освещением и отсечением.

#### Дальнейшие исследования

К дальнейшим исследованиям по этой тематике можно отнести необходимость программной проверки предложенных изменений, что возможно сделать, если внести изменения в исходном коде высокоуровневой свободно распространяемой графической библиотеки Mesa [9], чтобы удовлетворять порядку вычислений и всем формулам, заявленным в данной статье. Средствами программного обеспечения для тестирования графических процессоров рабочих станций SPECviewperf [11], провести тестирование и сравнить полученные результаты с оригинальными немодифицированными алгоритмами и графическими библиотеками. Ожидается значительный прирост производительности в тестах с использованием метода отбраковки с обратной стороны и в тестах для двустороннего освещения.

#### Заключение

Была представлена новая методика вычисления ориентации поверхности треугольного примитива в однородных координатах. Математически доказано, что ориентация по-

верхности треугольника может быть достоверно вычислена с использованием этого подхода.

Было показано, что этап определения ориентации поверхностей в графическом конвейере может быть перенесен вперед между этапом преобразования и этапом освещения. В случае отбраковки с обратной стороны примитивы с обратной стороны не обязательно подсвечивать и нетривиально обрезать перед их удалением. В случае двустороннего освещения необходимо оценить только одно из двух выражений модели освещения.

#### Апробация работы

*Представленный способ был защищен патентом США 6489958 B1. Method and device for graphics representation of an object defined by a plurality of triangles on a display surface. / Gordon Cichon, Published: 3.12.2002, 15p.*

#### Литература

1. Wolfgang Heidrich, Hans-Peter Seidel. Realistic, hardware-accelerated shading and lighting. In SIGGRAPH Proceedings, 1999.
2. Gerald E. Farin. Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design. Academic Press, San Diego, 1990.
3. Neider, Jackie, Tom Davis, Mason Woo. The OpenGL Programming Guide. Addison Wesley, Reading, 3rd edition edition, 1993.
4. Mark Segal, Kurt Akeley, Chris Frazier, Jon Leech. The OpenGL Graphics System: A Specification. Silicon Graphics, Inc., (version 1.3) edition, 2001.
5. Jaquys P., Hook B. Quake 3: Arena shader manual, revision 10. In C. Hecker and J. Lander, editors, Game Developer's Conference Hardcore Technical Seminar Notes. Miller Freeman Game Group, Dec. 1999.
6. Pixar. Renderman Interface Specification: Version 3.1. Pixar Animation Studios, September 1999.
7. Mark S. Peercy, Marc Olano, John Airey, Jeffrey Ungar. Interactive multi-pass programmable shading // SIGGRAPH Proceedings, 2000.
8. Schneider P.J. NURBS Curves: A Guide for the Uninitiated. / Develop. The Apple technical journal. March 1996, issue 25, pp. 48-74.
9. Brian Paul. Mesa. URL: <http://www.mesa3d.org> (дата обращения 10.05.2023)
10. OpenGL ARB. OpenGL API Documentation Overview. URL: <http://www.opengl.org/Documentation/Extensions.html> (дата обращения 10.05.2023)
11. SPECviewperf benchmark. URL: <https://gwpkg.spec.org/benchmarks/benchmark/specviewperf-2020/> (дата обращения 10.05.2023)

## ON THE APPROACH TO ORIENTATION DETECTION OF PRIMITIVES IN HOMOGENEOUS COORDINATES

**GORDON CICHON**

Saint-Petersburg, Russia, gordon.cichon@guap.ru

**ANDREY V. SHAKHOMIROV**

Saint-Petersburg, Russia, shakhomirov@guap.ru

**KEYWORDS:** *computer graphics, homogeneous coordinates, clipping of primitives.*

### ABSTRACT

**Introduction:** Methods of converting an object's coordinate system into an on-screen coordinate system have been known for a long time. Usually objects are defined using primitive triangles in the object's coordinate system or object's space. A triangle is defined by its three vertices P1, P2, P3. In the case of a three-dimensional graphical application, three coordinate values are required for each point in the three-dimensional coordinate system. A homogeneous representation of a point in three-dimensional space is achieved by specifying four coordinates for a point in three-dimensional space, where the fourth coordinate  $w$  is the scaling factor. It is necessary to process triangles in the object's coordinate system in order to leave for visualiza-

tion only those that are clearly visible to the observer. **The purpose** of the work is to present an approach to determining the orientation of triangular primitives in three-dimensional space in homogeneous coordinates for performing operations of graphical clipping and removal of invisible surfaces by back-face culling. These operations can be applied immediately before the lighting calculation operations. At the same time, the computational costs for the operations of clipping primitives and calculating the illumination of surfaces can be significantly reduced. **The validity** of this approach has been proved analytically. This approach works for arbitrary distortions and transformations. **Result:** a method for determining the orientation of graphical primitives in homogeneous coordinates is presented.

### REFERENCES

1. Wolfgang Heidrich and Hans-Peter Seidel. Realistic, hardware-accelerated shading and lighting. *SIGGRAPH Proceedings*, 1999.
2. Gerald E. Farin. *Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design*. Academic Press, San Diego, 1990.
3. Neider, Jackie, Tom Davis, and Mason Woo. *The OpenGL Programming Guide*. Addison Wesley, Reading, 3rd edition, 1993.
4. Mark Segal, Kurt Akeley, Chris Frazier, and Jon Leech. *The OpenGL Graphics System: A Specification*. Silicon Graphics, Inc., (version 1.3) edition, 2001.
5. P. Jaquys and B. Hook. *Quake 3: Arena shader manual*, revision 10. In C. Hecker and J. Lander, editors, *Game Developer's Conference Hardcore Technical Seminar Notes*. Miller Freeman Game Group, Dec. 1999.
6. Pixar. *Renderman Interface Specification: Version 3.1*. Pixar Animation Studios, September 1999.
7. Mark S. Peercy, Marc Olano, John Airey, and Jeffrey Ungar. Interactive multi-pass programmable shading. *SIGGRAPH Proceedings*, 2000.
8. Schneider P.J. NURBS Curves: A Guide for the Uninitiated. *Develop. The Apple technical journal*. March 1996, issue 25, pp. 48-74.
9. Brian Paul. Mesa. URL: <http://www.mesa3d.org> (date of access 10.05.2023)
10. OpenGL ARB. *OpenGL API Documentation Overview*. URL: <http://www.opengl.org/Documentation/Extensions.html> (date of access 10.05.2023)
11. SPECviewperf benchmark. URL: <https://gwpkg.spec.org/benchmarks/benchmark/specviewperf-2020/> (date of access 10.05.2023)

### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

**Gordon Cichon**, Assistant professor, PhD, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russia

**Andrey V. Shakhomirov**, Assistant professor, PhD, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russia

---

**For citation:** Gordon Cichon, Shakhomirov A.V. On the approach to orientation detection of primitives in homogeneous coordinates. H&ES Reserch. 2023. Vol. 15. No. 6. P. 12-18. doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-6-12-18 (In Rus)



# ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛИЦ ЛЮДЕЙ ПРИ МЕШАЮЩИХ ФАКТОРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

**ЗВЕЖИНСКИЙ**

Станислав Сигизмундович<sup>1</sup>

**НИЖНИК**

Илья Кириллович<sup>2</sup>

## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Рассмотрена идентификация лиц людей с использованием искусственной нейронной сети (ИНС) в условиях воздействия разнообразных мешающих факторов. **Цель исследования:** повышение точности идентификация лиц людей при мешающих факторах. **Результаты:** При анализе вариантов реализации специального программного обеспечения (СПО) предпочтение отдано архитектуре LightCNN, – "облегченной" компактной сверточной нейронной сети для быстрого обучения на больших наборах данных. Разработанное СПО включает ИНС, программные модули и подключаемые библиотеки, которые в совокупности обеспечивают распознавание изображений. Архитектура разработанной ИНС представляет собой чередующиеся слои сверточные, батч-нормализации и пулинга, заканчивающиеся полносвязными слоями с функцией активации ReLU. Для минимизации переобучения применялся метод прореживания, функцией потерь выступала перекрёстная энтропия. Для экспериментальной проверки был собран собственный датасет по фотографиям знаменитых людей из интернет-ресурса "Labeled Faces in the Wild" с добавлением изображений с мешающими факторами. **Практическая значимость:** Использование архитектуры Light CNN позволяет достичь высокой точности распознавания лиц не менее 0,96 даже при наличии мешающих факторов. Оптимизация параметров СПО, включая размер батча и скорость обучения, дополнительно увеличивает точность и стабильность обучения.

## Сведения об авторах:

<sup>1</sup> д.т.н., профессор, профессор МТУСИ,  
Москва, Россия, zwiierz@rambler.ru

<sup>2</sup> магистр МТУСИ, Москва, Россия,  
i@nik99.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** идентификация лиц, сверточные нейронные сети, точность, обучение сети, специальное программное обеспечение.

---

**Для цитирования:** Звежинский С.С., Нижник И.К. Идентификация лиц людей при мешающих факторах с использованием искусственных нейронных сетей // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2023. Т. 15. № 6. С. 19-25. doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-6-19-25

## Введение

Идентификация личности с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС), и прежде всего, на основе глубокого обучения, является важной задачей искусственного интеллекта [1-3]. Ее решение дает широкий спектр практических применений, таких как городские системы безопасности, биометрическая идентификация, социальные сети и др. Как показывают данные компании Google, в условно «хороших» условиях сцены (открытые лица, отсутствие помех и пр.) распознавание лиц людей, осуществляется достаточно надежно, с точностью не менее 98% [4]. Однако при действии мешающих факторов («размытая» фотография, недостаточное освещение, наличие масок и аксессуаров (очки) у людей, неудобный ракурс головы, возрастные изменения и пр.) точность идентификации лиц людей резко снижается [5]. Это удостовери́ла пандемия COVID-2019, распространившаяся по планете.

В связи с этим задача достижения устойчивого и надежного распознавания лиц людей с помощью современных программ на основе ИНС является актуальной, особенно при действии помех антропогенного характера. Выбор подходящей ИНС зависит от решаемой задачи, требований к точности, скорости, имеющимся ресурсам. Для распознавания видео образов большинство разработчиков используют сверточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks, CNN) [1,6].

Целью статьи является повышение качества идентификация лиц людей в условиях воздействия мешающих факторов с использованием сверточных ИНС. В контексте поставленной задачи, основной интерес представляют динамические адаптивные многослойные CNN с учителем.

### Сверточные нейронные сети для распознавания лиц

CNN была разработана для автоматического и адаптивного построения пространственных иерархий объектов высокоуровневых паттернов [7-9]. Типичная CNN представляет собой структуру, включающую 3 типа слоев (или строительных блоков): 1) сверточных; 2) пулинговых; 3) полносвязанных. Первые два типа слоев выполняют роль извлечения признаков, в то время как 3-й слой отображает признаки на выходные данные, осуществляя, например, классификацию образов. Сверточные слои реализуются из набора математических линейных (иногда нелинейных) операций.

В цифровых изображениях значения пикселей обычно представлены в виде двумерной (2D) сетки или массива чисел, а «малая» сетка параметров, называемая *ядром*, и служит для извлечения признаков изображения. Выделенные признаки иерархически и постепенно усложняются при передаче выходных данных с одного слоя на другой. Обучение ИНС – это, по сути, процесс оптимизации параметров сети (прежде всего, ядра).

Как правило, для распознавания лиц на основе ИНС предусматривается 4 этапа работы типового специального программного обеспечения (СПО):

1. *Предварительная обработка входных данных.* Его цель – улучшение качества изображения и максимальное

устранение (подавление) мешающих факторов для улучшения работы алгоритма. Типовые методы предобработки: фильтрация шума, гистограммное выравнивание, повышение контраста.

2. *Выделение признаков лица*, которые могут быть использованы для последующего распознавания. CNN хорошо подходит для выделения признаков из изображений, поскольку способны выявлять иерархические представления признаков на различных уровнях абстракции.

3. *Распознавание (идентификация, классификация) лиц*, (например, на основе биометрических данных), определение принадлежности к определенной группе (например, гендер), сопоставление лиц с БД.

4. *Оценка функциональной надежности и улучшение алгоритма* на тестовом наборе данных и оценивание, насколько надежно ИНС справляется с распознаванием лиц. Для этого используются такие типовые метрики, как: точность, полнота, *F1*-мера [10,11].

Если надежность ИНС не соответствует предъявленным требованиям, осуществляется улучшение алгоритма, в том числе путем регуляризации и аугментации (augmentation, «раздутие») данных, а также поиском более сложной архитектуры сети. После того, как ИНС (модель) обучена, оценена и оптимизирована, она реализуется посредством СПО и интегрируется в реальные программно-аппаратные комплексы (ПАК), которые используются для распознавания лиц в режиме реального времени.

### Анализ существующего СПО для обработки изображений

Известные архитектуры CNN предназначены, как правило, для работы с двумерными изображениями. Однако имеются перспективные технологии, применяемые к трехмерным изображениям [12]. В настоящее время разрабатываются лидарные методы классификации и реконструкции 3D-объектов. В процессе их реализации возникают некоторые проблемы (в частности, возможная потеря данных), – для их решения используют процедуры сортировки данных, симметричной функции для компиляции информации [13]. 3D-сверточные нейронные сети расширяют концепцию 2D-сетей при работе с трехмерными данными, такими как объемные сетки или видео. В 3D-CNN свертки применяются в 3-х измерениях, что позволяет изучать особенности 3D-объектов.

СПО *PointNet* [14-16] применяется для обработки 3-х мерных изображений, содержит три ключевых модуля. Первичная информация о точках ( $x, y, z$ ) передается непосредственно в глубокую ИНС, действие которой подобно многослойному перцептронну. В результате создается вектор (глобальный образ входных данных), который передается на каждую точку, интегрируя глобальные характеристики с функциями отдельных точек. *PointNet* применяет преобразование *T-net* к входным координатам.

Пока еще нет единого мнения, какой формат лучше подходит для обработки данных в 3-D мерных сценах [17]. Облака точек обычно обрабатываются с помощью *воксельной сетки* – способа внедрения 3D-объектов в решетку, чтобы далее представлять в виде пиксельных изображений.

Решетка вычисляется на основе облака точек, создавая массив, который в начальном состоянии заполняется нулями. Далее определяются точки внутри каждого вокселя и проводится масштабирование. После этого вокселю присваивается доминирующий цвет.

*СПО PointNet++* – это улучшенная версия PointNet, позволяющая извлекать локальные и глобальные особенности из облака точек с большей точностью. ИНС делает это, выполняя иерархическую обработку и учитывая соседство точек на разных масштабах.

*VoxNet*: – это архитектура, использующая объемные сетки для представления 3-х мерных объектов. Сеть преобразует облака точек в регулярную трехмерную сетку (или воксели), которая затем обрабатывается с использованием 3D-сверток и пулинга. Это позволяет определить пространственные отношения между объектами.

*OctNet*: архитектура сети для работы с разреженными 3-х мерными данными. Сеть разбивает пространство на октаты (куб, разделенный на 8 равных частей) и представляет только занятые части. Это позволяет сократить объем вычислений.

*Mesh R-CNN*: Архитектура расширяет популярную модель обнаружения объектов *R-CNN* для работы с 3-х мерными данными. Используются сверточные нейронные сети для обработки изображений и для предсказания 3D-формы объекта в виде треугольных сеток. Это позволяет модели совмещать 2D- и 3D-особенности для более точного распознавания и сегментации.

*DeepSDF*: ИНС, которая учится представлять форму 3D-объектов через «подписанные» расстояния до поверхности объекта. Такое представление позволяет модели генерировать и редактировать сложные 3D-формы с высоким уровнем детализации.

*3D U-Net*: Расширение популярной архитектуры *U-Net* для работы с 3-х мерными данными (например, медицинские изображения). Здесь используются 3D-свертки и пулинг для выявления локальных и глобальных особенностей объектов, а также для выполнения сегментации.

*PointConv*: Сверточная сеть, которая обобщает свертки для работы с неструктурированными облаками точек. Учитывается плотность распределения точек, используется взвешенное сглаживание для преобразования облака точек в формат, который обрабатывается с помощью традиционных сверточных слоев.

*Dynamic Graph CNN*: Архитектура, которая строит динамический граф на основе метода ближайших соседей в облаке точек, применяя свертки для выявления локальных геометрических особенностей и контекста.

*KPCConv*: Адаптивная свертка для облаков точек, учитывающая изменчивость плотности и неоднородность данных. Для свертки используются наборы ключевых точек и связанные с ними ядра, что позволяет приспосабливаться к различным масштабам и структурам данных.

*СПО LightCNN* представляет собой «облегченную» и компактную архитектуру сверточной нейронной сети, разработанную для быстрого обучения на больших наборах данных [18]. Основным преимуществом этой архитектуры является использование небольших сверток (1x1, 3x3), что позволяет уменьшить количество параметров и повысить

быстродействие. Поэтому *LightCNN* зачастую является наиболее рациональным решением для стационарных и даже мобильных систем распознавания лиц. *LightCNN* успешно применяется в различных приложениях компьютерного зрения, включая классификацию изображений, показывает аналогичные результаты в сравнении с более «тяжеловесными архитектурами», такими как *VGGNet* или *ResNet*, при меньшем числе параметров и вычислительных затратах.

Для дальнейшей практической реализации выбор был сделан в пользу *LightCNN*.

### СПО распознавания лиц на основе LightCNN

Анализ функционирования ИНС при распознавании лиц проводится с использованием стандартной методологии моделирования бизнес-процессов IDEF0. На рисунке 1 показана контекстная диаграмма работы СПО с включением пользователя и выбранной среды программирования *Python*. На вход подключаются обучающая и проверочная выборки, а также необходимые динамические библиотеки, на выходе получается распознанное изображение.

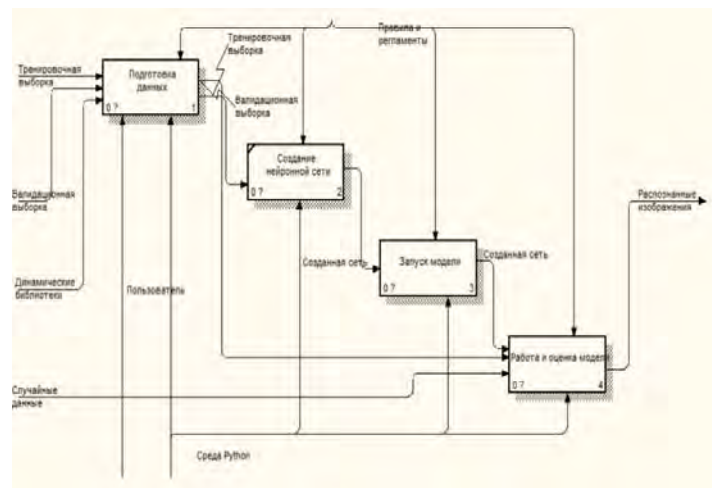


Рис. 1. Контекстная диаграмма функционирования СПО

Первоначально в системе происходит подготовка данных: загружаются обучающая и валидационная выборки, производится подключение динамических библиотек. После этого формируется ИНС. Далее выполняется запуск. Финальный этап – распознавание лиц и оценка эффективности. При подготовке данных подключается источник данных, динамические библиотеки, после чего данные подготавливаются к обработке. При запуске происходит загрузка и обучение СПО на основании ранее созданной ИНС.

Работа и оценка модели осуществляется в следующем порядке. Сначала происходит оценка точности на 2-х выборках – обучающей и валидационной, а затем алгоритм оценивается по другим выбранным метрикам, и данные выводятся пользователю.

Состав разработанного СПО:

- исходный набор изображений (БД);
- основной компонент (*Light CNN*, распознавание данных);
- модуль обучения;

- модуль оценки результатов;
- подключаемые стандартные модули.

ИНС *Light CNN* создается с помощью библиотеки *PyTorch* [19]. Используется последовательная модель ('*nn.Sequential*'), позволяющая легко комбинировать различные слои. Конкретизируем каждый слой сети:

1. *nn.Conv2d(in\_channels=3, out\_channels=32, kernel\_size=5)\*\**: сверточный слой с 3-я входными каналами (для RGB изображений), 32-я выходными каналами (или картами признаков) и размером ядра 5x5.

2. *nn.BatchNorm2d(32)\*\**: слой батч-нормализации, который нормализует входные данные на протяжении мини-батчей, улучшая стабильность обучения и ускоряя сходимость.

3. *nn.ReLU()\*\**: функция активации ReLU (rectified linear unit), преобразует отрицательные значения в 0 и сохраняет положительные значения без изменений.

4. *nn.MaxPool2d(2, 2)\*\**: слой пулинга с размером ядра 2x2 и шагом 2, который уменьшает пространственные размеры входных карт признаков.

5-8. *Следующие 4 слоя\*\** повторяют сверточный слой, слой батч-нормализации, функцию активации ReLU и слой пулинга, но в этот раз с 32 входными и 32 выходными каналами.

9-12. *Следующие 4 слоя\*\** также повторяют сверточный слой, слой батч-нормализации, функцию активации ReLU и слой пулинга, но на этот раз с 32 входными и 64 выходными каналами.

13-16. *Следующие 4 слоя\*\** также повторяют сверточный слой, слой батч-нормализации, функцию активации ReLU и слой пулинга, но на этот раз с 64 входными и 64 выходными каналами.

17-20. *Следующие 4 слоя\*\** также повторяют сверточный слой, слой батч-нормализации, функцию активации ReLU и слой пулинга, но на этот раз с 64 входными и 128 выходными каналами.

21. *nn.Flatten()\*\**: слой, который преобразует многомерный тензор в одномерный тензор, подготавливая данные для полносвязного слоя.

22. *nn.Linear(8\*8\*128, 256)\*\**: полносвязный слой, принимающий на вход данные размером 8\*8\*128 и преобразующий их в выходные данные размером 256.

23. *nn.ReLU()\*\**: функция активации ReLU (rectified linear unit), преобразует отрицательные значения в 0, сохраняя положительные значения без изменений.

24. *nn.Dropout()\*\**: слой dropout, который случайным образом «выключает» некоторые нейроны во время обучения, предотвращая переобучение.

25. *nn.Linear(256, 6)\*\**: полносвязный слой, принимающий на вход данные размером 256 и преобразующий их в выходные данные размером 6 (число классов).

Таким образом, структура разработанной глубокой CNN имеет чередующиеся сверточные слои, слои батч-нормализации и пулинга, заканчивающихся полносвязными слоями и функцией активации *ReLU*. Признаки извлекаются с помощью 5-и сверточных слоёв, затем последняя карта признаков преобразовывается в вектор и подается на скрытый полносвязный слой с 6-ю нейронами (классами).

Для минимизации эффекта переобучения применялась батч-нормализация и метод прореживания (dropout). В качестве функции активации выбрана *ReLU*, которая наиболее популярна в текущее время. В качестве функции потерь использовалась перекрёстная энтропия.

Работы алгоритма СПО осуществляется в соответствии поэтапно:

1) Подключение необходимых библиотек.

2) Загрузка исходного набора изображений в СПО и подготовка их для обработки ИНС.

3) Обучение сети (на подготовленных данных) или загрузка уже обученной модели (если она имеется).

4) Проверка качества работы ИНС, - определение точности и других метрик на тестовых данных.

5) Оценка функциональной надежности СПО на случайно выбранных изображениях, подтверждение её способности работать с новыми данными.

Таким образом, разработанное СПО включает ИНС, программные модули и подключаемые библиотеки, которые в совокупности обеспечивают распознавание данных.

### Обучение разработанной ИНС

При обучении ИНС *Light CNN* последовательно предъявляются образы из обучающего набора, производится сравнение полученного ответа с желаемым выходом. Найденная ошибка распространяется в обратном направлении на все связанные нейроны. Обучение ИНС сводится к минимизации ошибки путем корректировки весовых коэффициентов синнаптических связей между нейронами [10,11].

Первым этапом обучения является инициализация сети. На втором этапе сети предъявляется обучающая выборка и рассчитываются значения весов нейронов. На третьем этапе веса изменяются так, чтобы минимизировать целевую функцию  $E$ :

$$E = \frac{1}{2} (\sum_{j=1}^k y(x_i) - d_i)^2, \quad (1)$$

где  $y(x_i)$  – предсказанное значение ИНС для обучающего примера  $x_i$ ,  $d_i$  – реальное значение.

На каждом шаге обучения веса изменяются в соответствии с (2):

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) - \alpha y_j F'(S_j) y_i, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент обучения;  $t$  и  $t+1$  – моменты времени до и после изменения весов и порогов соответственно; индексы  $i$  и  $j$  - соответственно нейроны 1-го и 2-го слоев;  $y_j$  – разница между выходом сети и эталоном;  $F$  – функция активации. Пороги  $T$  сети изменяются по формуле:

$$T_j(t+1) = T_j(t) + \alpha y_j F'(S_j), \quad (3)$$

где  $T_j(t+1)$  – обновленное пороговое значение для  $j$ -го нейрона на следующем шаге ( $t+1$ );  $\alpha$  – скорость обучения;  $y_j$  – разница между выходом сети и эталоном;  $F'(S_j)$  – производная функции активации.

Ошибка  $\gamma$  для скрытого слоя с индексом  $i$  вычисляется через ошибку  $\gamma_j$  следующего за ним  $j$ -го слоя следующим образом:

$$\gamma_i = \sum_j \gamma_j F'(S_j) w_{ij}, \quad (4)$$

где  $w_{ij}$  – вес связи между  $i$ -м нейроном на скрытом слое и  $j$ -м нейроном на следующем слое. Процесс обучения продолжается, пока число итераций не достигнет установленной границы.

### Результаты функционирования специального программного обеспечения и направления дальнейших исследований

Для экспериментальной проверки разработанного СПО был собран собственный датасет по фотографиям лиц из Интернета, путем добавления изображений с различным мешающими факторами. В качестве доменной области выбраны шесть лиц знаменитых людей с ресурса «Labeled Faces in the Wild» [20]. Все фотографии имели видимые дефекты – повороты головы, частичное закрытие масками и ладонями, плохое качество и пр.

В результате был сформирована выборка, состоящая из 758 только «проблемных» изображений, и она была разбит на две части: тренировочная 70%, валидационная 30%. Распределение данных по классам показано на рисунке 2.

При обучении, после оптимизации, были выставлены следующие параметры: скорость обучения 0.001; размер батча 32; максимальное количество исследуемых эпох 40. В процессе обучения отслеживалась прежде всего такая метрика, как точность (*accuracy*). Для прекращения тренировки модели при отсутствии улучшения функции потерь на валидационной части выборки использовалась обратная связь.

Таким образом, модель обучалась вплоть до «ранней» остановки на 33 эпохе. В результате удалось добиться точности 89% на обучающей выборке данных и 90% на валидационной (рис.3). Для шести лиц людей (6-и классов) значения других метрик находились в диапазоне: *Precision* = 0,86...0,90; *Recall* = 0,82...0,90; *F1-мера* = 0,85...0,90,

которые характеризуют невысокое качество СПО при распознавании лиц с мешающими факторами.

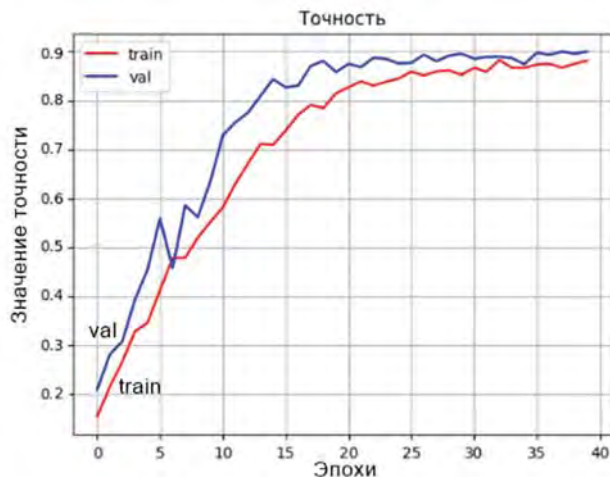


Рис. 3. Изменения точности распознавания в процессе обучения

Чтобы улучшить качество распознавания, на следующем этапе по выбранным 6-и классам (субъектам) был образован новый датасет, включающий 473 фотографии без деления их на «проблемные» и «нормальные». Число фотографий для каждого субъекта составляло от 33 до 108.

Для оценки качества работы СПО использовались те же метрики, что и в первом случае; при этом оценки эффективности были явно выше, чем ранее:

*Precision*: 0,96...0,998; *Recall*: 0,91...0,997; *F1-score*: 0,95...0,997.

Таким образом, использование архитектуры Light CNN позволяет достичь относительно высокой точности распознавания лиц даже при наличии мешающих факторов. Оптимизация параметров модели, включая размер батча и скорость обучения, позволяет дополнительно увеличить точность и стабильность обучения.

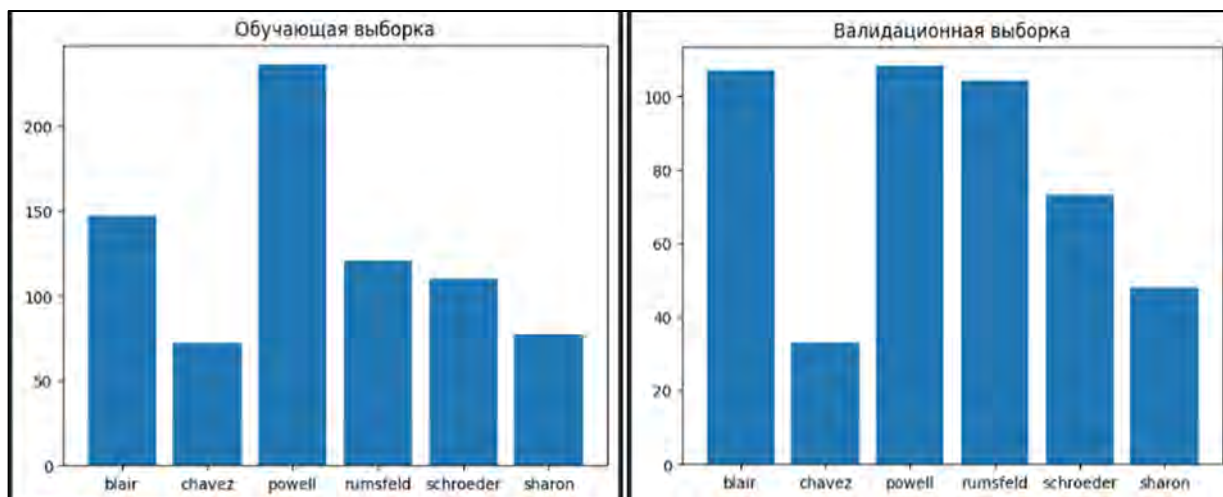


Рис. 2. Распределение данных для обучающей и валидационной выборки по лицам

Анализ полученных результатов показывает, что для дальнейшего улучшения качества работы СПО следует:

1. Расширять объем БД с множеством видов мешающих факторов.
2. Провести аугментацию (создание новых на основе существующих) данных, что возможно улучшит устойчивость СПО к изменениям внешних условий и обучению на более разнообразных примерах, что, в свою очередь, улучшает точность распознавания [21].
3. Исследовать возможность комбинирования Light CNN с другими архитектурами или методами обработки изображений.
4. Исследовать возможность самообучения сети (без учителя). Это позволит «самостоятельно» справляться с новыми мешающими факторами и возможно лучше адаптироваться к изменяющимся условиям.

### Выводы

В ходе исследования задачи распознавания лиц в условиях мешающих факторов проанализирована технология в виде сверточной нейронной сети *LightCNN* с использованием языка программирования *Python* и фреймворка *PyTorch*. Обучение нейронной сети проводилось в течение до 40 эпох с применением ранней остановки при достижении оптимума.

По результатам работы ИНС показатели метрик *precision*, *recall* и *F1*-мера оказались вполне удовлетворительными. Валидационная точность оказалась выше обучающей, что указывает на отсутствие переобучения и устойчивость алгоритма. В целом невысокие показатели по отдельным метрикам были обусловлены «плохими» условиями сцены при ограниченной базе данных.

Поскольку ИНС обучалась на ограниченном наборе данных, реальное применение СПО в более сложных ситуациях потребует новой верификации. Дополнительному исследованию подлежит влияние таких факторов, как освещение, ракурс съемки, частичная закрытость лиц и др.

### Литература

1. Парфенович Д. Нейронные сети - от теории к практике. MQL5. 2012. <https://www.mql5.com/ru/articles/497>.
2. Бабаев А.М. Нейросетевые технологии распознавания трехмерных объектов // Межд. журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 12 (39). С.74-76.
3. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. MIT Press, 2016.
4. Abadi M. et al. TensorFlow: A System for Large-Scale Machine Learning. In 12th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation. 2016, pp. 265-283.
5. Wen Y. et al. A Discriminative Feature Learning Approach for Deep Face Recognition // European conference on Computer Vision. Springer, 2016, pp. 499-515.
6. Bishop C.M. Pattern recognition and machine learning. Springer, 2006.
7. Слои нейронной сети: BaseGroup Labs. 2018. <https://basegroup.ru/community/glossary/layer>.
8. Liu Z., Zhang C., Tian Y. 3D-based deep convolutional neural network for action recognition with depth sequences. 2016. <https://www.scienceirect.com>.
9. Bernstein M., Berg A., Fei-Fei L. ImageNet large scale visual recognition challenge // Int. Jour. of Computer Vision. 2015. 115(3), pp. 211-252.
10. Шелухин О.И., Ерохин С.Д., Полковников М.В. Технологии машинного обучения в сетевой безопасности. М.: Горячая линия-Телеком», 2021. 360 с.
11. Мэрфи К.П. Вероятностное машинное обучение: Введение. М.: ДМК Пресс, 2022. 940 с.
12. Bulat A., Tzimiropoulos G. How Far Are We From Solving the 2D & 3D Face Alignment Problem? // Proc. of the IEEE Int. conf. on Computer Vision. 2017, pp. 1021-1030.
13. Cao X. et al. Face Alignment by Explicit Shape Regression. Int. Jour. of Computer Vision. 2014. Vol. 107. No. 2, pp. 177-190.
14. Feng Z.H. et al. Wing Loss for Robust Facial Landmark Localization with Convolutional Neural Networks // Proc. of the IEEE conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. 2018, pp. 2235-2245.
15. Zafeiriou S. et al. The Menpo Facial Landmark Localisation Challenge: A Step Towards the Solution // Proc. of the IEEE conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. 2017, pp. 170-179.
16. Deng J. et al. ArcFace: Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition // Proc. of the IEEE conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. 2019, pp. 4690-4699.
17. Liu W. et al. SphereFace: Deep Hypersphere Embedding for Face Recognition // Proc. of the IEEE conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. 2017, pp. 212-220.
18. Guo Y. et al. MS-Celeb-1M: A Dataset and Benchmark for Large-Scale Face Recognition // Proc. of the European conf. on Computer Vision. Springer, 2016, pp. 87-102.
19. Paszke A. et al. PyTorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library // Advances in Neural Information Processing Systems. 2019, pp. 8024-8035.
20. Huang G.B. et al. Labeled Faces in the Wild: A Database for Studying Face Recognition in Unconstrained Environments. Technical Report 07-49/ Univ. of Massachusetts. Amherst, October 2007. 230 p.
21. Brock A., Donahue J., Simonyan K. Large Scale GAN Training for High Fidelity Natural Image Synthesis // Proc. of the Int. conf. on Learning Representations. 2019, pp. 213-226.





## PEOPLE INTERFERING FACTORS FACES IDENTIFICATION USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

**STANISLAW S. ZWIERZYNSKI,**  
Moscow, Russia

**ILYA K. NIZHNIK,**  
Moscow, Russia

**KEYWORDS:** *face identification, convolutional neural networks, accuracy, network training, special software.*

### ABSTRACT

**Introduction:** The study observes artificial neural network (ANN) identification of human faces under various interfering factors influence. **Purpose of the study:** increasing people faces identifying accuracy in the presence of interfering factors. **Results:** When analyzing for implementing special software, preference was given to the LightCNN architecture, a "lightweight" compact convolutional neural network for fast training on large data sets. The developed software includes an ANN, software modules and plug-in libraries, which together provide image recognition. Developed ANN architecture consists of alternating layers of convolutional, batch normalization

and pooling, ending with fully connected layers with ReLU activation function. To minimizing retraining, the thinning method was used; cross entropy was the loss function. For experimental testing, own dataset was collected using photographs of famous people from Internet resource "Labeled Faces in the Wild", with addition of interfering factors images. **Practical significance:** Light CNN architecture makes it possible to achieve high face recognition accuracy at least 0.96, even in presence of interfering factors. Software parameters optimizing, including batch size and learning speed, further increases the accuracy and stability of training.

### REFERENCES

1. D. Parfenovich. Neural networks – from theory to practice. MQL5. 2012. <https://www.mql5.com/ru/articles/497>.
2. A.M. Babaev. Neural network technologies for recognizing three-dimensional objects. *Int. Jour. of Humanities and Sciences*. 2019. No. 12 (39), pp. 74-76.
3. I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. Deep Learning. MIT Press. 2016.
4. M. Abadi et al. TensorFlow: A System for Large-Scale Machine Learning. *12th USENIX Symp. on Operating Systems Design and Implementation*. 2016, pp. 265-283.
5. Y. Wen et al. A Discriminative Feature Learning Approach for Deep Face Recognition. *European conference on Computer Vision*. 2016, pp. 499-515.
6. C.M. Bishop. Pattern recognition and machine learning. Springer. 2006.
7. Neural network layers. BaseGroup Labs. 2018. <https://basegroup.ru/community/glossary/layer>.
8. Z. Liu, C. Zhang, Y. Tian. 3D-based deep convolutional neural network for action recognition with depth sequences. 2016. <https://www.sciencedirect.com>.
9. M. Bernstein, A. Berg, L. Fei-Fei. ImageNet large scale visual recognition challenge. *Int. Jour. of Computer Vision*. 2015, no. 115(3), pp. 211-252.
10. O.I. Shelukhin, S.D. Erokhin, M.V. Polkovnikov. Machine learning technologies in network security. Moscow: Hotline-Telecom. 2021. 360 p.
11. K.P. Murphy. Probabilistic machine learning: An introduction. M.: DMK Press. 2022. 940 p.
12. A. Bulat, G. Tzimiropoulos. How Far Are We From Solving the 2D & 3D Face Alignment Problem? *Proc. of the IEEE Int. conference on Computer Vision*. 2017, pp. 1021-1030.
13. X. Cao et al. Face Alignment by Explicit Shape Regression. *Int. Jour. of Computer Vision*. 2014. Vol. 107. No. 2, pp. 177-190.
14. X. Feng Z.H. et al. Wing Loss for Robust Facial Landmark Localization with Convolutional Neural Networks. *Proc. of the IEEE conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2018, pp. 2235-2245.
15. S. Zafeiriou et al. The Menpo Facial Landmark Localization Challenge: A Step Towards the Solution. *Proc. of the IEEE conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2017, pp. 170-179.
16. J. Deng et al. ArcFace: Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition. *Proc. of the IEEE conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2019, pp. 4690-4699.
17. W. Liu et al. SphereFace: Deep Hypersphere Embedding for Face Recognition. *Proc. of the IEEE conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2017, pp. 212-220.
18. Y. Guo et al. MS-Celeb-1M: A Dataset and Benchmark for Large-Scale Face Recognition. *Proc. of the European conf. on Computer Vision*. 2016, pp. 87-102.
19. A. Paszke et al. PyTorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2019, pp. 8024-8035.
20. G.B. Huang et al. Labeled Faces in the Wild: A Database for Studying Face Recognition in Unconstrained Environments. Technical Report 07-49. Univ. of Massachusetts. Amherst. 2007. 230 p.
21. A. Brock, J. Donahue, K. Simonyan. Large Scale GAN Training for High Fidelity Natural Image Synthesis. *Proc. of the Int. conf. on Learning Representations*. 2019, pp. 213-226.

### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

**Stanislaw S. Zwierzynski**, PhD, Full Professor, Professor Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia  
**Ilya K. Nizhnik**, Master degree Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia

# ВЛИЯНИЕ КОНЦЕПЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА РАЗВИТИЕ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК

**ИСКАНДЕРОВ**

**Юрий Марсович<sup>1</sup>**

**ШАХНОВ**

**Сергей Федорович<sup>2</sup>**

**БУЦАНЕЦ**

**Артем Александрович<sup>2</sup>**

**ЧУМАК**

**Александр Сергеевич<sup>2</sup>**

## АННОТАЦИЯ

**Введение:** В статье рассмотрено возможное влияние концепции промышленного интернета вещей на развитие логистической деятельности. Изложены особенности функционирования систем промышленного интернета вещей. Повсеместное применение киберфизических систем, которые обладают возможностями самоорганизации и оптимизации без участия человека, открывает новые возможности для организации любого типа производства, в том числе портов и терминалов. Вместе с тем возникает необходимость в создании условий контроля и прогнозирования управляющих воздействий, которые могли бы с одной стороны оставлять самоорганизующуюся систему в определенных рамках, а с другой – осуществлять противодействие деструктивным внешним воздействиям. **Цель исследования:** В статье рассматривается переход исследовательского интереса от иерархически организованных структур с вертикальным управлением в сторону децентрализованных самоорганизующихся сетевых сообществ автономных агентов с горизонтальной координацией действий для достижения общих целей (например, многоагентных систем). Рассмотрены преимущества автономии логистических акторов. При полном равноправии, свободе действий и принятия решений при ограничении на иерархизацию, допускающем лишь частичное (временное, ситуационное) лидерство, и возникают такие преимущества, как простота внедрения, адаптивность и минимальный оперативный объем информации для заданного уровня обработки. Рассмотрена модель взаимодействующих предприятий в рамках цепочек поставок, основу которой определяет распределенная интегрированная логистическая среда, опирающаяся на комбинации ключевых компетенций логистики в так называемых саморегулируемых компетенц-центрах. **Результаты:** Для поддержки взаимодействия в автономных логистических системах предложено использовать P2P технологии для некоторых акторов, поскольку Эти технологии полностью децентрализованы и не нуждаются в какой-либо централизованной/иерархической структуре для управления взаимодействиями акторов. Проанализирована типовая современная глобальная логистическая сеть, сформированная в процессе динамического взаимодействия гетерогенных (человеческих и не-человеческих) акторов. Предложена классификация рисков, связанных с логистикой, построенная в соответствии с ценностными приоритетами, призванными руководствоваться принципами при принятии соответствующих административных решений и распределении финансовых затрат на обеспечение безопасности логистической деятельности.

## Сведения об авторах:

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН), г. Санкт-Петербург Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО "ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова", г. Санкт-Петербург Россия

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** промышленный интернет вещей, цепи поставок, логистическая деятельность, интеллектуализация, интегрированные логистические информационные системы

**Для цитирования:** Искандеров Ю.М., Шахнов С.Ф., Буцанец А.А., Чумак А.С. Влияние концепции промышленного интернета вещей на развитие цепей поставок // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2023. Т. 15. № 6. С. 26-33. doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-6-26-33

## Введение

Лавинообразный рост количества информации, усложнение моделей, обработка большого числа параметров и характеристик увеличивает технические требования, связанные со скоростью и качественными показателями обработки. Возросший масштаб одновременно задействованных автономных устройств, необходимость координации их действий, которые могут функционировать в различных условиях, а коммуникация между которыми происходит на основе протоколов, требует формирования адекватных алгоритмов организации и координации. Согласованные действия автономных устройств в реальных условиях подвергается множеству внешних и внутренних воздействий. Обеспечение согласованного взаимодействия в пространстве и времени является первостепенной необходимостью при решении практических организационно-технических задач.

Повсеместное применение киберфизических систем, которые обладают возможностями самоорганизации и оптимизации без участия человека, дает новые возможности организации производства. Вместе с тем возникает необходимость в создании условий контроля и прогнозирования управляющих воздействий, которые могли бы с одной стороны оставлять самоорганизующуюся систему в определенных рамках, а с другой – осуществлять противодействие деструктивным внешним воздействиям.

Развитие различных технологий АСУ, появление новой парадигмы производственных процессов в совокупности с использованием сети Интернет дает развитие новой модели производственных процессов, а именно, промышленному интернету вещей (англ. Industrial Internet of Things, IIoT), представляющему собой систему интегрированных компьютерных сетей и подключенных к ним производственных объектов со встроенными датчиками и программным обеспечением для сбора и обмена данными, с возможностью удаленного контроля и управления в автоматизированном режиме, без участия человека-оператора.

Технологии IIoT позволяют обеспечить обработку потока данных в реальном времени, оперативную реакцию и адаптацию функционирования производственных процессов с учетом изменений состояния внешней и внутренней среды, и реализацию принятия решений автономно, не привлекая знания и умения операторов-специалистов. Примером действий подобного характера является функционирование устройств, собирающих информацию о температуре и влажности в производственном помещении, в котором установлены необходимые датчики, которые передают данные по проводным и (или) беспроводным каналам связи для обработки в АСУ. В автоматическом режиме будет включен кондиционер, если в этой ситуации температура превысит установленные нормативные показатели. При нормализации условий возникшей ситуации кондиционер автоматически отключится, а система перейдет в режим оперативного мониторинга.

## Особенности IIoT-систем

Современная архитектура IIoT-систем может быть представлена тремя уровнями:

- первый уровень – уровень конечных устройств (вещей, Things);
- второй уровень – уровень сетевых шлюзов и хабов (Network);
- третий уровень – уровень облака (Cloud).

К первому уровню относятся различного рода датчики, сенсоры, контроллеры и прочее периферийное оборудование, необходимое для измерения всевозможных характеристик и передачи их значений по соответствующим коммуникационным каналам. Второй уровень формируют маршрутизаторы и хабы, реализующие концентрацию и подключение оконечного оборудования к сетевому серверу. Третий уровень образуется элементами виртуального пространства (Cloud), представляющего собой некоторый дата-центр, обрабатывающий, анализирующий и хранящий информацию.

На рисунке 1 представлена общая архитектура промышленного интернета вещей.

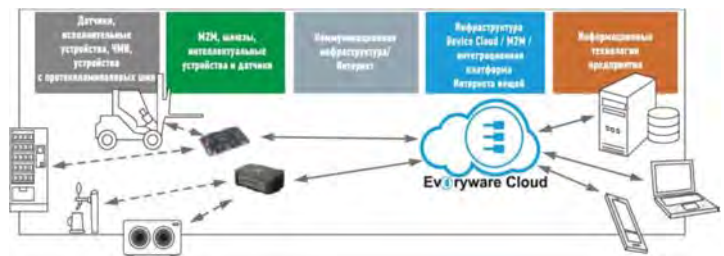


Рис. 1. Архитектура промышленного интернета вещей [1]

К процессам функционирования IIoT предъявляются высокие требования:

- жизненный цикл используемых устройств должен составлять не менее 25 лет;
- оперативная обработка огромных потоков данных (не менее 500 Гб трафика в день на одно устройство);
- бес рывное подключение устройств к Интернету;
- максимальная защита данных.

Использование технологий IIoT формирует современную интегрированную киберфизическую систему производства, позволяющую формировать единое информационное пространство всей цепочки предприятий, создающих конечную стоимость продукции (услуг). Интеллектуальные системы принимают на себя функции управления и принятия решений. IIoT позволяет изменить условия и алгоритмы взаимодействия в системе «производитель-поставщик-потребитель», тем самым обеспечивает повышение эффективности организации экономических и технологических процессов. Интеграция инфотелекоммуникационных и производственных технологий обеспечивает широкое применение современных методов ведения бизнеса и организации сервиса (например, использование «цифровых двойников», предиктивной аналитики, мягких вычислений, методов машинного обучения).

Технологии IIoT позволяют объединять различные ресурсы (производственные, транспортные, людские и др.) в интересах эффективного управления в гибкие виртуальные пулы (shared economy) и предоставлять пользователю результаты использования устройств (функции устройств) за счет

реализации сквозного механизма выполнения бизнес-процессов. Использование ПоТ позволяет перейти к «цифровой экономике», отличающейся прежде всего организационно-технологической трансформацией предприятий в открытые системы интегрированных высокоавтоматизированных производственных процессов, в которых основными элементами являются вполне определенные облачные сервисы, реализующие автоматическое управление соответствующими устройствами. Иначе говоря, движущей силой управления производством выступают информация и автоматические средства ее обработки.

Применение технологий ПоТ, как показывает уже накопленный мировой опыт, позволяет эффективно формировать сложные автоматизированные производственно-технологические процессы с учетом требований оперативности реализации, экономической обоснованности и охвата видов коммуникаций между производителями и потребителями различных товаров и услуг.

### ПоТ-системы в логистической деятельности

Постоянное упоминание о четвертой промышленной революции, индустрии 4.0, интернете вещей говорит о необходимости изменения ряда системных взглядов разработки, реализации и использования производственных технологий. Несмотря на продолжительное существование проблемных вопросов управления, контроля и прогнозирования самоорганизующихся систем и устройств актуальность данной тематики постоянно растет. В настоящее время идет бурное развитие областей связанных с реализацией автономных систем, имеющих возможность не только функционировать в рамках решения заранее поставленной задачи, но и самостоятельно, основываясь на системе знаний выбирать способы достижения результатов. Все сказанное формирует новые задачи, пути решения, которые лежат в создании новых технологий проектирования и программных реализаций.

Одной из ключевых сфер деятельности, на которую в полной мере оказывает влияние концепция промышленного интернета вещей, является логистическая деятельность.

«Управление цепью поставок», в соответствии с определением Европейской логистической ассоциации, представляет собой «интегральный подход к бизнесу, реализующий основные принципы управления логистической цепью, такие как: формирование функциональных стратегий, организационной структуры, методов принятия решений, управления ресурсами, реализация поддерживающих функций, систем и процедур» [2]. Объектами управления в цепях поставок являются материальные потоки и сервисные потоки (потоки услуг), а также сопутствующие информационные, финансовые потоки (рис. 2) [2].

В связи со стремительным развитием новейших информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и их интенсивным внедрением в логистике, наряду с традиционными направлениями стало развиваться новое направление – так называемая информационная логистика, предметом которой является формирование нового системного подхода к управлению интегрированными цепями поставок (ИЦП), исследование проблем эффективного использования логистической

информации, а также создание интегрированных логистических информационных систем (ИЛИС), обеспечивающих движение материальных потоков в ИЦП [3].



Рис. 2. Объекты управления в цепях поставок [2]

Основная задача информационной логистики – оптимизация информационного потока для достижения максимально эффективного и безопасного функционирования ИЦП в конкурентной среде. Объекты исследования указанного направления – информационные потоки и процессы их обработки при осуществлении производственной и коммерческой деятельности ИЦП. Предмет информационной логистики является оптимизация процессов получения, обработки, передачи и хранения информации, связанной с материальными потоками в ИЦП [3].

Информационная логистика, как научно-практической деятельность, обеспечивает создание ИЛИС в интересах поддержки решения логистических задач в условиях различного рода требований и ограничений, накладываемых на используемые ресурсы, для достижения стратегических и оперативных целей, таких как [3]:

- минимизация затрат и максимизация адаптивности организаций, входящих в ИЦП, к постоянно изменяющимся внешним условиям;
- увеличение конечной прибыли, увеличение доли рынка и рост конкурентных преимуществ на основе анализа рисков и обеспечения приемлемого уровня безопасности;
- оперативное, высокого уровня качества обслуживание потребителей;
- сокращение затрат на 20-50% за счет применения быстрого, качественного и своевременного обмена данными.

В последнее время в рамках системного анализа произошла «перефокусировка» исследовательского интереса от иерархически организованных структур с вертикальным управлением в сторону децентрализованных самоорганизующихся сетевых сообществ автономных агентов с горизонтальной координацией действий для достижения общих целей (например, многоагентных систем) [3]. Этот подход нашел свое применение и в управлении логистическими системами, была предложена модель взаимодействующих предприятий в рамках цепочек поставок, основу которой определяет распределенная интегрированная логистическая среда, опирающаяся на комбинации ключевых компетенций логистики в так называемых саморегулируемых компетенц-центрах [3].



В [5] предложена система интеллектуальных агентов цепи поставок. Были определены различные типы агентов, и каждый агент был наделен набором элементов управления. Элементы управления отвечают за поддержку принятия решений агентом при планировании и реализации оперативных задач с использованием различных протоколов, основанных на аналитических или имитационных моделях (например, модели складирования, маршрутизации, выдачи/доставки точно в срок). Основные модули предлагаемой системы состоят из агента и сервисов, выполняемых этим агентом.

Каждый из модулей предполагает способность к переговорам/коммуникации с другими агентами, выполняющими операции для улучшения существующих или создания новых сервисов. Простейший сервис в такой системе представляет собой элементарное проблемно-ориентированное действие, например, перемещение партии продукции из пункта А в пункт Б. Комбинации элементарных действий могут формировать комплексные сервисы, такие как, например, распределение продукции при заданных ограничениях, вплоть до уровня цепи поставок как целого, которая в этом смысле может рассматриваться как комплексный сервис.

Каждый комплексный сервис выполняется агентом, хотя выполнение составляющих его сервисов более низкого уровня может быть распределено на множестве других агентов (делегировано другим агентам). Поскольку агенты действуют автономно, между ними не существует отношения доминирования/подчинения. Таким образом, для получения сервиса одним агентом от другого (других) агентов эти агенты должны прийти к консенсусу относительно условий предоставления сервиса. Консенсус достигается посредством переговоров – процесса коллективного принятия решений, в котором стороны излагают свои (возможно, противоречивые) требования и далее итеративно приближаются к согласию путем уступок или поиска альтернатив [5].

Одним из магистральных направлений развития логистических систем в современном мире является их всесторонняя интеллектуализация [6]. В литературе понятие интеллектуальной логистики, как правило, относится к множеству логистических операций (например, складирование, перевозки пассажиров и грузов, распределение заказов, управление транспортными потоками), осуществляемых с применением новых организационно-управленческих подходов, методов автоматизации, новых информационно-коммуникационных технологий (в том числе, технологий искусственного интеллекта), что переводит управление логистическими процессами на качественно иной уровень по сравнению с традиционными практиками, применявшимися на более ранних этапах развития логистики.

Сегодня интеллектуальная логистика представлена рядом концепций, объединенных идеей интеллектуализации логистических операций, таких как отслеживание движения товаров и транспортных средств в режиме реального времени, автоматическая идентификация проблемных ситуаций, автоматизированное принятие и исполнение решений [7]. Эти концепции включают, в частности: автономную логистику [8], интеллектуальные продукты [9], интеллектуальные транспортные системы [7], «физический интернет» [10], самоорганизующиеся логистические сети [11].

Архитектура автономной логистики основана на процессах децентрализованного принятия решений и координации действий логистических акторов в гетерархических структурах. Автономное управление в логистических системах предполагает способность акторов обрабатывать информацию, независимо принимать и исполнять решения. Можно выделить следующие элементы, обеспечивающие автономное функционирование логистических акторов [8]:

1. Идентификатор альтернатив
2. Система оценки
3. Самоидентификация акторов
4. Система исполнения
5. Информационно-коммуникационные технологии

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) являются необходимым фактором обеспечения автономного функционирования логистических объектов (транспортных единиц и систем, продуктов, систем обработки и распределения заказов). Радиочастотные метки (RFID) играют важнейшую роль в автономных логистических процессах, заменяя собой традиционные штрих-кодовые идентификаторы. Радиочастотные метки интегрируются с системами геопозиционирования (GPS, Galileo, ГЛОНАСС), обеспечивая, тем самым, высокий уровень координации между автономными логистическими объектами. Автономия логистических акторов подразумевает их полное равноправие и свободу действий и принятия решений при ограничении на иерархизацию, допускающем лишь частичное (временное, ситуационное) лидерство, и предоставляет следующие преимущества [8]:

– Простота внедрения: как правило, достаточно лишь запустить процесс, не уделяя особого внимания контролю. В процессе самоорганизации система настроит сама себя.

– Адаптивность: для любой логистической системы одной из основных характеристик является ее приспособляемость к изменяющейся окружающей среде, например, к нарушаемым графикам, сбоям в работе оборудования, флуктуациям рынка, форс-мажорным обстоятельствам и т.д. самоорганизующаяся система мгновенно реагирует на подобные события (в идеале – ведет себя проактивно по отношению к таким событиям). Для таких систем нет необходимости во внешнем контуре управления для контроля и управляющих воздействий на систему. Такой управляющий контур как бы встроен в систему отношений/взаимодействий между автономными акторами.

– Минимальный оперативный объем информации: информация напрямую «считывается» сообществом взаимодействующих акторов и не нуждается в специальном централизованном сборе, хранении, обработке и передаче [12].

Для поддержки взаимодействия в автономных логистических системах акторы могут использовать P2P технологии. Эти технологии полностью децентрализованы, т.е. не нуждаются в какой-либо централизованной/иерархической структуре для управления взаимодействиями акторов. В [13] приводится пример успешного временного альянса между компаниями IBM и Maersk, созданного для оптимизации работы с транспортными документами. Результатом стало блокчейновое решение, позволившее собрать обширную сеть грузоотправителей, перевозчиков, портов и таможенных служб, в которой создание и подтверждение любого документа реализовывалось как блокчейновая транзакция.

Амбициозная цель проекта «физического интернета» (PI или  $\pi$ ) была определена его авторами как создание открытой глобальной логистической системы, основанной на физической, цифровой и операционной взаимосвязанности ее элементов посредством инкапсуляции, интерфейсов и протоколов [10]. Эта идея, расширяющая мир «интернета вещей», включая в него процессы сетевого обмена материальными объектами в физическом пространстве, и подводящая нас вплотную к концепции «интернета всего», вполне вписывается в современную интеллектуальную тенденцию «поворота к материальному».

Концепция «физического интернета» предполагает формирование открытой, глобальной, эффективной, устойчиво развивающейся логистической гиперсети, собранной из взаимосвязанных сетей материальных, виртуальных (цифровых) и социальных акторов. Для создания стабильно функционирующей системы авторы проекта предполагают ассоциировать пять сетей с большим числом гетерогенных компонентов: (а) сеть мобильности; (б) сеть распределения; (в) сеть реализации; (г) сеть поставок; (д) сеть обслуживания. Система как целое может достигнуть цели, заложенной в нее ее создателями, только через тщательно определенные отношения и взаимосвязи между пятью формирующими ее сетями. Набор стандартизированных протоколов, основанных на оценке критических факторов (скорость, уровень обслуживания, надежность, безопасность) был предложен для мониторинга действий  $\pi$ -акторов [10].

Интеллектуальный продукт интегрирует информацию и правила, относящиеся к его подготовке, хранению, обработке, пространственному перемещению, что наделяет его способностью поддержки указанных операций [9]. Важным функциональным элементом в архитектурах «интернета вещей» и «физического интернета» является информационно-коммуникационная инкапсуляция, представленная, в частности, концепцией интеллектуальных  $\pi$ -контейнеров, перемещающих интеллектуальные продукты и обменивающихся информацией с ними. Интеллектуальные продукты создают вокруг себя устойчивую систему, обеспечивающую их оптимальное прохождение по цепи поставок, через взаимодействие и альянсы с другими акторами ИЦП.

В основу интеллектуальных транспортных систем (ИТС) положены инновационные решения, связанные с мультимодальными перевозками и управлением транспортными потоками, обеспечивающие оптимально скоординированное, эффективное и безопасное использование транспортных сетей [7]. Такие решения, основанные, в том числе, на многоагентном подходе, представляются очень хорошо применимыми в транспортных системах по следующим основным причинам [14]:

– Задачи маршрутизации являются имманентно распределенными. Транспортные единицы и заказы на перевозку распределены не только пространственно (географически), но также поддерживают определенный уровень автономии.

– Задачи маршрутизации всегда сталкиваются с множеством событий, динамически перетекающих одно в другое. Многоагентные архитектуры способны моделировать такую динамику.

– При использовании классических (алгоритмических) методов маршрутизации большой объем информации должен храниться, поддерживаться и обрабатываться централизованно. При этом доступ к такой информации может быть ограничен и защищен правами собственности. Таким образом, получение, обработка и передача информации, необходимой для оптимальной маршрутизации, может быть затруднена. Многоагентный подход предлагает альтернативные решения с использованием только доступных локальных данных.

– Перевозчики постоянно вовлечены в переговоры и взаимодействия с другими участниками рынка, постоянно требующие принятия решений. Многоагентные технологии предлагают эффективную поддержку переговорных процессов и принятия решений, какую не могут предоставить оптимизационные алгоритмы.

В течение последних трех десятилетий международный логистический рынок был свидетелем роста глобальной тенденции формирования и развития разного рода альянсов между независимыми логистическими провайдерами. Эта тенденция сопровождалась все большей диверсификацией и виртуализацией логистических услуг, их географической интеграцией (глобальным пространственным перераспределением центров производства и цепей поставок для достижения экономического эффекта масштаба и проникновения в новые рыночные области) и социальной интеграцией (социальной адаптацией новейших логистических концептов) [15].

Альянсы между локальными независимыми логистическими провайдерами (как правило, малыми и средними предприятиями) быстро развернулись в глобально распределенные логистические сети, вступающие в активную и успешную конкуренцию с транснациональными корпорациями. В настоящее время десятки логистических сетей успешно функционируют по всему миру, и их число постоянно увеличивается.

Таким образом, сформировался и постоянно развивается новый рынок – рынок логистических сетей – со своими лидерами и специализированными игроками, ориентированными на конкретные географические регионы или рыночные ниши. Предпринимаются также попытки интеграции отдельных логистических сетей в гиперсети. Еще одна важная тенденция имеет шанс стать доминирующей на глобальном логистическом рынке в ближайшее время: ряд глобальных логистических сетей работает над интеграцией онлайн-овых B2B и B2C платформ и Интернета вещей (IoT) с целью превращения таких виртуально-материальных сетей в глобально распределенных многофункциональных кибер-логистических провайдеров. Успешный опыт в этом направлении демонстрирует, в частности, применение технологий, подобных UBER.

Типичная современная глобальная логистическая сеть формируется в процессе динамического взаимодействия гетерогенных (человеческих и не-человеческих) акторов: глобально распределенных независимых логистических провайдеров (участников сети); координационного совета и специализированных комитетов; перемещаемых материальных объектов (грузов); информации (текстов, знаний); финансов; различных видов транспорта; контейнеров; цепей поставок; транспортных сетей, их инфраструктуры и внешней среды, в которую они погружены; местных, национальных и

международных законов, правил и обычаев; контролирующих организаций; портов; терминалов; распределительных центров, их персонала и оборудования; производителей и потребителей товаров и услуг; информационно-коммуникационных и иных технологий и т.д.

Структура логистической сети отражает не только общую волю и интерес ее членов к поиску общих материализуемых решений, но также и баланс между силами, мобилизуемыми сетью для поддержания стабильности, и силами, мобилизуемыми конкурентами сети [11].

В [11] приводится пример глобальной логистической сети, рассматриваемой как непрерывный процесс формирования и самоорганизации с постоянным притоком новых и оттоком старых акторов, созданием и разрушением P2P-альянсов внутри сети. Для этой сети формула Манифеста Agile «личности и взаимодействия превалируют над процессами и инструментами» [16] трансформируется в: «качество (акторов) превалирует над их количеством».

Каждый новый участник логистической сети вносит свой вклад в формирование сетевой культуры и, одновременно, адаптируется к ней. Сила самоорганизующихся логистических сетей в их мобильности и изменчивости: несовместимые с сетью элементы (участники сети или вовлекаемые ими в сеть гетерогенные акторы) отторгаются сетью, и сеть постоянно обновляется за счет замены акторов. Каждый новый участник сети привносит с собой множество связанных и взаимодействующих с ним производителей, поставщиков, потребителей, товаров, контейнеров, операторов локального транспорта, местных представительств международных морских, воздушных, железнодорожных и автоперевозчиков, портов, аэропортов, логистических хабов и терминалов, местных властей и действующих правил, знаний национального рынка, культуры и традиций ведения бизнеса.

Любой участник глобальной логистической сети действует как посредник между акторами, связанными со страной, которую он представляет в сети, и участниками сети из других стран через создание P2P-альянсов с этими участниками. В этом процессе проявляет себя конкурентоспособность глобальных логистических сетей: локальные акторы, представляемые в сети ее участниками, начинают тяготеть к взаимодействию с сетью через ослабление (или даже разрыв) их ранее стабильных связей с транснациональными корпорациями. Эти новые альянсы акторов с логистической сетью могут создавать условия для запуска международных логистических проектов и формирования новых цепей поставок [11].

В то же время эволюция и постоянное усложнение логистических процессов и структур связаны с растущими рисками как для самих цепей поставок и участников логистических процессов, так и для среды, в которой они функционируют. В самом общем виде риски, связанные с логистикой, могут быть классифицированы следующим образом [17]:

1. Риски для безопасности людей, тем или иным образом участвующих в транспортно-логистических процессах или имеющих какое-либо отношение к ним.

2. Экологические риски, связанные с осуществлением транспортно-логистической деятельности.

3. Финансово-экономические и правовые риски сделок, связанных с оказанием транспортно-логистических услуг.

4. Риски для технической безопасности грузов, транспортных средств, терминально-складских комплексов и иных искусственных объектов, вовлеченных в транспортно-логистические процессы или испытывающих на себе воздействие этих процессов (включая техническую безопасность любых объектов транспортно-логистической инфраструктуры в отношении рисков, вызванных любыми природными или антропогенными воздействиями на эти объекты).

5. Информационная безопасность логистических систем.

Эта классификация построена в соответствии с ценностными приоритетами, призванными служить руководящими принципами при принятии соответствующих административных решений и распределении финансовых затрат на обеспечение безопасности логистической деятельности. Стратегия развития логистической системы будет оптимальной, если максимальная эффективность ее функционирования будет достигнута при минимальных рисках и максимальной безопасности [18,19]. Иными словами, развитие систем безопасности не должно приводить к снижению эффективности функционирования логистической системы, и наоборот, увеличение эффективности логистических процессов не должно достигаться за счет их безопасности.

При этом стоит заметить, что многие факторы, являющиеся признанными экономическими ресурсами (например, топология транспортных сетей, обеспечивающая, в частности, высокую интегральную транспортную доступность отдельных населенных пунктов в пределах сети), оказываются также важными ресурсами для повышения уровня безопасности участников транспортно-логистических процессов и окружающей среды. Универсальность разрабатываемых систем безопасности, позволяющих эффективно управлять максимальным количеством возможных рисков (так как многие комплексные транспортно-логистические риски одновременно затрагивают несколько или все виды безопасности) также является важным фактором [18,19].

В поддержании устойчивости управления информационной и общей безопасностью логистических систем ключевую роль играет инженерия знаний. Важно не только постоянно пополнять и обновлять базы знаний отдельных логистических акторов, интегрируемых в единое хранилище знаний логистической системы, чтобы содержащиеся в них знания учитывали актуальную информацию об внешних угрозах системной безопасности и могли эффективно обеспечивать оперативную оценку возможных целей атак и прогнозирование их возможных последствий, но и выявлять внутренние угрозы - уязвимые элементы системы, чтобы усилить их защиту от несанкционированного доступа к ним [18,19]. Поскольку абсолютное большинство угроз системной безопасности порождается умышленной девиантной активностью людей, исследование намерений играет важнейшую роль в формировании экспертных знаний. Техники психологического профайлинга (PP) и структурной диагностики девиантного поведения (SA) должны быть мобилизованы для обнаружения потенциальных инсайдерских атак. По-прежнему остается открытым важный вопрос о возможности проактивных действий системы для предотвращения вмешательств извне [18,19].

## Заключение

Быстрое развитие, диверсификация, усложнение логистических систем и процессов, усиление их социальной роли сопряжены с неизбежным ростом неопределенностей и рисков для безопасности и эффективности осуществления перевозок, которая приводит к возрастающей потребности проактивного управления. При таком управлении возможно достичь снижения потенциальных рисков и повышения эффективности работы логистической системы, а для получения такого результата предлагается использовать подход, формируемый человеческими и не-человеческими акторами, взаимодействующими между собой для принятия решений, планирования и осуществления действий при достижении определенных целей.

Подход с позиции подкласса социотехнических систем основан на современном «сетевом мышлении», порожденном междисциплинарными изысканиями, изначально связанными с кибернетикой, системным анализом (теорией систем), синергетикой, теорией сложности и нелинейной динамикой [4]. Он успешно продолжает свое развитие в акторно-сетевой теории и других новейших методах исследования сложных гетерогенных систем [18,19].

## Литература

1. Китова О.В. и др. Цифровой бизнес: учебник: для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 38.04.01 «Экономика», 38.04.02 «Менеджмент». М.: Инфра-М, 2019. 416 с.
2. Тимралиев И.В. Международные цепи поставок: понятие, сущность, современное состояние и особенности управления // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ), № 1 (73), 2021. С. 21-27.
3. Нагина Е.К., Ищенко В.А. Информационная логистика. Теория и практика: Учебно-методическое пособие. Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2007. 87 с.
4. Куркина Е.С., Князева Е.Н. Методология сетевого анализа социальных структур // Философия науки и техники, №22 (2), 2017. С. 120-135.
5. Chun-Che Huang, Tzu-Liang (Bill) Tseng, Hong-Fu Chuang, Yu-Neng Fan. An Agent-based Approach to Enhance Supply Chain Agility in a Heterogeneous Environment // Trends in Supply Chain Design and Management. Technologies and Methodologies. 2007, pp. 149-177.
6. Селиверстов Я.А., Селиверстов С.А. О применении методов искусственного интеллекта при построении современных

логистических систем // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт России: проблемы и перспективы». Санкт-Петербург, 2010. С. 58-62.

7. McFarlane D., Giannikas V., Lu W. Intelligent logistics: Involving the customer. Computers in Industry. 2016, doi:10.1016/j.compeind.2015.10.002.
8. Windt K., Hülsmann M. Changing Paradigms in Logistics – Understanding the Shift from Conventional Control to Autonomous Cooperation and Control. In: Hülsmann, M.; Windt, K. (eds.): Understanding Autonomous Cooperation & Control – The Impact of Autonomy on Management, Information, Communication, and Material Flow. Springer, Berlin, 2007, pp. 4-16.
9. Meyer G. G., Främling K., Holmström J. Intelligent products: A survey. Computers in Industry 60 (3), 2009, pp. 137-148.
10. Montreuil B. Toward a physical internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge // Logistics Research, no. 3(2-3), 2011, pp. 71-87.
11. Iskanderov Y., Pautov M. Actor-Network Approach to Self-organisation in Global Logistics Networks. In: Kotenko I., Badica C., Desnitsky V., El Baz D., Ivanovic M. (eds) Intelligent Distributed Computing XIII. IDC 2019. Studies in Computational Intelligence, vol 868. Springer, Cham.
12. Bartholdi III John J., Eisenstein Donald D., LIM Y.F. Self-Organizing Logistics Systems // Annual Reviews in Control., 2010, no. 34(1), p. 111. Research Collection Lee Kong Chian School of Business. Available at: [http://ink.library.smu.edu.sg/lkcsb\\_research/1869](http://ink.library.smu.edu.sg/lkcsb_research/1869)
13. Hackius N., Petersen M. Blockchain in Logistics and Supply Chain: Trick or Treat? // Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL), 23, 2017.
14. Lang N.A., Moonen J.M., Srour F., Zuidwijk Rob. Multi Agent Systems in Logistics: A Literature and State-of-the-art Review. Erasmus Research Institute of Management (ERIM), ERIM is the joint research institute of the Rotterdam School of Management, Erasmus University and the Erasmus School of Economics (ESE) at Erasmus Uni, Research Paper. 2008.
15. Van Duin J.h.r. (Ron). Logistics Concept Development in Multi-Actor Environments. Aligning stakeholders for successful development of public/private logistics systems by increased awareness of multi-actor objectives and perceptions. 2012. 10.13140/2.1.1426.9122.
16. Agile Manifesto (public resource): <https://agilemanifesto.org>.
17. Паутов М.Д. О деятельности международных грузовых экспедиторов в аспекте глобальной транспортной безопасности // Избранные материалы докладов и выступлений Международного форума «Безопасность транспортных комплексов». Санкт-Петербург, 2010. [www.transportsafety.ru](http://www.transportsafety.ru).
18. Искандеров Ю.М., Паутов М.Д. Модель интеллектуальной системы управления информационной безопасностью для цепей поставок на основе пространственных концепций акторно-сетевой теории // Информатизация и связь. №5, 2020. С. 94-106.





## THE IMPACT OF THE INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS CONCEPT ON THE DEVELOPMENT OF SUPPLY CHAINS

**YURI M. ISKANDEROV,**  
 St. Petersburg, Russia

**SERGEY F. SHAKHNOV,**  
 St. Petersburg, Russia

**ARTEM A. BUTSANETS,**  
 St. Petersburg, Russia

**ALEXANDER S. CHUMAK,**  
 St. Petersburg, Russia

### ABSTRACT

**Introduction:** Different information system designs are moving from a classical monolithic network architecture to a microservice one. Therefore, there is a need to set requirements to the performance of interconnection between microservices, which are implemented using various frameworks. **The aim of this study** is to make a comparative analysis of frameworks for data transmission in a microservice architecture according to several criteria as well as to develop recommendations for effective selection of tools for microservice communication. **The results** of the study include a comparative analysis of RPC frame-

**KEYWORDS:** *industrial Internet of things, supply chains, logistics activities, intellectualization, integrated logistics information systems.*

works by the following criteria: the availability of a registration centre, the availability of built-in framework-level security features, the main serialization technologies, the ability to balance the load. An experimental stand was developed; it was used to measure time delays and to make their comparative analysis while transmitting different data workload. When small amounts of information are transferred, the values obtained indicate that the RPCX framework has the lowest latency for a remote procedure call, while Apache Dubbo, on the contrary, has the highest latency. When the transfer type switches from unary calls to streaming, the latency decreases.

### REFERENCES

1. O.V. Kitova and others. Digital business: textbook: for students of higher educational institutions studying in the areas of training 04/38/01 "Economics", 04/38/02 "Management". Moscow: Infra-M, 2019. 416 p.
2. I.V. Timraliev. International supply chains: concept, essence, current state and management features. *Bulletin of the Rostov State Economic University (RINH)*. No. 1 (73), 2021, pp. 21-27.
3. E.K. Nagina, V.A. Ishchenko. Information logistics. Theory and practice: Educational and methodological manual. Voronezh: IPC VSU, 2007. 87 p.
4. E.S. Kurkina, E.N. Knyazeva. Methodology for network analysis of social structures. *Philosophy of Science and Technology*, no. 22 (2), 2017, pp. 120-135.
5. Chun-Che Huang, Tzu-Liang (Bill) Tseng, Hong-Fu Chuang, Yu-NengFan. An Agent-based Approach to Enhance Supply Chain Agility in a Heterogeneous Environment. *Trends in Supply Chain Design and Management. Technologies and Methodologies*. 2007, pp. 149-177.
6. Ya.A. Seliverstov, S.A. Seliverstov. On the use of artificial intelligence methods in the construction of modern logistics systems. *Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference "Transport of Russia: problems and prospects."* St. Petersburg, 2010, pp. 58-62.
7. D. McFarlane, V. Giannikas, W. Lu. Intelligent logistics: Involving the customer. *Computers in Industry*. 2016, doi:10.1016/j.compind.2015.10.002.
8. K. Windt, M. Hulsmann. Changing Paradigms in Logistics – Understanding the Shift from Conventional Control to Autonomous Cooperation and Control. In: Hulsmann, M.; Windt, K. (eds.): *Understanding Autonomous Cooperation & Control – The Impact of Autonomy on Management, Information, Communication, and Material Flow*. Springer, Berlin, 2007, pp. 4-16.
9. G.G. Meyer, K. Framling, J. Holmstrom. Intelligent products: A survey. *Computers in Industry*, no. 60 (3), 2009, pp.137-148.

10. B. Montreuil. Toward a physical internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge. *Logistics Research*, no. 3 (2-3), 2011, p. 71-87.
11. Y. Iskanderov, M. Pautov. Actor-Network Approach to Self-organisation in Global Logistics Networks. In: Kotenko I., Badica C., Desnitsky V., El Baz D., Ivanovic M. (eds) *Intelligent Distributed Computing XIII*. IDC 2019. *Studies in Computational Intelligence*, vol 868. Springer, Cham.
12. Ill Bartholdi, J. John, Donald D. Eisenstein, Y.F. LIM. Self-Organizing Logistics Systems. *Annual Reviews in Control.*, 2010, no. 34(1), p. 111. Research Collection Lee Kong Chian School Of Business. Available at: [http://ink.library.smu.edu.sg/lkcsb\\_research/1869](http://ink.library.smu.edu.sg/lkcsb_research/1869)
13. N. Hackius, M. Petersen. Blockchain in Logistics and Supply Chain: Trick or Treat? *Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL)*, no. 23, 2017.
14. N.A. Lang, J.M. Moonen, F. Srour, Rob Zuidwijk. Multi Agent Systems in Logistics: A Literature and State-of-the-art Review. Erasmus Research Institute of Management (ERIM), ERIM is the joint research institute of the Rotterdam School of Management, Erasmus University and the Erasmus School of Economics (ESE) at Erasmus Uni, Research Paper. 2008.
15. Van Duin J.h.r. (Ron). Logistics Concept Development in Multi-Actor Environments. Aligning stakeholders for successful development of public/private logistics systems by increased awareness of multi-actor objectives and perceptions. 2012. 10.13140/2.1.1426.9122.
16. Agile Manifesto (public resource): <https://agilemanifesto.org>
17. M.D. Pautov. On the activities of international freight forwarders in the aspect of global transport security. *Selected materials from reports and speeches of the International Forum "Safety of Transport Complexes"*. St. Petersburg, 2010. [www.transportsafety.ru](http://www.transportsafety.ru)
18. Yu.M. Iskanderov, M.D. Pautov. Model of an intelligent information security management system for supply chains based on spatial concepts of actor-network theory. *Informatization and communication*. No. 5, 2020, pp. 94-106.

### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

**Yuri M. Iskanderov**, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPCRAS), St. Petersburg, Russia  
**Sergey F. Shakhnov, Artem A. Butsanets, Alexander S. Chumak**, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Russia

**For citation:** Iskanderov Y.M., Shakhnov S.F., Butsanets A.A., Chumak A.S. The impact of the Industrial Internet of Things concept on the development of supply chains. *H&ES Reserch*. 2023. Vol. 15. No 6. P. 26-33. doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-6-26-33 (In Rus)

# ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ШИРОКОПОЛОСНОГО МОБИЛЬНОГО ДОСТУПА ТЕХНОЛОГИИ WI-FI

**СТЕПАНОВА**  
Ирина Владимировна<sup>1</sup>

**ПАТЕНЧЕНКОВА**  
Елена Константиновна<sup>2</sup>

## АННОТАЦИЯ

**Объект исследования:** беспроводные систем технологии Wi-Fi для мобильных устройств сотрудников корпорации и гостей компании. **Введение:** Беспроводные технологии Wi-Fi созданы для удобства выхода в сеть Интернет-пользователей с устройствами доступа разного технического уровня. Основными преимуществами данных технологий являются: простота развертывания сетевой структуры, гибкость архитектуры, простота проектирования и высокая скорость реализации. Серьезным недостатком данных систем является нестабильная скорость соединения. **Методы:** Один из способов решения этой проблемы и увеличения радиуса зоны покрытия беспроводной сети является создание распределённой гетерогенной сети на основе нескольких точек беспроводного доступа, объединенных кабельным сегментом сети. **Результаты:** При построении систем широкополосного мобильного доступа необходимо решать следующие задачи: формулировка технического задания, согласно которому будет предложено техническое решение; выбор наиболее актуального стандарта Wi-Fi для построения системы мобильного широкополосного доступа; выбор производителя оборудования и моделей сетевого оборудования; определение диапазонов радиовещания, каналов и количества Service Set Identifier (SSID); оценка качества связи с привязкой к поэтажным планам строений и с учетом предполагаемой плотности пользователей. Материал статьи предполагается использовать как дополнительный при проведении практических занятий по дисциплине Управление инфокоммуникационными сетями.

## Сведения об авторах:

<sup>1</sup> доцент, кандидат технических наук,  
Московский технический университет  
связи и информатики, Москва, Россия

<sup>2</sup> старший преподаватель, Московский  
технический университет связи и  
информатики, Москва, Россия

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Широкополосный мобильный доступ, стандарты WI-FI, точка доступа, серверы, радио обследование, особенности проектирования, система мониторинга, доступ с паролем

---

**Для цитирования:** Степанова И.В., Патенченкова Е.К. Особенности построения систем широкополосного мобильного доступа технологии WI-FI // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2023. Т. 15. № 6. С. 34-42.  
doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-6-34-42

## Введение

Беспроводные технологии Wi-Fi созданы для удобства выхода в сеть Интернет-пользователей с устройствами доступа разного технического уровня. Имеют следующие преимущества:

- простота развертывания сетевой структуры;
- гибкость архитектуры;
- простота проектирования и высокая скорость реализации, обусловленная отсутствием больших объемов прокладки кабелей, требующей штробирования стен.

Одним из серьезнейших недостатков данных систем является нестабильная скорость соединения, находящаяся в зависимости от числа и структуры преград, расстояния между приёмником и передатчиком, условий электромагнитной совместимости.

Один из способов решения данной проблемы и увеличения радиуса зоны покрытия беспроводной сети является создание распределённой гетерогенной сети на основе нескольких точек беспроводного доступа, объединённых кабельным сегментом сети.

### Тенденции развития технологии Wi-Fi

Технология Wi-Fi появилась в виде стандарта 802.11–1997 в 1997 году. В 1999 году на рынке телекоммуникационных технологий появилось оборудование стандартов IEEE 802.11a и IEEE 802.11b, использующее разные и несовместимые друг с другом частотные диапазоны. IEEE 802.11a использовал более перспективный на сегодняшний день частотный диапазон 5 ГГц и предлагал скорость передачи данных до 54 Мбит/с. IEEE 802.11b работал в частотном диапазоне 2,4 ГГц со скоростью передачи данных до 11 Мбит/с. Стандарт IEEE 802.11a по всем параметрам превосходил IEEE 802.11b – по скорости, по модуляции, по количеству каналов. Частотный диапазон 5 ГГц, в отличие от диапазона 2,4 ГГц был свободен от помех от бытовых электроприборов и беспроводных устройств. Однако популярность получил менее перспективный стандарт IEEE 802.11b, устройства с поддержкой которого были проще в производстве, дешевле и надежнее. На территории Российской Федерации для использования технологии Wi-Fi был отведен только частотный диапазон 2,4 ГГц, а частотный диапазон 5 ГГц стал доступен по решению Государственной комиссии по радиочастотам Российской Федерации [1-3].

В 2003 году появился стандарт IEEE 802.11g-2003, в котором были реализованы основные преимущества стандарта 802.11a, но в диапазоне 2,4 ГГц – канальная скорость 54 Мбит/с, мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM), использовались фазовая модуляция (BPSK, QPSK) и квадратурно-амплитудная модуляция (16-QAM и 64-QAM). Стандарт IEEE 802.11g-2003 был совместим с IEEE 802.11b-1999, поэтому стал логичным продолжением IEEE 802.11b.

Частотный диапазон 5 ГГц вернулся в беспроводные сети Wi-Fi с появлением стандарта IEEE 802.11n-2009. Данный стандарт обладал рядом нововведений, которые позволили технологии Wi-Fi впервые приблизиться по скорости к тех-

нологии FastEthernet по кабелю (100 Мбит/с), начать конкурировать с технологией Ethernet и кабельной инфраструктурой и популяризировать технологию Wi-Fi в целом. Если до 2007 года Wi-Fi использовался в узком кругу бизнеса и IT-специалистов, то с выходом Wi-Fi 4, как позже назовут 802.11n-2009, Wi-Fi распространился повсеместно.

В конце нулевых годов XXI века стали массово распространяться смартфоны и планшеты с поддержкой Wi-Fi, большинство домашних операторов подключали клиентов, предоставляя им беспроводной маршрутизатор с поддержкой Wi-Fi, а гостевые сети в общественных местах, таких, как кафе и отели, получили массовое распространение.

Преимущества стандарта IEEE 802.11n-2009 насчитывают несколько пунктов. Появилась поддержка как S-диапазона 5 ГГц, так и S-диапазона 2,4 ГГц. Новая версия Wi-Fi также получила технологию MIMO (Multiple-Input Multiple-Output, многоканальный вход/выход) с поддержкой до четырех приемопередающих трактов [11-13].

С использованием MIMO радиосигналы передаются различными антеннами и мультиплексируются при использовании пространственного разнесения радиосигналов в одном и том же частотном канале. Такие пространственно-разнесенные сигналы называются пространственными потоками. Устройство может передавать несколько информационных потоков параллельно с разделением по пространственным потокам, что позволяет увеличить канальную скорость без расширения полосы канала [14-15].

Стало возможным использовать как каналы шириной 20 МГц, так и 40 МГц, что вдвое увеличило канальную скорость. В результате всего перечисленного увеличилась пропускная способность и теперь канальная скорость теоретически возросла до 600 Мбит/с.

В 2013 году появился стандарт IEEE 802.11ac-2013. Если стандарт 802.11n использовал оба частотных диапазона, то новый стандарт 802.11ac уже использовал только частотный диапазон 5 ГГц. К 2013 году стало понятно, что частотный диапазон 2,4 ГГц полностью устарел. Использование широких каналов в данном частотном диапазоне приводило к взаимным влияниям между точками доступа. Количественное развитие частотного диапазона 2,4 ГГц практически остановилось и продолжилось в виде качественного развития только в 802.11ax с использованием более сложных квадратурно-амплитудных модуляций, но не с расширением каналов. Поскольку в новом стандарте частотный диапазон 2,4 ГГц не был затронут, в устройствах 802.11 ac с двумя частотными диапазонами приёмопередатчик в частотном диапазоне 2,4 ГГц использовал предыдущую версию Wi-Fi 802.11n.

В 2018 году появился актуальный на данный момент стандарт 802.11ax (Wi-Fi 6), однако утверждён был позднее в 2021 году. Были добавлены следующие возможности. Отметим, что в стандарте 802.11ax возможно наличие поддержки частотного диапазона 6 ГГц, данная версия имеет обозначение Wi-Fi 6E (см. рис. 1).

До недавнего времени использование частотного диапазона 6 ГГц на территории Российской Федерации было законодательно запрещено, поэтому частотный диапазон 6 ГГц в сетях предприятий и образовательных учреждений полностью отсутствовал как в проектировании, так и на практике.

	Wi-Fi 6	Wi-Fi 6E
Frequency	2.4 GHz and 5 GHz	6 GHz
PHY technology	1024-QAM	1024-QAM
Modulation mode	OFDMA UL/DL MU-MIMO	OFDMA UL/DL MU-MIMO
Number of spatial streams	8	8
Channel bandwidth	20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, 160 MHz, 80+80 MHz	20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, 160 MHz, 80+80 MHz
BSS coloring	Supported	Supported
TWT	Supported	Supported

Рис. 1. Стандарты Wi-Fi 6 и Wi-Fi 6E

В настоящее время законодательство позволяет использовать частотный диапазон 6 ГГц в интервале 5,9–6,4 ГГц для стандарта связи Wi-Fi 6E в закрытых помещениях, домах, офисах и учреждениях (на территории Российской Федерации в условиях помещений), и это может быть полезно в условиях высокой плотности клиентов [3, 4].

Существуют несколько способов повышения плотности клиентов на одну точку доступа. В ряде случаев используется точки доступа с тремя приемопередатчиками, что позволяет выделить для частотного диапазона 5 ГГц сразу два приемопередатчика. Таким образом, точка доступа с двумя приемопередатчиками фактически представляет собой две независимые точки доступа в одном едином устройстве. Использование частотного диапазона 6 ГГц позволяет использовать трехдиапазонные точки доступа (см. рис. 2), которые позволят обслуживать клиентов в трехчастотных диапазонах 2,4; 5 и 6 ГГц. В ближайшем будущем данные точки доступа будут перспективнее, чем трехдиапазонные точки с двумя приемопередатчиками 5 ГГц, поскольку развитие частотного диапазона 6 ГГц приведёт к появлению большого количества клиентских устройств с его поддержкой.

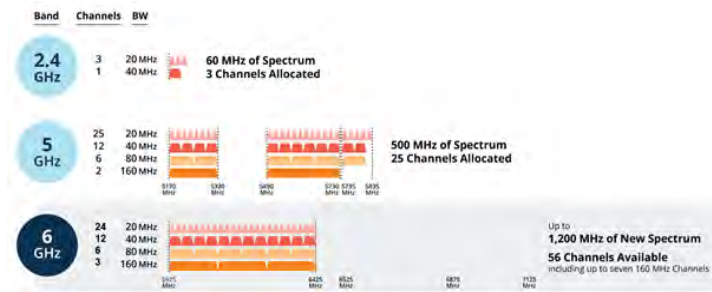


Рис. 2. Частотные диапазоны 2,4, 5 и 6 ГГц, используемые в беспроводных сетях Wi-Fi

Частотный диапазон 6 ГГц имеет большие перспективы развития, чем частотный диапазон 5 ГГц, по сути являясь его продолжением в полосах частот (см. рис. 2). Диапазон 6 ГГц в ГГц в полосах частот 5,9–6,4 ГГц имеет 24 канала шириной 20 МГц, а с учётом того факта что на территории Российской Федерации в частотном диапазоне 5 ГГц разрешено использовать только 17 каналов, превышает возмож-

ности частотного диапазона 5 ГГц по количеству каналов. Wi-Fi 6E и его преемник Wi-Fi 7 основаны на использовании нового частотного диапазона 6 ГГц, и это является очень масштабным изменением и наиболее значимым событием в мире Wi-Fi после появления стандарта 802.11n.

В настоящее время наиболее распространенными стандартами беспроводной передачи данных являются 802.11n (Wi-Fi 4), 802.11ac (Wi-Fi 5) и 802.11ax (Wi-Fi 6). В данной работе мы проектируем систему беспроводной передачи данных, ориентируясь на эти три стандарта, но также ориентируемся на частотный диапазон 6 ГГц в рамках стандарта Wi-Fi 6E. Точка доступа TP-Link Omada EAP770 имеет поддержку черновой версии Wi-Fi 7, но на территории Российской Федерации в настоящее время разрешено только использование стандарта Wi-Fi 6E. С технической точки зрения между стандартами Wi-Fi 6E и Wi-Fi 7, который будет принят в ближайшие годы, нет значимых различий в полосах частот и частотных диапазонах, поэтому есть все основания полагать, что, например, проектируемые точки доступа TP-Link Omada EAP770 смогут работать по стандарту Wi-Fi 7 после соответствующих изменений в законодательстве РФ [4, 5].

### Особенности построения беспроводных сетей предприятий

Перечислим базовые варианты построения систем широкополосного мобильного доступа – по заказу корпораций, гостиничного сектора, гипермаркетов, а также на транспорте и в парковой зоне. В таблице 1 представлены особенности построения Wi-Fi систем разного вида [1, 2].

Таблица 1

### Различия беспроводных сетей малых, средних и крупных предприятий

Основные отличия	Малый офис/домашний офис	Средние и крупные сети предприятия
Количество точек доступа	Дома обычно одна, реже две-три, возможна домашняя mesh-система. В малых офисах до 10	До нескольких тысяч точек на один контроллер
Количество клиентов	Небольшое	Большое
Наличие контроллера	В системах с одной точкой доступа не обязательно, в mesh-системах контроллер встроенный, в малых офисах обычно виртуальный, реже отдельное устройство	Обязательно должен быть как минимум один контроллер, но используют обычно два и более на случай отказа
Наличие radius-сервера для авторизации	Обычно используется PSK, сервера может не быть	Обычно используется
Возможность быстрого переключения между точками	Как правило, нет, либо есть, но непредсказуемое	Есть, при поддержке со стороны клиента
Отказоустойчивость и резервирование	Простой не критичен, резерва может не быть	Простой приносит значимые убытки, обязательное резервирование



Допустимая ширина каналов	В системах с одной точкой доступа при отсутствии соседей на каналах допустимо использовать каналы до 40 МГц в 2,4 и 160 МГц в 5 ГГц	20 МГц в 2,4 ГГц, 20-40 МГц в 5 ГГц
Необходимость радиопланирования и радиообследования	Радиопланирование желательно	Радиопланирование обязательно, радиообследование на средних объектах желательно, на крупных объектах обязательно
Класс оборудования	SOHO	Enterprise
Стоимость оборудования	Низкая, средняя	Высокая
Производители оборудования	ASUS, D-Link, TP-Link, Mikrotik, Ubiquiti	Cisco, Juniper, Aruba, Huawei, H3C, Ruckus

Для развертывания беспроводных систем на оборудовании стандартов WI-FI в Российской Федерации используются два диапазона: первый – от 2,4 до 2,448 ГГц (S-band); второй – от 5,125 до 5,875 ГГц (C-band). Количество перекрывающихся каналов в диапазоне 2,4 ГГц равно трем, а различная бытовая техника, такая как микроволновые печи, Bluetooth-устройства, беспроводные мыши и клавиатуры, могут создавать шум в этом диапазоне. Для высокоскоростного подключения в условиях высокой плотности клиентов предлагается использовать диапазон частот C-band.

### Проектирование Wi-Fi сети предприятия

Обычно Wi-Fi-сеть (система) проектируется согласно требованиям предприятия (заказчика). Формулируется техническое задание, рассчитывается необходимое количество точек доступа, их модели, а также прочее телекоммуникационное оборудование – коммутаторы, PoE-инжекторы, антенны, контроллеры точек доступа [1, 2].

Система проектируется на оборудовании одного производителя (вендора) для исключения проблем взаимодействия и упрощения поиска неисправностей. Данное требование не является обязательным, но упрощает работу администраторов сетей.

Крупные предприятия, для которых простой сети передачи данных недопустим по причине значительных материальных потерь, обязательно должны иметь договор на техническую поддержку от производителя для оперативного устранения проблем и замены вышедшего из строя оборудования. Большинство известных производителей телекоммуникационного оборудования – Cisco, Juniper, Huawei, HP, H3C предлагает такую поддержку. При этом оборудование очень популярных в России производителей Mikrotik и Ubiquiti по состоянию на 2021 год лишено официальной поддержки на территории РФ, что делает построение отказоустойчивых сетей на данном оборудовании недопустимым для крупных компаний.

Для телекоммуникационного оборудования используются источники бесперебойного питания на случай отключения электроэнергии. Крупные предприятия имеют автономные

дизельные источники электроэнергии, способные предотвратить убытки при отключениях электроэнергии на объектах.

Оборудование обязательно должно быть занесено в систему мониторинга, которая сигнализирует сетевым инженерам, что произошел инцидент – недоступна точка доступа, температура в помещении, где установлено оборудование, повышена температура или недоступен интернет через определенного провайдера. Поддерживаются различные типы уведомлений, начиная от выделения оборудования в списке красным цветом и заканчивая рассылкой смс или любых другим сообщений работникам из определенного списка. Наиболее популярны системы мониторинга Zabbix, Grafana и Prometheus [6].

### Настройка Wi-Fi системы предприятия

Диапазон 2,4 ГГц, как самый занятый, дальнобойный и низкоскоростной, обычно используется для низкоприоритетного подключения гостевой сети с PSK (Pre-shared key) – доступа с паролем. Диапазон 5 ГГц используется для подключения ноутбуков к локальной сети предприятия, обычно по сертификатам, что позволяет обеспечить доступ только с тех устройств, которые действительно должны этот доступ иметь [1,2].

В современных средних и крупных сетях настройка точек доступа выполняется через контроллеры точек доступа. Контроллеры позволяют осуществлять так называемый бесшовный роуминг [4], что, однако, невозможно без поддержки со стороны клиента – ноутбука, смартфона, планшета, Wi-Fi адаптера.

При большом количестве пользователей на малой площади, как в случае с офисными помещениями, необходимо выставлять мощность точек доступа на небольшое значение, к примеру, на 12-15W, а не на максимум.

Особенно это касается зон, где большинство клиентских устройств – это смартфоны и планшеты с батареями и передатчиками небольшой мощности. Более мощный передатчик точки доступа создает большее покрытие, но снижает емкость сети и доступность для мобильных устройств. Примеров таких ошибок множество: часто клиентское устройство показывает высокий уровень принимаемого сигнала Wi-Fi, но потери при передаче устройством исходящих пакетов приводит к проблемам, особенно при передвижении между точками доступа. Получая достаточный уровень сигнала выставленной на максимум точки доступа, клиентское устройство не переключается на ближайшую точку доступа и продолжает испытывать проблемы.

Контроллеры позволяют выполнять тонкую настройку всех точек доступа, а именно группировать их, применять настройки мощности сигнала, отключать клиента от точки доступа по слишком низкому значению SNR и ограничивать скорость для клиентов.

Например, можно ограничить скорость передачи данных 5 Мбит/с для гостевых клиентов и 20 Мбит/с для корпоративной сети во избежание перегрузок точки доступа и канала в Интернет.

Скорость передачи данных по Wi-Fi никогда не сможет конкурировать с гигабитным портом на коммутаторе по

причине того, что среда передачи радиосигнала общедоступна. В ней могут появиться посторонние устройства, и, хотя Wi-Fi 6 имеет механизм защиты Coloring, значения скорости могут изменяться. Wi-Fi используется там, где важна мобильность и отсутствие кабелей, а в местах, где можно использовать подключение по кабелю, стоит отказаться от Wi-Fi.

### Требования к уровню принимаемого сигнала

В Wi-Fi системе измеряется значение показателя уровня принимаемого сигнала RSSI (англ. received signal strength indicator). Уровень RSSI измеряется приёмником в дБмВт (dBm, децибел относительно 1 милливатта). RSSI может принимать значения от 0 до -100 дБмВт. Чем выше значение RSSI, то есть чем ближе оно к 0, тем сигнал лучше (мощнее), и чем ближе к -100, тем сигнал хуже (слабее). Качественным сигналом Wi-Fi можно считать значения не ниже -65 дБмВт. При более низкой мощности уже будет наблюдаться снижение скорости подключения, потеря пакетов, повторные передачи данных (ретрансмиты). Поэтому во всех помещениях, включенных в зону обязательного покрытия, RSSI в диапазонах 2,4 и 5 ГГц должен быть не менее -65 дБмВт.

Wi-Fi система проектируется с учетом требования по отказоустойчивости – точки доступа разносятся по разным коммутаторам доступа, контроллеры Wi-Fi работают в паре, любой компонент резервируется. При выходе точки доступа из строя измеряется значение показателя уровня принимаемого сигнала RSSI (англ. received signal strength indicator) в радиусе действия данной точки не должно быть ниже 70 дБмВт. Система Ekahau Pro позволяет проектировать карту RSSI по второй (в случае отказа одной точки доступа) и по третьей точке доступа (в случае отказа двух ближайших точек доступа) [3-6].

Для обеспечения отказоустойчивости при выходе из строя любой точки доступа значение RSSI должно быть не менее -70 дБмВт (параметр Secondary Signal Strength – сила сигнала второй по мощности точки доступа в Ekahau Pro). Нужно отметить, что данные значения не являются абсолютными. Определение точных значений в данном случае невозможно, т.к. сила сигнала Wi-Fi зависит не только от показателя RSSI, но и от ряда других факторов (от загруженности радиоэфира, от мощности сигнала точки доступа, от помех, характеристик мобильного устройства). Оценка параметров носит условный (субъективный) характер и основана на практическом опыте и данных, полученных от пользователей [4, 5].

### Обеспечение надежности и производительности

Важным моментом является выбор производительности активного сетевого оборудования. Например, для обеспечения отказоустойчивости и достаточной пропускной способности будут использоваться два гигабитных канала доступа в Интернет. Через один канал в обычном режиме будет осуществляться передача трафика пользователей, а через другой – трафик центра обработки данных, в том числе, трафик серверов, телефонии и удаленных клиентов.

В аварийном режиме все данные будут передаваться через один канал, отказоустойчивость обеспечивается по технологии Network Quality Analyzer (NQA) – это функционал, который работает на канальном уровне и измеряет производительность протоколов, работающих на сетевом, транспортном и прикладном уровне. NQA полезен для осуществления мониторинга сети и выявления возникающих неисправностей (см. рис. 3).

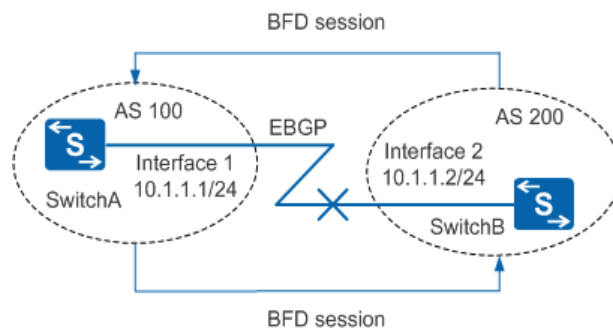


Рис. 3. Схема работы EBGP с протоколом BFD

Также с провайдерами Интернет устанавливается взаимодействие по протоколу маршрутизации EBGP для обеспечения функционирования инфраструктуры в условиях аварийного отключения канала любого из операторов. Для повышения скорости срабатывания протокола EBGP используется протокол BFD, позволяющий обнаружить проблему менее чем за 1 секунду.

### Варианты проектирования сети доступа по технологии Wi-Fi

В большинстве современных точек доступа есть функционал перевода клиентов с поддержкой частотного диапазона 5 ГГц из диапазона 2,4 ГГц в диапазон 5 ГГц. Это позволяет перевести более современные устройства из наиболее загруженного частотного диапазона 2,4 ГГц в частотный диапазон 5 ГГц и таким образом максимально освободить частотный диапазон 2,4 ГГц для устаревших или несовместимых устройств. На большинстве беспроводных клиентских устройств данный функционал работает без каких-либо проблем.

Второй способ заключается в более плотном расположении точек доступа, например, на спортивных стадионах, где количество собравшихся зрителей измеряется сотнями и тысячами, покрытие секторов осуществляется при помощи точек доступа с направленными антеннами с малой мощностью передатчика. В условиях образовательного учреждения рентабельнее будет использовать более дешёвые точки доступа со всенаправленными внутренними антеннами, поскольку количество собравшихся в одной аудитории студентов с устройствами вряд ли будет превышать 60. Из 60 клиентов 20 клиентов допустимо перевести в частотный диапазон 2,4 ГГц, а 40 клиентов оставить в частотном диапазоне 5 ГГц, и таким способом ограничить количество беспроводных клиентов на одном радиомодуле точки доступа. При условии, что скорости доступа в студенческой беспроводной

сети будут ограничены значением 3 Мбит/с, даже 40 устройств на одном радиомодуле смогут работать и передавать данные [6-7].

Большое значение имеет количество пространственных потоков, которые поддерживает клиентское устройство, ведь даже если использовать современную точку доступа с большим количеством пространственных потоков, производительность будет ограничена возможностями клиентскими устройств. На рисунке 4 схематически изображены пространственные потоки в стандарте 802.11n и продемонстрировано, как количество пространственных потоков позволяет увеличить пропускную способность.

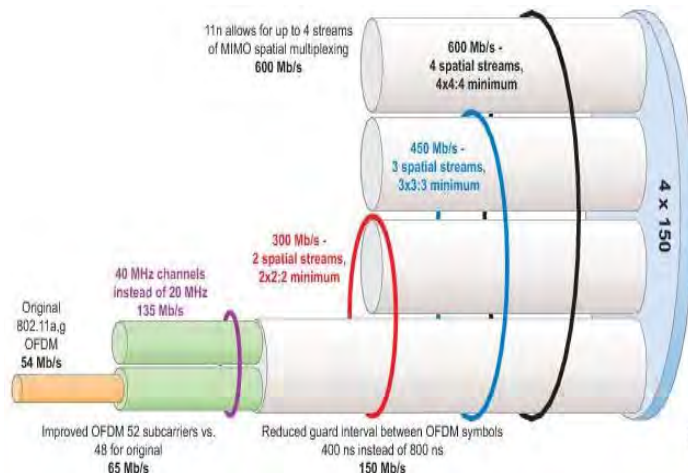


Рис. 4. Зависимость пропускной способности от количества пространственных потоков

Третьим способом повысить производительность беспроводной сети в условиях высокой плотности клиентов является использование точки доступа с тремя радиомодулями. В настоящее время часть точек доступа использует частотный диапазон 2,4 ГГц для одного из своих радиомодулей, и два радиомодуля в частотном диапазоне 5 ГГц, что позволяет вместо установки двух точек доступа установить одну точку доступа с двумя радиомодулями, работающими на разных каналах, и в результате повысить количество беспроводных устройств на одну точку доступа до значения от 60 до 90.

Четвёртый способ состоит в использовании частотного диапазона 6 ГГц, который недавно был разрешён к использованию на территории Российской Федерации Государственной комиссии по радиочастотам в полосе частот 5,9-6,4 ГГц. Использование частотного диапазона 6 ГГц – самая новая тенденция повышения скорости, поскольку использование нового частотного диапазона открывает возможности большего количества каналов.

В качестве примера была спроектирована беспроводная сеть передачи данных с использованием трехдиапазонных точек доступа TP-Link Omada. Таким образом, каждая физическая точка доступа будет представлять собой три независимые точки доступа, использующие три разных не зависящих друг от друга частотных диапазона и три радиомодуля. Это позволит использовать каналы шириной 40 МГц для

частотных диапазонов 5 и 6 ГГц, что повысит пропускную способность. Основным частотным диапазоном будет являться частотный диапазон 5 ГГц, вторым по значимости на момент проектирования будет являться частотный диапазон 2,4 ГГц.

Частотный диапазон 6 ГГц в настоящее время имеет очень малое распространение, но после появления нормативно-правового акта, позволяющего использовать данную полосу частот в помещениях на территории Российской Федерации, ситуация существенно изменится. Большое количество современных Wi-Fi устройств имеет аппаратную поддержку частотного диапазона 6 ГГц, но в настоящий момент она отключена на уровне программного обеспечения. В случае, если такое оборудование получит обновление ПО, получим дополнительный диапазон, имеющий большие возможности, чем частотный диапазон 5 ГГц. Таким образом, проектирование точек доступа с поддержкой частотного диапазона 6 ГГц более перспективно в настоящий момент, чем проектирование системы с двумя радиомодулями в частотном диапазоне 5 ГГц [8-10].

#### Вариант проектирования сети доступа по технологии Wi-Fi для колледжа

При проектировании беспроводной системы передачи данных для колледжа предположим, что все информационные ресурсы Министерства образования РФ и колледжа расположены в сети Интернет. Для предоставления отказоустойчивого доступа к данным ресурсам потребуются два канала доступа к сети Интернет. В ситуации, когда оба канала работоспособны, через один канал будет передаваться трафик, направляемый в электронные библиотеки и другие ресурсы в ЦОД Министерства образования РФ, а через другой канал будет маршрутизироваться в сеть Интернет-трафик преподавателей и администрации колледжа. Подобная балансировка позволит равномерно нагружать оба канала, каждый из которых будет работать примерно до 50% своей пропускной способности.

В случае выхода любого канала из строя весь трафик будет передаваться через канал одного провайдера. Таким образом, в условиях нормальной работы каналов двух операторов связи нормальным явлением будет неполная загрузка обоих каналов.

Предположим, что скорость передачи данных для преподавателя и сотрудника администрации будет ограничена значением 10 Мбит/с средствами контроллера точек доступа. Скорость передачи данных для студентов будет ограничена 3 Мбит/с. Предполагаем, что суммарный трафик одного канала не должен превысить 100 Мбит/с, таким образом для реализации системы будут использованы два канала пропускной способностью 100 Мбит/с каждый.

Основная задача беспроводной сети передачи данных образовательного учреждения — это предоставление преподавателям доступа к электронной библиотеке и широкополосного доступа к сети Интернет. Также предполагается на проектируемой инфраструктуре спроектировать беспроводную сеть для учащихся колледжа с доступом к электронной

библиотеке, а также к определенному списку разрешенных Министерством образования ресурсов. Белый список позволяет вносить и удалять ресурсы на основании их DNS-имён, что позволит оградить учащихся от ненужной для учебы информации в сети Интернет, но предоставить возможность пользоваться электронной библиотекой, а также личным кабинетом, где студенты смогут оперативно получать информацию об учебе и смотреть актуальное расписание занятий.

Основная проблема, с которой можно столкнуться, проектируя беспроводную сеть передачи данных в образовательных учреждениях – это недостаток эфирного времени (AirTime) вследствие очень большого количества клиентов на одной точке доступа. Есть ряд способов и технологий, которые позволяют избежать данной проблемы. во-первых современные точки доступа поддерживает минимум два частотных диапазона: 2,4 и 5 ГГц.

На территории колледжа предусмотрено использование двух SSID для двух сетей в каждом из трех частотных диапазонов.

Первая сеть, имеющая идентификатор wlan.lecturer, предназначена для преподавателей и администрации, в ней разрешен доступ к сети Интернет без каких-либо ограничений. Во второй, беспроводной студенческой сети с идентификатором wlan.student, свободного доступа в сеть Интернет нет. Сеть для преподавателей предоставляет доступ к ресурсам электронной библиотеки и сети Интернет пропускной способностью до 10 Мбит/с, а сеть для студентов предоставляет доступ только к разрешенному списку ресурсов пропускной способностью до 3 Мбит/с. Одинаковые имена SSID в трех частотных диапазонах подразумевают, что в случае технической возможности клиентские устройства с поддержкой частотных диапазонов 5 и 6 ГГц будут переведены контроллером в данные диапазоны (см. табл. 2).

Таблица 2

**Требуемые скорости для различных SSID в проектируемой системе мобильного широкополосного доступа**

Имя беспроводной сети (SSID)	Частотный диапазон, ГГц	Требуемая скорость передачи данных, Мбит/с
wlan.student	2,4	3
wlan.lecturer	2,4	10
wlan.student	5	3
wlan.lecturer	5	10
wlan.student	6	6
wlan.lecturer	6	20

В качестве эксперимента можно повысить пропускную способность сети для клиентских устройств частотного диапазона 6 ГГц в два раза, что будет мотивировать студентов и преподавателей подключаться с использованием новейшего частотного диапазона и таким образом освобождать частотные диапазоны 2,4 и 5 ГГц, которые по статистике более загружены.

Возможно, что для поддержки частотного диапазона 6 ГГц студентам и преподавателям придется установить новейшие обновления на свое мобильное устройство, поскольку по умолчанию частотный диапазон был выключен.

Также данный эксперимент позволит администраторам системы узнать реальную долю устройств с поддержкой частотного диапазона 6 ГГц.

Рассчитать реальную скорость передачи пользовательских данных позволяет формула:

$$C = \frac{MCS \text{ rate} \cdot k}{Nп},$$

где  $C$  – емкость канала передачи пользовательских данных в Мбит; MCS rate – канальная скорость;  $Nп$  – число беспроводных клиентских устройств в сети;  $k$  – коэффициент, равный 0,5 в малых сетях до 5 клиентов; равный 0,45 – если число пользователей для нескольких устройств (5-10) со средней нагрузкой; 0,4 – число пользователей для нескольких устройств с большой нагрузкой.

Произведенные расчеты позволяют представить производительность системы беспроводного доступа с использованием различных стандартов Wi-Fi. В офисных сетях предприятий обычно принято проектировать одну точку доступа на 20 рабочих мест, что предполагает 20-40 беспроводных клиент. Расчёты, выполненные для стандарта Wi-Fi 6 в частотных диапазонах 5 и 6 ГГц показали, что стандарт Wi-Fi 6/6E идеально подходит для сред с высокой плотностью устройств на одну точку доступа, а именно к таким средам относятся образовательные учреждения.

Сеть с поддержкой Wi-Fi 6 и Wi-Fi 6E будет стабильно функционировать, даже если количество беспроводных клиентов превысит 40 на один радиомодуль точки доступа, что крайне маловероятно, поскольку какая-то часть клиентских устройств будет использовать частотный диапазон 2,4 ГГц.

**Заключение**

1. Перспективность использования оборудования Wi-Fi для развертывания систем высокоскоростного мобильного доступа в Интернет подтверждается возрастающими требованиями пользователей к скорости передачи информации и наличием у них оконечных устройств с поддержкой современных стандартов последних разработок.

2. Жизненный цикл беспроводного оборудования составляет примерно пять лет, на оборудование предыдущего поколения с окончанием жизненного цикла заканчивается техническая поддержка, поэтому в настоящее время целесообразнее использовать Wi-Fi-оборудование с поддержкой стандарта 802.11ax.

3. Чтобы рассчитать количество точек доступа, необходимое для покрытия всей площади помещений компании, нужно знать дальность их действия. Уровень сигнала зависит от множества факторов - выходной мощности точки доступа, расстояния до точки доступа, типа и направленности антенны, но больше всего от препятствий на пути этого сигнала (стены, лифтовые шахты). Эти данные должны быть внесены в программу радиопланирования и учтены на этапе планирования.

4. Узким местом, вызывающим падение реальной пропускной способности сети, является количество клиентов на одну точку доступа. Единственный способ повысить реаль-





ную скорости передачи данных беспроводным клиентом – это устанавливать большее количество точек доступа, работающих на разных каналах, при этом мощность их должна быть снижена согласно рекомендациям вендоров, либо установлена эмпирическим методом.

5. Количество каналов, доступных для использования в РФ, в настоящее время равняется трем для диапазона 2,4 ГГц с шириной канала 20 МГц, 17 каналов для диапазона 5 ГГц с шириной канала 20 МГц и 8 каналов для диапазона 5 ГГц с шириной канала 40 МГц.

### Литература

1. Степанова И.В. Принципы организации систем связи с фиксированным и мобильным доступом. Москва: МТУСИ, 2017. 110 с.
2. Степанова И.В., Вопросы построения и проектирования систем беспроводного широкополосного доступа технологий Wi-Fi и Mesh. Москва: МТУСИ, 2017. 115с.
3. Корячко В.П., Перепелкин Д.А. Анализ и проектирование маршрутов передачи данных в корпоративных сетях. М.: Горячая линия – Телеком, 2020. 235 с.
4. Корячко В.П., Перепелкин Д.А. Корпоративные сети: технологии, протоколы, алгоритмы. М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 216 с.
5. Степанова И.В., Куник П.А., Кнаж Нума. Анализ подходов к развертыванию корпоративных систем мобильного широкополосного доступа // Труды международной научно-технической конференции "Телекоммуникационные и вычислительные системы- Международный форум информатизации МФИ 2021, Москва. С.15-30.
6. Степанова И.В., Егоров А.Н. Построение сети связи горнодобывающего комплекса на оборудовании перспективной технологии MESH // Труды международной научно-технической конференции "Телекоммуникационные и вычислительные системы. Международный форум информатизации МФИ 2021, Москва. С. 5-14.

7. Винтенкова Ю.С., Козлов С.В., Спирина Е.А. Метод оценки объёма доставляемых данных в сетях широкополосного радиодоступа с совместной динамической маршрутизацией // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Том 12. №2. С. 16-20.

8. Винтенкова Ю.С., Козлов С.В., Спирина Е.А. Разработка алгоритма определения набора маршрутов метода совместной динамической маршрутизации для сетей широкополосного радиодоступа // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Том 12. №4. С. 68-71.

9. Шведов А.В., Гадасин Д.В., Алёшинцев А.В. Сегментная маршрутизация в сетях передачи данных // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Том 16. №5. С. 56-62.

10. Волков А.С., Баскаков А.Е. Разработка алгоритма многопутевой маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях связи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Том 15. №9. С. 17-23.

11. Панкратов Д.Ю., Степанова А.Г. Компьютерное моделирование технологии MIMO для систем радиосвязи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Том 12. №12. С. 33-37.

12. Поборчая Н.Е., Пестряков А.В. Синтез и анализ алгоритмов оценки искажений сигнала в системе с MIMO в условиях априорной неопределенности // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Том 13. №10. С. 13-20.

13. Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю. Применение технологии MIMO в современных системах беспроводной связи разных поколений // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Том 15. №4. С. 4-12.

14. Бакулин М.Г., Бен Режеб Т.Б.К., Крейнделин В.Б., Смирнов А.Э. Способы минимизации объёма передаваемой информации в обратном канале многоантенных систем MIMO // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Том 15. №3. С. 17-24.

15. Степанец И.В., Фокин Г.А., Мюллер А. Способы оценки пропускной способности систем massive MIMO // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Том 12. №10. С. 64-69.

## FEATURES OF BUILDING BROADBAND MOBILE ACCESS SYSTEMS WITH WI-FI TECHNOLOGY

**IRINA V. STEPANOVA**

Moscow, Russia, W515iv@mail.ru

**ELENA K. PATENCHENKOVA**

Moscow, Russia

### ABSTRACT

**Introduction:** The object of the study is wireless Wi-Fi technology systems for mobile devices of corporation employees and company guests. Wireless Wi-Fi technologies are created for the convenience of Internet users with access devices of different technical levels accessing the network. The main advantages of these technologies are: ease of deployment of the network structure, architecture flexibility, ease of design and high speed of implementation. A serious drawback of these systems is the unstable connection speed. **Methods:** One way to solve this problem and increase the coverage radius of a wireless network is to create a distributed heterogeneous network based on several wireless access points connected by a cable network segment.

**KEYWORDS:** *Broadband mobile access, Wi-Fi standards, access point, serv-ers, radio inspection, design features, monitoring system, password access.*

**Results:** When building broadband mobile access systems, it is necessary to solve the following problems: formulation of technical specifications, according to which a technical solution will be proposed; selection of the most current Wi-Fi standard for building a mobile broadband access system; selection of equipment manufacturer and network equipment models; determination of radio broadcasting ranges, channels and number of Service Set Identifier (SSID); assessment of communication quality with reference to floor plans of buildings and taking into account the expected density of users. The material in the article is intended to be used as additional material when conducting practical classes in the discipline Management of infocommunication networks.

## REFERENCES

1. I.V. Stepanova. Principles of organizing communication systems with fixed and mobile access. Moscow: MTUSI, 2017. 110 p.
2. I.V. Stepanova. Issues of construction and design of wireless broadband access systems for Wi-Fi and Mesh technologies. Moscow: MTUSI, 2017. 115 p.
3. V. P. Koryachko, D.A. Perepelkin. Analysis and design of data transmission routes in corporate networks. Moscow: Hotline – Telecom, 2020. 235 p.
4. V. P. Koryachko, D.A. Perepelkin. Corporate networks: technologies, protocols, algorithms. Moscow, Hotline – Telecom, 2015. 216 p.
5. I.V. Stepanova, P.A. Kunik, Knazh Numa. Analysis of approaches to the deployment of corporate mobile broadband access systems. *Proceedings of the international scientific and technical conference "Telecommunication and computing systems - International Forum of Informatization MFI 2021*, Moscow, pp. 15 -30.
6. I.V. Stepanova, A.N. Egorov. Construction of a communication network for a mining complex using advanced MESH technology equipment. *Proceedings of the international scientific and technical conference "Telecommunication and computing systems. International Forum of Informatization MFI 2021*, Moscow, pp. 5 -14.
7. Yu.S. Vintenkova, S.V. Kozlov, E.A. Spirina. Transferred data volumes estimation method for collective dynamic routing implementation in broadband radio access networks. *T-Comm*, 2018, vol. 12, no.2, pp. 16-20. (in Russian)
8. Yu.S. Vintenkova, S.V. Kozlov, E.A. Spirina. Bounded algorithm for collective dynamic routing method optimal routes evaluation in broadband radio access networks. *T-Comm*, 2018, vol. 12, no.4, pp. 68-71.
9. A.V. Shvedov, D.V. Gadasin, A.V. Alyoshintsev. Segment routing in data transmission networks. *T-Comm*, 2022, vol. 16, no.5, pp. 56-62. (in Russian)
10. A.S. Volkov, A.E. Baskakov. Development of a multipath routing algorithm in software-defined communication networks. *T-Comm*, 2021, vol. 15, no.9, pp. 17-23. (in Russian)
11. D.Yu. Pankratov, A.G. Stepanova. Computer simulation of MIMO technology for radio systems. *T-Comm*, 2018, vol. 12, no.12, pp. 33-37. (in Russian)
12. N.E. Poborchaya, A.V. Pestryakov. Synthesis and analysis of the signal distortion estimation algorithm for the MIMO systems under the conditions of prior uncertainty. *T-Comm*, 2019, vol. 13, no.10, pp. 13-20. (in Russian)
13. M.G. Bakulin, V.B. Kreyndelin, D.Yu. Pankratov. Application of MIMO technology in modern wireless communication systems of different generations. *T-Comm*, 2021, vol. 15, no.4, pp. 4-12. (in Russian)
14. M.G. Bakulin, T. Ben Rejeb, V.B. Kreyndelin, A.E. Smirnov. Reducing of feedback channel information in multiple antenna MIMO systems. *T-Comm*, 2021, vol. 15, no.3, pp. 17-24. (in Russian)
15. I.V. Stepanets, G.A. Fokin, A. Mueller. Capacity estimation ways of massive MIMO systems. *T-Comm*, 2018, vol. 12, no.10, pp. 64-69.

## INFORMATION ABOUT AUTHORS:

**Irina V. Stepanova**, Moscow Technical University of Communications and Informat-ics, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Moscow, Russia

**Elena K. Patenchenkova**, Moscow Technical University of Communications and Infor-mation Technology, senior lecturer, Moscow, Russia

---

**For citation:** Stepanova I.V., Patenchenkova E.K. Features of building broadband mobile access systems with Wi-Fi technology. H&ES Reserch. 2023. Vol. 15. No 6. P. 34-42. doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-6-34-42 (In Rus)



doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-6-43-51

# ВИРТУАЛЬНЫЕ БАЗОВЫЕ СТАНЦИИ СОТОВОЙ СВЯЗИ В КОНТЕКСТЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ

**БУРЯКОВ**

**Виктор Михайлович<sup>1</sup>**

## АННОТАЦИЯ

**Предмет:** В настоящее время в отечественном телекоммуникационном сообществе используется термин "виртуальная базовая станция" в применении к отечественным радиоэлектронным средствам сотовой (мобильной) связи. В ряде случаев это приводит к неоднозначному трактованию этого термина и возможным негативным последствиям, в том числе к потенциальным правонарушениям в области использования радиоэлектронных средств связи. Возникшее в последнее время повсеместное использование слова "виртуальный" за пределами научно-технической терминологии имеет негативное воздействие на общественное сознание и слов "виртуальный" стало словом-закладкой в русском языке и может нести определенные информационные угрозы. Предметом исследования является разработка критериев обоснованности применения термина "виртуальный" как в сотовой связи, так и в других сферах. **Цели:** Комплексное авторское исследование этимологии термина "виртуализация" как в российской научно-технической терминологии, так и в современном русском языке. Определение сфер технологий, где применение термина "виртуальный" является обоснованным, и сферы информационной безопасности, где использование термина "виртуальный" имеет негативные последствия. **Методология:** В процессе исследования использовались методы логического и этимологического и политологического анализа. **Результаты:** Даны предложения по научно обоснованному использованию в российской научно-технической терминологии слова "виртуальный". Предложены обоснованная формулировка понятия терминов "виртуальная базовая станция" и "буферная базовая станция". Предложены правила использования слова "виртуальный" с точки зрения исполнения Федерального закона от 28 февраля 2023 года № 52-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "О государственном языке Российской Федерации" и информационной безопасности России.

## Сведения об авторе:

<sup>1</sup>Аспирант МТУСИ, Москва, Россия,  
victor.buryakov@megafon.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *Virtual, virtualization, виртуальная базовая станция, буферная базовая станция, сотовая радиосвязь, информационная безопасность.*

**Для цитирования:** Буряков В.М. Виртуальные базовые станции сотовой связи в контексте информационной безопасности России // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2023. Т. 15. № 6. С. 43-51. doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-6-43-51

## Введение

Некоторое время тому назад в отечественном телекоммуникационном сообществе начал циркулировать термин «виртуальная базовая станция» в применении к области сотовой (мобильной) связи. В частности, термин «виртуальная базовая станция» использован компанией Ростех, которая в 2020 году представила комплекс, предназначенный для управления доступом (выборочным блокированием) к сервисам публичной сотовой связи мобильных операторов, и назвала этот комплекс «виртуальной базовой станцией» [8].

Еще одно использование термина «виртуальная базовая станция» ранее появилось в качестве перевода английского термина «IMSI catcher» [1], (дословно – ловушка кодов идентификации SIM-карт сотовых телефонов).

Виртуальная базовая станция компании в данном контексте является специальным техническим средством (СТС) радиоперехвата кодов идентификации (IMSI) и содержания разговоров абонентов публичных мобильных сетей. Подобным устройствам в других источниках гораздо чаще даются более вульгарные определения, а именно «подставная базовая станция», «фейковая базовая станция», «клон базовой станции».

Термин «виртуальная базовая станция» также используется в спутниковой навигации в качестве перевода английского термина «virtual reference station».

Пока как в российской нормативной базе, так и российском научно-техническом сообществе общепринятого или единого термина и соответствующего ему понятия (определения) для «виртуальной базовой станции» нет. Целью статьи является научное (этимологическое, терминологическое), а также культурно-политологическое исследование категории «виртуальный» а также связанных с ней терминов и понятий.

### «Виртуальная базовая станция» – часть серой терминологической зоны

В ГОСТ Р 55897-2013 3.1.3 есть термин «Базовая станция», и его понятие, определяемое как «Средство электро-связи, которое размещается стационарно и обеспечивает соединение по радиочастотным каналам множества АС, находящихся в зоне ее обслуживания, с узлом коммутации сети беспроводной связи.» В ФЗ «О связи» Статья 2 «Основные понятия, используемые в настоящем Федеральном законе» приводит обширный список терминов и их понятий, но термин «базовая станция» и его понятие там отсутствуют.

Исходя из того, что большинство технологических терминов и понятий в нашей стране, начиная с 16 века, заимствуются из западных первоисточников и, как правило, в исходной транслитерации, целесообразно проанализировать используется ли там термин «virtual base station» (VBS), и в какие понятия приняты для этих терминов. В статье «Virtual Base Station Pool: Towards A Wireless Network Cloud for Radio Access Networks» [2] подробно описано как работают Virtual Base Stations (VBS).

Таким образом можно констатировать, что в данном контексте термин «Virtual Base Station» (VBS) относится к области частью хорошо известной технологии RAN Sharing, при-

веденной на рисунке 2. Согласно определению международного консорциума GSMA, «RAN sharing is the most comprehensive form of access network sharing» [3].

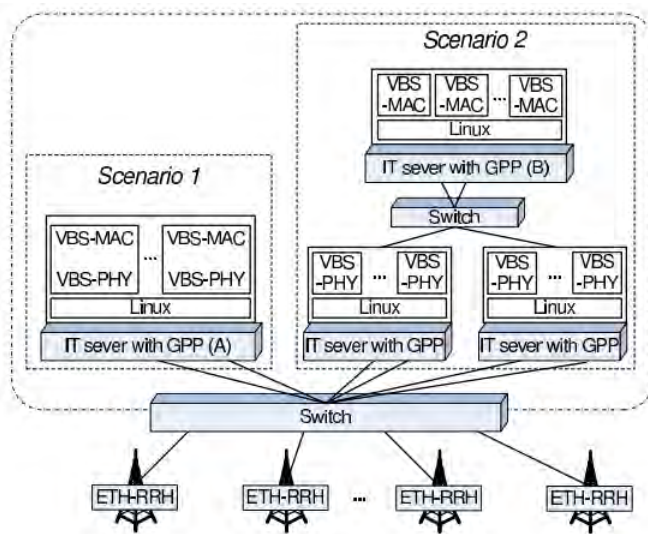
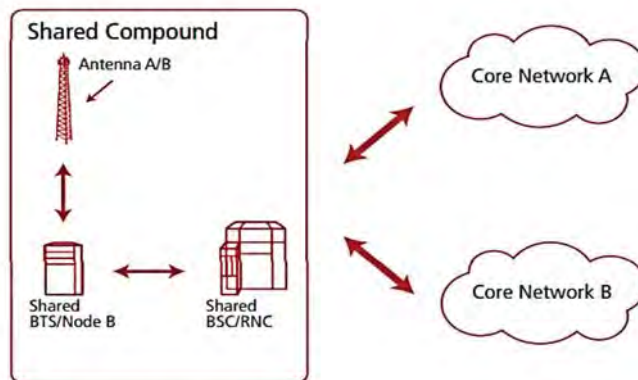


Рис. 1



Full RAN Sharing

Рис. 2

С точки зрения научной терминологии каждому понятию какой-либо области, в данном случае технологической, должен соответствовать уникальный и однозначно понимаемый всеми термин, значением которого является это понятие, которое кратко и наиболее точно описывает назначение и принцип работы устройства или технологии.

В частности, в статье Д.С. Лотте, «Вопросы заимствования и упорядочения иноязычных терминов и терминологических элементов» [5] сказано, что должно быть обеспечено «соответствие термина отражаемому понятию, то есть отсутствие в семантике термина противоречий между лексическим значением термина как слова и значением, получаемым им в данной терминологии».

Исходя из всего вышеперечисленного, использование в отечественном техническом дискурсе термина «виртуальная базовая станция» в настоящее время правилам научной терминологии не соответствует.

### Этимология слова «виртуальный»

Кроме того, этим правилам неполностью соответствует ставшее вирусным широкое использование под-термина «виртуальный» для использования в других терминах.

Ввиду того, что слово (логос) с точки зрения философии науки является ключевым инструментом научного познания и постижением истины, рассмотрим в первую очередь саму этимологию слов «виртуальный» и «виртуализация».

Если открыть канонический англо-русский словарь Мюллера, впервые изданный в 1935 году, то перевод (значение) слова «virtual» сильно удивит современного русскоговорящего читателя. Слово «virtual» словарь Мюллера переводит на русский как: 1) «фактический, не номинальный, действительный» 2) «эффективный». В более поздних словарях перевод Мюллера расширен таким образом: 1) «фактический, не номинальный, действительный» 2) «эффективный» 3) *комп. виртуальный*.

Как известно, наше общество в слово «виртуальный» сейчас вкладывает в первую очередь такие смыслы как «искусственный», «несуществующий», «кажущийся» и т.п., поскольку первое, что придет в голову среднестатистическому русскоговорящему человеку в отношении слова «виртуальный» – это «виртуальная реальность». Подавляющее большинство научных и технических терминов в русском языке, начиная с XVI века (Раннее Новое Время), заимствовалось у языков стран западной техногенной цивилизации (немецкого, французского и английского), которые в свою очередь заимствовали их у своих античных греческих и римских предшественников (греческий и латинский языки). Начиная с XX века подавляющее количество терминов, особенно в области телекоммуникаций и информационных технологий, по известным причинам приходит к нам из английского языка [6].

Изначально слово virtual в старом английском языке от произошло латинского слова virtus «энергия, сила, эффективность», буквально «мужество». Согласно Webster's Word Histories, понятие virtus представляло собой «сумму превосходных качеств мужчины, включая физическую силу, доблестное поведение и нравственную порядочность». Именно поэтому словарь Мюллера дал именно такие значения слова virtual. С конца XIV века «virtual» в английском языке начало использоваться в смыслах «влияющий посредством физических сил или возможностей, а также «эффективный в связи с наличием врождённых природных качеств». Вероятно, в начале XVII века смысл «способный производить определённый эффект» начал так заметно усиливаться, что в связи с этим больше внимания стало уделяется самим эффектам, а не физическим возможностям, их вызывающим. Поэтому далее в эпоху Возрождения и начала развития наук и технологий в научном сообществе стран Западной Европы, где латинское слово virtus было общепонимаемым, возникает новое значение производного от него слова «virtual» – «воздействовать определённым образом, но не на самом деле и не физически».

### История и причины трансформации смыслов слова «виртуальный» в современный период

Недавно Президент России в своем телевизионном интервью обратил внимание как коллективный Запад использует

слова-«закладки» (в частности, слово «ось» в отношении России и Китая) для внедрения в российское общественное сознание и использования их в своей информационной войне против нашей страны.

Слово «виртуальный» стоит одним из первых в этом ряду. Поэтому, с принятием 28 февраля 2023 г. изменений в Федеральный закон "О государственном языке Российской Федерации" актуальность данного исследования еще более возрастает.

Исходя из вышеизложенного, является целесообразным представить в данном исследовании предложения по научно обоснованному трактованию смыслов слова «виртуальный», которое может быть однозначно пониматься в русскоязычной среде не только в отношении терминологии базовых станций, но и для всех ныне используемых терминов и понятий, использующих слово «виртуальный», как в технической, так и общественно-социальной сферах. Также в исследовании даны предложения по более точному переводу слова «virtual», используемых в западных терминах, в которых это слово уже не имеет своего первоначального смысла, а является словом-закладкой в российское общественное сознание.

Первым широко известным техническим термином на Западе, использующим слово «виртуальный», стал термин «Виртуальный канал» (Virtual Circuit).

Концепция виртуального канала в цифровой пакетной коммутации и само слово «virtual» в качестве термина были предложены в 1978 году сотрудником Национальной физической лаборатории Великобритании Дональдом Дэвисом [4]. Носитель английского языка, давший термину такое название, использовал именно традиционно изначальный смысл слова «virtual» – «способный производить определённый эффект на других за счет физических сил, его вызывающих» в контексте повышения эффективности использования этих физических сил. Таким образом, термин «виртуализация» (virtualization) понимался как технология повышения эффективности физических ресурсов (объектов), используемых в технических целях. Технология «Virtual Circuit» по сути дела стала цифровым развитием аналоговой технологии частотного уплотнения (multiplexing) физических медных каналов связи и повышения эффективности использования этих каналов.

В это же время наметилась тенденция экспоненциального роста цифровизации западной экономики и возникла потребность в технологии максимально возможного повышения эффективности использования физических ресурсов, используемых информационными технологиями. Подобными ресурсами, в частности, являлись физическая среда для передачи сигналов (медь, оптика, радиоволны и т.п.) и элементарные физические вычислительные ресурсы (транзисторы) микропроцессоров. К этому следует добавить электроэнергию, без которой все информационные технологии невозможны.

В конце 90-ых годов прошлого века легендарная компания Sun Microsystems выдвинула теорию под названием «Red Shift». Суть этой образной теории в том, что рост объема физических ресурсов во времени как правило линейен, а рост нагрузки от информационных технологий экспоненциален, поэтому отрыв точки на линии нагрузки от точки на линии физических ресурсов увеличивается со скоростью, вызывающей эффект Доплера (смещение спектра света от быстро удаляющегося объекта в красную зону).

Технология повышения эффективности использования физических ресурсов для информационных технологий зародилась в компании IBM еще в 60-ых годах, гораздо раньше технологии Virtual Circuit, но тогда это называлось «time-sharing», поскольку основой этой технологии являлось цифровое (бинарное) представление и обработка сигналов (данных), позволяющее в режиме временного разделения доступа обеспечить коллективное квази-одновременное (time-sharing) использование общего физического ресурса компьютера (процессора) несколькими приложениями или пользователями.

Слово «virtualisation» и его производные в широкий терминологический оборот IT-сообщества в качестве замены узкопрофессионального термина от IBM «time sharing» ввела основанная в 1998 г. американская компания VMware, название которой дословно для носителей языка воспринималось как «ресурсы эффективной машины».

Слово «virtualisation», заменившее термин «time sharing», было более привлекательно с точки зрения маркетинга в англосаксонском мире (основном рынке ИТ), так как понималось носителями языка в своем основном значении – «эффективизация» или повышении эффективности. Такой маркетинговый ход был попаданием в десятку – для американской бизнес-культуры и психологии слово virtual как смысл «эффективность» являлось наиболее привлекательным.

А вот слово «sharing», т.е. делится чем-то к кем то, скорее всего для англосакса особой привлекательности не представляло. Поэтому долгое время слово «virtual» понималось в своем изначальном значении – «эффективный», т.е. есть как технология, позволяющая предоставить ограниченный физический ресурс (физический канал) большому количеству пользователей, существенно повышая эффективность физического ресурса.

Но потом в английском языке эпохи постмодерна появилось новое значение слова «virtual» – «как таковой физически не существующий, но смоделированный при помощи компьютерных программ так, чтобы казаться таким» или, говоря другими словами, «нереальный, но кажущийся зрителю реальным». Теперь сами носители английского языка по-прежнему употребляют в своей устной и письменной речи слово virtual в значении «фактический, действительный» и в значении «как таковой физически не существующий, кажущийся и т.п.». Возникает вопрос, почему именно в английском языке чаще всего одно и то же слово может иметь значения, противоречащие друг другу?

Существует известная английская идиома- "He thinks one thing and says the other", расширенная сегодня до «Англосакс, говоря одно, думает о другом и подразумевает третье». Это наглядно подтверждается проводимой ими на всем протяжении их глобального доминирования политикой и особенно агрессивно продвигаемым ими нарративом «пост-правды» в современный период англосаксонского постмодерна. Достаточно вспомнить знаменитые фразы «Война – это мир, свобода – это рабство, незнание – сила (Ignorantia est virtus)» из культового романа Дж. Оруелла «1984».

Полезно в этом контексте напомнить также и саму этимологию термина «англосаксы», ныне широко распространенного в нашем политическом языке. Англосаксы – это собирательное название представителей нескольких германских племен:

англов, саксов и ютов, захвативших остров Британия в начале V века и практически уничтоживших бриттов, являвшихся коренным населением острова. Как мы знаем из истории, спустя четырнадцать веков англосаксы повторили то же самое в Северной Америке и частично в Индии и Китае (опиумные войны).

Кстати, одна из версий этимологии слова «англы» состоит в том, что это название произошло от слова «крючок» (ср. англ. angling). Взятый у англосаксов, изначально как технический, термин «виртуальный» (virtual) за последние десятилетия прижился и широко распространился в различных областях российской технической терминологии и за ее пределами, в экономике, политике и общественном бытовом языке.

Ниже приведен далеко не полный список наиболее распространенных технических терминов, использующих слово «Виртуальный».

- Виртуальная базовая станция (Virtual Base Station)
- Виртуальный канал (Virtual Circuit)
- Виртуальная оперативная память (Virtual Memory)
- Виртуальная постоянная память (Virtual Storage)
- Виртуальная машина (Virtual Machine)
- Виртуальное устройство (Virtual Device)
- Виртуальный компьютер (Virtual Desktop)
- Виртуальный модуль (Virtual Appliance)
- Виртуальный контроллер (Virtual Controller)
- Виртуальная доска (Virtual Board)
- Виртуальная банковская карта (Virtual Card)
- Виртуальный кабель (Virtual Audio Cable)

Нарратив пост-правды (post-truth) продвигается англосаксами всеми доступными каналами, включая научно-техническую терминологию, а отсюда в массовое сознание обществ стран глобального большинства, куда входит и наша страна [7].

Слово «Виртуальный» стало, как сейчас говорят, вирусным и начало «приклеиваться» к большому количеству терминов, как технических, так и экономических и, в последнее время, общественно-социальных и культурных, например:

- Виртуальный номер
- Виртуальный ассистент
- Виртуальное совещание
- Виртуальная школа
- Виртуальная поликлиника
- Виртуальный музей
- Виртуальное юридическое право
- Виртуальное правительство
- Виртуальное государство
- Виртуальное общество

Пожалуй, самым тревожным апогеем данного явления стали появившиеся в уже и в российском обществе термины «виртуальный друг», «виртуальный брак», «виртуальная семья» и «виртуальный гендер», выросшие из общего термина «виртуальное общество».

Все это происходило до недавнего времени в нашей прошлой парадигме попыток встраивания в западно-центричную глобализацию. В электронном архиве диссертаций можно найти большое количество научных исследований на тему виртуального общества, которые в целом, при ряде незначительных оговорок, достаточно позитивно принимали термин



«виртуальное общество», в частности в диссертации О. Немыкиной «Глобализация виртуальной реальности и информационная безопасность» [17].

### **Использование термина «виртуальный» в русской технической терминологии и последствия неправильного применения термина «виртуальная базовая станция»**

В настоящее время термин «виртуализация», его виды, производные и их понятия в России кодифицированы ГОС-Тами, в частности, как «**Виртуализация**: Группа технологий, основанных на преобразовании формата или параметров программных, или сетевых запросов к компьютерным ресурсам с целью обеспечения независимости процессов обработки информации от программной или аппаратной платформы информационной системы».

Как отмечалось выше, термина «виртуальная базовая станция» сотовой связи в нормативных источниках не существует. Причины, по которым некоторые производители решили использовать это слово для классификации производимых ими базовых станций GSM или LTE можно объяснить вышеупомянутой маркетинговой привлекательностью слова «виртуальный» в значении «как таковой физически не существующий, кажущийся и т.п.». К сожалению, у потенциальных заказчиков данных производителей может сложиться представление, что такие базовые станции как бы не настоящие физические средства связи, а нечто «виртуальное», но имеющие такой же эффект, как и реальные базовые станции.

Это создает ложное представление у заказчиков, что базовые станции не потребуют соблюдения законодательства, которое обязательно для реальных базовых станций сотовой связи, в том числе для создания технологических сетей связи, где наличие операторской лицензии не требуется. Однако, анализ того, как работают такие «виртуальные» базовые станции показывает, что все они являются вполне реальными радиоэлектронными средствами, работающими в полосах частот, выделенных для связи GSM и LTE, и с мощностями передатчиков, требующих обязательной регистрации в Роскомнадзоре. Для этого у заказчиков должны быть разрешения на использование полос частот в диапазонах GSM, 3G и LTE и разрешения на рабочие частоты.

Такие разрешения в России есть только у четырех компаний- операторов сотовой связи (МТС, Билайн, Теле2 и МегаФон). Без наличия таких разрешений регистрация базовых станций в Роскомнадзоре невозможна. Эксплуатация базовой станции без регистрации ее в Роскомнадзоре является административным правонарушением, влекущим по КоАП штрафы и конфискацию базовых станций.

### **Принцип работы базовой станции селективного блокирования доступа к связи**

Анализ принципа работы базовой станции, представленной, в частности, компанией Ростех, показывает, что слово «виртуальный» используется, чтобы подчеркнуть ее использование не для целей оказания услуг сотовой связи, которые требуют наличия соответствующей лицензии, а для селективного блокирования доступа к сетям сотовой связи общего

пользования на режимных территориях. Согласно принципам научной терминологии, термин и его понятие должны использовать слова, наиболее точно отображающие назначение и принцип работы технического устройства. Представляется, что для подобной базовой станции более правильно употреблять другой термин, используемый ПАО «МегаФон», которая имеет аналогичные комплексы [16].

Эти комплексы представлялись и демонстрировались на многих публичных мероприятиях, включая Инфофорум. Комплекс имеет наименование «Информационный периметр-И» и используемая в нем базовая станция по предложению автора статьи была названа «Буферная базовая станция». Слово «буферный» взято из компьютерной терминологии как наиболее близко отражающее принцип работы данного комплекса.

Слово буфер (buffer) является производным от слова английского слова «buff» - поглощать удар», то есть дословно буфер – это нечто, находящееся между двумя средами (в данном случае между сотовыми телефонами и сетями сотовой связи общего пользования) и поглощающее энергию их взаимодействия. Состав комплекса приведен на рисунке 3.

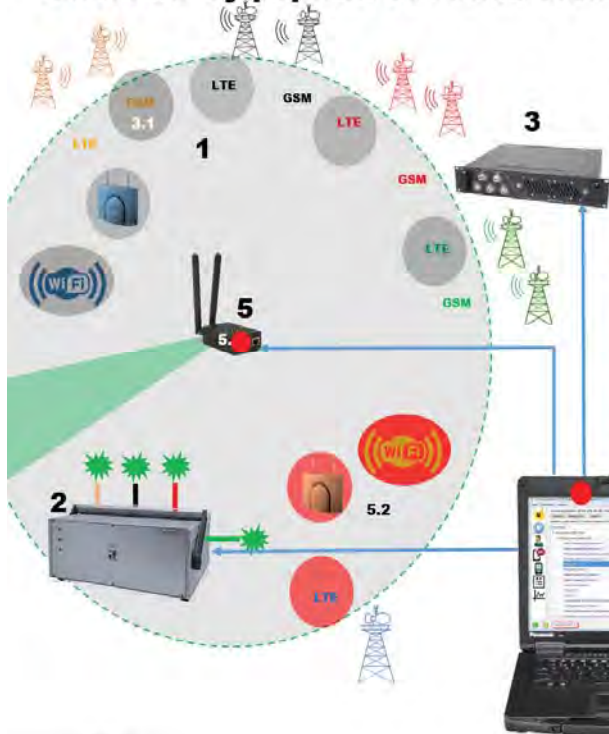
Буферная базовая станция имеет в своем составе не только программно-аппаратные компоненты обычной базовой станции GSM (Base Transceiver Station / BTS и Base Station Controller /BSC), но и компоненты ядра сети GSM (Network Switching Subsystem), такие как:

- Домашний реестр местоположения (HLR – Home Location Registry)
  - Гостевой реестр местоположения (VLR – Visitor Location Registry)
  - Реестр идентификации оборудования (EIR – Equipment Identification Registry)
  - Центр аутентификации (AUC – Authentication Center)
- Отсутствует лишь Центр коммутации (MSC – Mobile Switching Center), поскольку установление голосовых соединений в работе комплекса не предусмотрено.

Вышеперечисленные компоненты обслуживают четыре отдельных трансивера BTS по количеству основных операторов связи сетей общего пользования, работающих в России. Эти трансиверы могут программироваться на излучение любых кодов PLMN (MCC+MNC) для того, чтобы телефоны воспринимали их как свои базовые станции. Наличие автономных компонентов NSS позволяет буферной базовой станции регистрировать в ней телефоны с SIM-картами любых операторов или запрещать такую регистрацию согласно черным и белым спискам. Комплекс управляется персоналом организации, применяющей его на контролируемой ею территории.

Принцип работы комплекса (рис. 4) состоит в том, что телефоны сетей сотовой связи общего пользования, владельцам которых на режимной территории такая связь не разрешена, находясь в своих сетях, автоматически посылают запрос на регистрацию в буферную базовую станцию, работающей на данной территории и являющейся доминирующей по уровню сигнала по отношению к обычным базовым станциям сетей общего пользования. Кроме этого, буферная базовая станция посылает на контрольном канале код своего приоритета для мотивации телефонов к регистрации в ней.

### Система буферных базовых станций «Контур-И»



1. Участок общей режимной территория и сигналы публичных мобильных сетей, WI-FI и DECT на ее территории в момент развертывания системы
2. Программно-аппаратный комплекс «Контур-И»  
Многоканальный блок буферных базовых станций GSM, работающих на PLMN (MCC+MNC) кодах MNC операторов сотовой связи, имеющих покрытие на защищаемой территории
3. Универсальный постановщик SDR- помех «Контур-Ф»
- 3.1. Подавление сигналов LTE для принуждения мобильных телефонов на защищаемой территории переключаться с базовых станций LTE публичных мобильных сетей на ПАК-ИП-БЛК
4. АРМ общего терминала управления системой ПАК ИП-БЛК + Контур
5. Сенсор мониторинга радиоэлектронной обстановки «Контур-М»
- 5.1. Real-time мониторинг РЭО
- 5.2. Сигналы новых каналов утечек, возникших после развертывания системы
- 5.3. Сигналы в режиме real-time пеленгуются сенсором «Контур-М» и технические данные целей передаются в систему
- 5.4. «Контур - Ф» режиме real-time автоматически подавляет сигналы новых каналов утечек

Рис. 3

### Система буферных базовых станций «Контур-И»



1. Блоки «Контур-Ф» и «Контур-М» настроены на выявление и подавление всех сигналов LTE внутри режимной зоны и находятся в дежурном режиме вместе с ПАК «Контур-И»
2. На АРМ -е введены номера (IMEI) телефонов абонентов, которым разрешена связь на объекте (белый список)
3. Абоненты российских сетей белого списка
4. Все остальные абоненты (по умолчанию в черном списке)
5. ПАК «Контур -Ф» включается на передачу, блокируя сигналы публичных сетей LTE и заставляя все телефоны переходить в режим GSM.
6. Блок буферных базовых станций ПАК «Контур-И» включается на передачу, заставляя все телефоны в режимной зоне посылать запрос регистрации на ПАК ПАК «Контур-И» как на БС с более сильными сигналами GSM внутри режимной зоны
7. ПАК «Контур-И» регистрирует все телефоны черного списка, которые переключаются на обслуживание этими БС.
8. ПАК «Контур-И» отказывает в регистрации телефонам белого списка
9. Эти телефоны возвращаются в свои публичные сети, оставаясь на связи.
10. ПАК «Контур-И» не имеет никаких подключений к сетям общего пользования, поэтому зарегистрированные в нем телефоны не могут совершать или получать вызовы.
11. В зависимости от ситуации, ПАК «Контур-И» может работать на:
  - 11а - PLMN публичных сетей РФ (BIG4) с отображением на заблокированных телефонах обычного лого их сетей (скрытое блокирование)
  - 11б - иных PLMN (открытое блокирование)

SIM	IMEI	Телефон	Статус
50050000014421	157826054600176	Alcatel1096	2 На объекте
25002601760837	355101051942600	Nokia 6700	
001011234567927	355101050783031	INCI 245R	
50050000000103	39966001097175	Nobdy 200	
50050000000104	3554305633022	(iPhone 16)	
50050000014417	357603031219229	Philips E169	
50050000014422	356900048739047	Alcatel1096	
50050000014425	39784002411169	Nokia 105	
25001576911992	353490067984548		

Рис. 4





Рис. 5

Телефоны черного списка на время нахождения на режимной территории регистрируются в этой базовой станции и помещаются в ее «буфер», в роли которого выступает автономное программное обеспечение VLR (Visitor Location Register), изолированное от внешних сетей.

Комплекс «Информационный периметр-И» также может быть использован для усиления СКУД на режимных или охраняемых территориях, где пользование сотовой связью не запрещено или запрещено только пользование смартфонами.

Принцип работы комплекса «Информационный периметр-И» в таком режиме показан на рисунке 5.

Следует подчеркнуть, что данный комплекс не имеет компонента MSC – Mobile Switching Center) и поэтому не имеет возможности открытого или негласного контроля разговоров абонентов, зарегистрированных в буферной базовой станции. Совершение звонка или его получение через эту базовую станцию технически невозможно. В этой связи комплекс не является специальным техническим средством.

Такие комплексы могут использоваться компаниями, не являющимися субъектами ОРМ (предприятия ОПК, объекты критической инфраструктуры, школы для проведения ЕГЭ и т.д.). Однако, данные буферные базовые станции от ПАО «МегаФон» и аналоги от других производителей все равно являются радиоэлектронными средствами, работающими в диапазонах частот сотовой связи и с мощностями более 100 мВт, что делает обязательным их регистрацию в органах Роскомнадзора. Поэтому эти комплексы могут легально поставляться заказчикам только через операторов связи (МегаФон, МТС, Билайн, Теле2), которые имеют юридическую возможность регистрации буферных базовых станций в Роскомнадзоре.

### Предлагаемые термины для видов базовых станций сотовой связи, не определенных действующими нормативными документами

На основании всей вышеизложенной аргументации предлагается следующее структурирование терминов, основанное на общем понятии термина «Базовая станция» из ГОСТ Р 55897-2013 3.1.3 и правилах научной терминологии.

**Буферная базовая станция** – автоматическая приемопередающая многоканальная радиостанция с частичной функциональностью опорной сети GSM для работы на режимной территории с принудительной регистрацией любых АС без возможности совершения или приема ими вызовов в течение всего времени их нахождения в зоне действия станции.

**Специальная базовая станция** – автоматическая приемопередающая многоканальная радиостанция с полной функциональностью опорной сети GSM, 3G или LTE для принудительной регистрации любых АС в зоне ее действия и негласного получения идентификационной и речевой информации или передачи данных, исходящих от этих АС.

**Виртуальная RAN Sharing базовая станция** – ресурс физической базовой станции одного оператора связи, выделяемый в целях повышения эффективности использования радиочастотного спектра другим операторам, для соединения по общему радиочастотному каналу АС других операторов, находящихся в зоне ее обслуживания, с узлами коммутации сети беспроводной этих операторов.

Следует подчеркнуть, что такое предложенное понятие термина «Виртуальная базовая станция» наиболее точно отражает смыслы слова «виртуальный». С одной стороны, присутствует первоначальный смысл как «повышающий эффективность» для всех операторов, использующих данную тех-

нологию. С другой стороны, отчасти дополнительный правовой смысл «virtual» – «воздействовать определённым образом, но не на самом деле и не физически» для других операторов, которым основной оператор предоставляет свою базовую станцию в режиме RANSharing.

Для основного оператора его виртуальная базовая станция как часть его физического ресурса остается реальной физической базовой станцией, подлежащей регистрации в качестве РЭС. Для других операторов их опорная сеть воспринимает свою виртуальную базовую станцию как реальную, но этим операторам регистрировать виртуальную базовую станцию в качестве РЭС не требуется.

**Предложения по замене слова «виртуальный» в терминах, где слово «виртуальный» используется в значениях «не настоящий», «кажущийся», «смоделированный компьютерной программой»**

Что касается других технических терминов, использующих слово «виртуальный» как обозначение средства повышения эффективности физических ресурсов за счет различных технологий коллективного доступа к этим ресурсам, уже устоявшееся в нашей стране, использование английского слова «virtual» в русской транслитерации является приемлемым и не несет особых негативных социально-политических или культурных смыслов.

В отношении слова «виртуальный», продвигаемого англосаксами в новом значении их пост-модерна и пост-правды «как таковой физически не существующий, но смоделированный при помощи компьютерных программ так, чтобы казаться таким» или, говоря другими словами, «нереальный, но кажущийся зрителю реальным», представляется разумным в рамках выполнения Федерального закона от 28 февраля 2023 года № 52-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "О государственном языке Российской Федерации» добиваться повсеместной замены этого слова на русское слово «цифровой». При этом слово «цифровой» является гораздо более точным отражением истинного смысла понятия «как таковой физически не существующий, но смоделированный при помощи компьютерных программ так, чтобы казаться таким» или, говоря другими словами, «нереальный, но кажущийся зрителю реальным». Тогда наркотическая магия термина – англосаксонской закладки «виртуальная реальность» для нашего общества теряется, так как это становится «цифровой реальностью», что и есть на самом деле.

**Заключение**

Результатом исследования в первую очередь являются предложения по упорядочению применения прото-термина (номена) «виртуальный» не только по отношению к термину «базовая станция сотовой связи», но и в более широком контексте.

Вторым результатом исследования является анализ и обоснованное доказательство негативных эффектов существующего терминологического status quo слова «виртуальный» не только с чисто научной и технической точек зрения, но и в правовом и коммерческом аспектах.

Третьим результатом исследования является анализ социокультурного воздействия слова «виртуальный» на российское общество.

И, наконец, четвертым результатом исследования является предложения по научно обоснованному упорядочению трактования технического термина «виртуальный» и «виртуализация», ставшего в последнее время модным не только в научно-техническом сообществе, но и вне его, а также предложения по замене слова «виртуальный» в терминах, где более точно подходит слово «цифровой». С учетом того, что слово «цифра» впервые появилось в русском языке в 1703 году в учебнике Магницкого «Арифметика», данное слово можно считать исторически русским словом.

Можно с уверенностью полагать, что замена слова «виртуальный» в таких модных социокультурных терминах как «виртуальная реальность» «виртуальное государство», «виртуальный друг», «виртуальный брак», «виртуальная семья» на «цифровой» также приведет к радикальному падению влияния этих вредоносных слов-закладок на наше общество, укреплению нашего информационного суверенитета и информационной обороноспособности в условиях ведущейся против нашей страны ширококомасштабной гибридной войны.

**Литература**

1. Zhou S., Zhao M., Xu X., Wang J., Yao Y. Distributed wireless communication system: A new architecture for future public wireless access // IEEE Communications Magazine, Mar 2003.
2. Parul Gupta. Virtual Base Station Pool: Towards A Wireless Network Cloud for Radio Access Networks // IBM Journal of Research and Development, Feb 2010.
3. Lin Y., Shao L., Zhu Z., Wang Q., Sabhikhi R. Wireless network cloud: Architecture and system requirements. // IBM Journal of Research and Development, Feb 2010.
4. Roberts, Lawrence G. The evolution of packet switching // Proceedings of the IEEE, 1978.
5. Ломте Д.С. Вопросы заимствования и упорядочения иноязычных терминов и терминологических элементов. М.: Наука, 1982.
6. Майоренко И.А., Дешина К.А. Появление заимствованной иноязычной лексики в русском языке на фоне глобальной информатизации // Современные тенденции кросс-культурных коммуникаций : Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции, Краснодар, 11 ноября 2021 года. Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2022.
7. Сергеева Д. Языковое импортозамещение: нужно ли бояться иностранных слов // РБК Тренды, 16.02.2023.
8. Росэлектроника» представила аппаратуру блокирования сотовой связи для режимных объектов // СиНьюс. 27.02.2020.
9. Dr. Karl-Heinz Neumann. Mobile Network Sharing // 14th ITS Asia-Pacific Conference, Kyoto, Japan, 2017.
10. LillyAndy. IMSI catchers: hacking mobile communication // Network Security, Volume 2017, Issue 2, February 2017.
11. Caroline Gabriel. How vendors can turn RAN sharing from a threat into an opportunity // Next-Generation Wireless Networks, 2020.
12. Савченко Е.А. Правовые аспекты использования радиочастотного спектра // Актуальные проблемы российского права. 2016. № 6 (67).
13. Лурье Д.А. Проблемы виртуализации современного общества и их социологическое осмысление // Философия и общество. №4(56)/2009.
14. Таров Д.А., Тарова И.Н. Обеспечение информационной безопасности организации при виртуализации рабочих столов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019.
15. Хаджиев И.В., Ананченко И.В. Сферы применения технологии виртуализации уровня операционной системы // Синергия наук. 2017. № 9.
16. Самойлова И. МегаФон презентует системы информационной безопасности на «Инфофоруме – Северный Кавказ // Портал Северного Кавказа. 2019.
17. Немыкина О.И. Глобализация виртуальной реальности и информационная безопасность // Автореферат диссертации. 2011.



## VIRTUAL BASE STATIONS WITHIN A CONTEXT OF RUSSIAN INFORMATION SECURITY

**VIKTOR M. BURYAKOV**

Moscow, Russia, victor.buryakov@megafon.ru

**KEYWORDS:** *virtual, virtualization, virtual base station, buffer base station, cellular radio.*

### ABSTRACT

**Subject:** At present, the Russian telecommunications community uses the term "virtual base station" as applied to domestic radio-electronic means of cellular (mobile) communication. In some cases, this leads to an ambiguous interpretation of this term and possible negative consequences, including potential violations in the field of the use of radio electronic communications. The recent widespread use of the word "virtual" outside of scientific and technical terminology has a negative impact on public consciousness and the words "virtual" has become a "plug-in" word in the Russian language and may carry certain informational threats. The subject of the study is the development of criteria for the validity of the use of the term "virtual" both in cellular communications and in other areas. **Goals:** A comprehensive author's study of the etymology

of the term "virtualization" both in Russian scientific and technical terminology and in modern Russian. Identification of areas of technology where the use of the term "virtual" is justified, and areas of information security, where the use of the term "virtual" has negative consequences. **Methodology:** Methods of logical and etymological and political analysis were used. **Results:** Proposals are given for the scientifically proven use of the word "virtual" in Russian scientific and technical terminology. A reasonable formulation of the concept of the terms "virtual base station" and "buffer base station" is proposed. The rules for using the word "virtual" from the point of view of compliance with of the Federal Law of February 28, 2023 No. 52-FZ "Amendments to the Federal Law "On the State Language of the Russian Federation" and the information security of Russia are proposed.

### REFERENCES

1. S. Zhou, M. Zhao, X. Xu, J. Wang, and Y. Yao. Distributed wireless communication system: A new architecture for future public wireless access. *IEEE Communications Magazine*, Mar 2003.
2. Parul Gupta. Virtual Base Station Pool: Towards a Wireless Network Cloud for Radio Access Networks. *IBM Journal of Research and Development*, Feb 2010.
3. Y. Lin, L. Shao, Z. Zhu, Q. Wang, and R. Sabhikhi. Wireless network cloud: Architecture and system requirements. *IBM Journal of Research and Development*, Feb 2010.
4. Lawrence G. Roberts. The evolution of packet switching. *Proceedings of the IEEE*, 1978.
5. D.S. Lotte. Issues of borrowing and organizing foreign language terms and term elements. Nauka publishing house, 1982.
6. I.A. Mayorenko, K.A. Dëshina. The emergence of borrowed foreign language vocabulary in the Russian language against the backdrop of global informatization. *Modern trends in cross-cultural communications: Collection of materials of the IV International Scientific and Practical Conference*, Krasnodar, November 11, 2021 of the year. - Krasnodar: Kuban State Technological University, 2022.
7. D. Sergeeva. Language import substitution: should we be afraid of foreign words. *RBC Trends*, 02/16/2023.
8. Ruselectronics presented equipment for blocking cellular communications for sensitive facilities. *SeaNews*. 02/27/2020.
9. Dr. Karl-Heinz Neumann. Mobile Network Sharing. *14th ITS Asia-Pacific Conference*, Kyoto, Japan, 2017.
10. LillyAndy. IMSI catchers: hacking mobile communication. *Network Security*. Vol. 2017, Issue 2, February 2017.
11. Caroline Gabriel. How vendors can turn RAN sharing from a threat into an opportunity. *Next-Generation Wireless Networks*, 2020.
12. E.A. Savchenko. Legal aspects of the use of the radio frequency spectrum. *Current problems of Russian law*. 2016. No. 6 (67).
13. D.A. Lurie. Problems of virtualization of modern society and their sociological understanding. *Philosophy and Society*. No. 4(56). 2009.
14. D.A. Tarov, I.N. Tarova. Ensuring information security of an organization during desktop virtualization. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2019.
15. I.V. Khadzhev, I.V. Ananchenko. Areas of application of virtualization technology at the operating system level. *Synergy of Sciences*. 2017. No. 9.
16. I. Samoilova. MegaFon will present information security systems at the InfoForum – North Caucasus. *Portal of the North Caucasus*. 2019.
17. O.I. Nemykina. Globalization of virtual reality and information security. Abstract of the dissertation. 2011.

### INFORMATION ABOUT AUTHOR:

**Viktor M. Buryakov**, MTUSI graduate student, Moscow, Moscow, victor.buryakov@megafon.ru

**For citation:** Buryakov V.M. Virtual Base Stations within a context of Russian information security. *H&ES Research*. 2023. Vol. 15. No 6. P. 43-51. doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-6-43-51 (In Rus)

# КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ПОДСИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПАССАЖИРСКИХ СУДОВ В КРУПНЫХ ТУРИСТИЧЕСКИХ ЦЕНТРАХ РОССИИ

## ШАХНОВ

Сергей Федорович<sup>1</sup>

## СМОЛЕНЦЕВ

Сергей Викторович<sup>2</sup>

## БУЦАНЕЦ

Артем Александрович<sup>3</sup>

## ИВАНОВА

Александра Анатольевна<sup>4</sup>

## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Повышение интенсивности речных пассажирских перевозок в крупных туристических центрах вызвало необходимость создания в них систем организации движения пассажирских судов (СОД ПС). Важнейшей составляющей подобных систем является подсистема телекоммуникации, обеспечивающая обмен данными между элементами системы. **Методы:** Для получения наиболее эффективного варианта построения СОД ПС и ее подсистемы телекоммуникации проведено концептуальное исследование, базирующееся на положениях инженерно-кибернетического подхода. Был обоснован выбор системы высшего уровня (мета-системы), требованиям которой должна удовлетворять проектируемая система. **Результаты:** Вычленены процессы, подлежащие реализации посредством разрабатываемой системы. Определен состав и содержание внешнего дополнения. Обоснована эффективность разрабатываемой системы и ее подсистемы телекоммуникации. В данном случае, под эффективностью предлагаемого варианта построения подсистемы телекоммуникации подразумевается обеспечение необходимой пропускной способности и помехоустойчивости каналов контроля и управления и оптимальных способов взаимодействия между основными элементами СОД ПС. Произведена оценка информационной достаточности. Выделены основные ограничения, вытекающие из деятельности системы в мета-системе. Обоснован выбор концептуального решения и представлена структурная схема СОД ПС. В результате исследования описана оптимальная структура подсистемы телекоммуникации, включая необходимые радиоканалы и оконечные устройства.

## Сведения об авторах:

<sup>1</sup> доктор технических наук, доцент, профессор кафедры Судостроения на внутренних водных путях, ФГБОУ ВО "ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова", Санкт-Петербург, Россия, shahnovsf@gumrf.ru

<sup>2</sup> доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Автоматики и вычислительной техники, ФГБОУ ВО "ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова", Санкт-Петербург, Россия, SmolencevSV@gumrf.ru

<sup>3</sup> кандидат технических наук, начальник отдела НТИ и ИС, ФГБОУ ВО "ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова", Санкт-Петербург, Россия, butsanetsaa@gumrf.ru

<sup>4</sup> специалист по НТИ, ФГБОУ ВО "ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова", Санкт-Петербург, Россия, uid@gumrf.ru

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** телекоммуникационная подсистема, система организации движения пассажирских судов, речная информационная служба, система управления движением судов, автоматизированное рабочее место, потенциальная эффективность достижения цели.

**Для цитирования:** Шахнов С.Ф., Смоленцев С.В., Буцанец А.А., Иванова А.А. Концепция построения подсистемы телекоммуникации системы управления движением пассажирских судов в крупных туристических центрах России // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2023. Т. 15. № 6. С. 52-58. doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-6-52-58

## Введение

В последнее время в Российской Федерации (РФ) наблюдается существенный рост внутреннего туризма, что приводит, в том числе, к значительному росту пассажирских перевозок по внутренним водным путям (ВВП) в крупных туристических центрах (Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород и др.). К этому добавляются и набирающие популярность городские маршруты водного транспорта.

Таким образом, плотность движения водного транспорта в этих городах постоянно возрастает, что приводит к необходимости создания системы организации движения пассажирских судов (СОД ПС) с целью обеспечения безопасности судоходства, соблюдения правил, упорядочения расписания их движения и контроля за его соблюдением.

При этом одной из важнейших составляющих СОД ПС является подсистема телекоммуникации, которая обеспечит необходимые каналы контроля, управления и обмена информацией между элементами СОД ПС и внешними системами.

СОД ПС относятся к классу организационно-технических систем. Они не могут функционировать независимо, а всегда встраиваются в системы более высокого уровня. Поэтому, для построения оптимальной СОД ПС необходимо провести концептуальное исследование, которое позволит получить оптимальную структуру данной системы, обеспечивающей выполнение целей и задач систем более высокого уровня. При этом разработка концепции СОД ПС позволит вычленивать оптимальную структуру подсистемы телекоммуникации, которая обеспечит выполнение всех вышеперечисленных задач при минимизации привлекаемых ресурсов.

## Методы

При разработке концепции СОД ПС наиболее подходящим представляется активно развиваемый инженерно-кибернетический подход к концептуальным исследованиям, который учитывает не только системную организацию сложных объектов, но и включает в себя эволюционный и управленческий аспекты, обеспечивающий постоянное совершенствование и повышения качества комплексной системы [1].

Согласно этому подходу, построение системы эффективным образом возможно при всестороннем рассмотрении всей многоуровневой структуры систем и внутренних связей между элементами, входящими в состав системы, и должно учитывать генеральную цель системы верхнего уровня (мета-системы). В дальнейшем проектируемую систему требуется отделить от системы верхнего уровня и обосновать внешние признаки такой системы и её свойства, которые способствуют достижению генеральной цели построения системы [2].

Для отделения проектируемой системы от системы верхнего уровня требуется установить внешнее дополнение, позволяющее описать основные процессы, которые должна обеспечивать проектируемая система [3].

Эффективность сложных систем – это общее свойство системы, которое характеризуется степенью достижения поставленной цели, принимая во внимание затраты времени и ресурсов [4].

Полнота информации о внешних и внутренних факторах, определяющих условия функционирования системы, которой обладает исследователь, во многом определяет эффективность варианта реализации поставленной задачи.

Наибольшее значение для функционирования СОД ПС имеют факторы, связанные с безопасностью судоходства на выбранных участках водного пути, использованием частотного ресурса, а также текущим состоянием инфраструктуры и её потенциалом (число причалов, их расположение, структура флота).

Среди факторов, характеризующих структуру и способы применения системы, наиболее важными в нашем случае является пространственно-временная последовательность работ и способы связи и взаимодействия между основными элементами системы.

Среди факторов, определяющих свойства системы, для СОД ПС наиболее важным является устойчивость алгоритма управления судопотоками, а также самоорганизация, то есть способность к изменению пространственно-временного алгоритма управления при изменении исходных данных и внешних факторов. Таким образом, должна быть выбрана такая оптимальная структура проектируемой системы, чтобы при достижении поставленной цели эффективность такой системы была максимальна [5].

Алгоритм концептуального исследования на мета-системном и системном уровнях состоит из семи этапов. На первом этапе проводится описание системы верхнего уровня (мета-системы) и исследуется её деятельность. На втором этапе происходит выделение процесса, который должна реализовать проектируемая система. Третий этап формирует структуру внешнего дополнения. Четвертый этап определяет методологию обоснования эффективности проектируемой системы. На пятом этапе оценивается информационная достаточность. На шестом этапе необходимо сформировать основные ограничения, появляющиеся в результате деятельности проектируемой системы в мета-системе. Последний этап содержит в себе обоснование выбора концептуального решения и вводит критерий эффективности.

## Результаты

На мета-системном уровне концептуального исследования выполняются три первых этапа, приведенного выше алгоритма. В нашем случае, первым этапом концептуального исследования является выбор мета-системы, в которую будет встроена проектируемая СОД ПС.

В настоящее время в РФ развернута единая система контроля и управления судоходством (ЕСКУС). Назначение данной системы – обеспечивать наблюдение за движением судов и осуществлять его оперативное регулирование, а также осуществлять коммуникацию между всеми участниками процесса обеспечения судоходства, заключающуюся в обмене данными о состоянии грузо- и пассажиропотоков и навигационной безопасности.

Эта система является сложной развивающейся целенаправленной иерархической системой, относящейся к классу эргатических систем с автоматизированным управлением [6].

Технической основой ЕСКУС является информационная интеграция нескольких систем, а именно, автоматической идентификационной системы (АИС), системы управления движением судов (СУДС), систем радиосвязи и судовых сообщений морской подвижной службы ГМССБ и дифференциальной подсистемы глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) ГЛОНАСС/GPS.

Кроме того, в настоящее время в Российской Федерации (РФ) намечен переход к практической реализации концепции речных информационных служб (РИС) на внутренних водных путях (ВВП) РФ. Данная концепция базируется на опыте создания River Information Services (RIS) на ВВП Европейского союза, важнейшей составляющей которой является Служба движения судов (Vessel Traffic Service (VTS)) [7].

РИС на ВВП РФ будут разворачиваться по бассейновому принципу на базе Администраций бассейнов ВВП и предназначаются для обеспечения судоводителей, судовладельцев и Администраций бассейнов стандартным набором информационных услуг, обеспечивающих безопасное и экономически эффективное судоходство и охрану окружающей среды.

На водных путях существуют участки (шлюзы, каналы, мосты и т.д.), являющиеся особенно сложными для судоходства. Поэтому некоторые Администрации бассейнов на таких участках создают речные СУДС, аналогичные морским. Такие речные СУДС обеспечивают безопасность судоходства на конкретных участках, отвечают за организацию судового движения и снабжают судоводителей навигационной и метеорологической информацией. В тех Администрациях, где СУДС не созданы, их функции выполняют диспетчеры службы движения судов.

СУДС предназначена для организации и регулирования судоходства в зоне своей ответственности, осуществления контроля за соблюдением правил и режимов плавания, а также для обеспечения безопасности судоходства в сложной навигационной, метеорологической и гидрологической обстановке [8].

Для выполнения своих функций СУДС должна решать следующие ключевые задачи:

- идентифицировать суда при их приближении к зоне действия СУДС, установить с ними связь и получить сведения о каждом обнаруженном судне, а также внести полученные сведения в базу данных СУДС;
- осуществлять контроль за судовым движением посредством АИС, РЛС, видео и др. средств в зоне своей ответственности;
- осуществлять управление судовым движением в зоне своей ответственности;
- осуществлять контроль за средствами навигационного ограждения (СНО);
- содействовать в проведении аварийно-спасательных операций.

При отсутствии СУДС, на наиболее сложных для судоходства участках ВВП осуществляется диспетчерское регулирование движения судов диспетчерами службы движения Администрации бассейна. Цели и задачи диспетчерского регулирования совпадают с целями и задачами СУДС, за исключением инструментального контроля зоны ответственности и контроля за СНО. Соответственно, будут совпадать и

требования службы диспетчерского регулирования к проектируемой СОД ПС.

Зоны диспетчерского регулирования на ВВП РФ определены Приказом Минтранса РФ №47 от 01.03.2010 г. [9]. Согласно этому документу, диспетчерское регулирование движения судов осуществляется на реках, на которых возведены искусственные водоподпорные и судоходные сооружения, изменившие естественный режим стока, каналах, а также на регулируемых участках ВВП, имеющих ограничения по условиям плавания.

Все водные пути вышеперечисленных крупных туристических центров подпадают под это определение. Следовательно, на них осуществляется диспетчерское регулирование. При этом, диспетчерскому регулированию движения судов на ВВП подлежат все самоходные суда (кроме маломерных судов).

Диспетчерское регулирование движения судов обеспечивает безопасность судоходства путем предоставления информации о габаритах судового хода, об изменении численности и положения плавучих знаков навигационного ограждения, о состоянии и изменении путевых условий, об условиях прохождения судоходных участков и других условиях плавания, а также о метеорологических прогнозах и транспортных происшествиях в бассейне внутренних водных путей.

На основании вышеизложенного становится возможным конкретизировать требования к проектируемой СОД ПС со стороны Администраций бассейна внутренних водных путей, а именно:

- СОД ПС должна обеспечивать надежную работу в заданном режиме;
  - СОД ПС должна предоставлять надежные каналы связи для обмена информацией между оператором системы, городскими службами и диспетчером СУДС;
  - СОД ПС не должна снижать существующий уровень безопасности плавания, обеспечиваемый системой организации движения пассажирских судов;
  - подсистема телекоммуникации СОД ПС не должна создавать помехи существующим каналам связи СУДС;
  - СОД ПС должна исключить возможность несанкционированного вмешательства в свою работу, обеспечив таким образом режим кибербезопасности.
- С другой стороны, в крупных городах в состав Правительства входят Департаменты обеспечения дорожного движения (ДООД). С их стороны, помимо требований, характерных для рассмотренной ранее СУДС, дополнительно выдвигаются следующие требования к проектируемой системе:
- организация пассажирских перевозок в соответствии с расписанием движения;
  - контроль и поддержание заданных интервалов движения;
  - контроль за скоростью движения и временем стоянки у причалов пассажирских судов;
  - регулирование расхождения пассажирских судов в зонах одностороннего движения;
  - принятие мер для компенсации отклонения от расписания движения;
  - обеспечение надежных каналов телекоммуникации между оператором системы, капитанами судов и городскими службами ГОиЧС;

– организационная поддержка спасательных операций при аварийных ситуациях с пассажирскими судами.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что проектируемая система не может быть встроена в Службу регулирования движения судов Администрации бассейна или РИС, так как цели и задачи последних во-многом не совпадают с функциями проектируемой системы. Поэтому в качестве мета-системы проектируемой системы может быть выбран ДОДД.

После выбора мета-системы сформируем внешнее дополнение, определяющее облик проектируемой системы, то есть вычленим процессы, подлежащие реализации посредством разрабатываемой системы. Таковыми являются:

– процесс контроля за соблюдением расписания движения по созданным маршрутам пассажирских судов и соблюдением банкетными и прогулочными судами правил плавания и швартовки;

– процесс реализации процедуры ликвидации последствий нарушений расписания участниками движения;

– процесс реализации процедуры взаимодействия с мета-системой при нарушении Правил плавания участниками движения;

– процесс реализации процедуры взаимодействия с мета-системой при изменении габаритов судового хода или транспортных происшествий на бассейне;

– процесс взаимодействия с мета-системой при проведении поисково-спасательной операции при возникновении аварийной ситуации с пассажирским судном.

На четвертом шаге концептуального исследования обосновывается эффективность предлагаемого варианта проектируемой системы. Методология оценки эффективности подобных систем основывается на сочетании удовлетворения требований, предъявляемых к проектируемой системе, со стороны мета-системы, с обеспечением заданных технических характеристик и уровня безопасности.

В нашем случае, под эффективностью предлагаемого варианта построения подсистемы телекоммуникации СОД ПС подразумевается обеспечение необходимой пропускной способности и помехоустойчивости каналов контроля и управления и оптимальных способов взаимодействия между основными элементами СОД ПС.

Исходя их требований к СОД ПС она будет включать в себя пять подсистем: видео аналитики речного пространства; диспетчеризации судов; учета нарушений на реке; администрирования и телекоммуникации. При этом подсистема администрирования предназначена для обработки зафиксированных нарушений и передачи информации в соответствующие компетентные органы для последующего применения санкций к нарушителям.

На пятом шаге концептуального исследования оценена его информационная достаточность, для чего были рассмотрены факторы, определяющие условия функционирования проектируемой системы.

Целенаправленное противодействие работе системы может быть связано с близостью некоторых участков маршрутов проектируемой системы к комплексу правительственных зданий, а также с кибератаками [10,11]. Кроме того, в крупных городах радиоканалы подвержены влиянию промышленных помех [12].

Информацией, необходимой для проектирования СОД ПС, является:

– состояние и возможности инфраструктуры (количество и конструкции пристаней, места отстоя судов);

– маршруты судов, количество и эксплуатационные характеристики судов;

– возможные варианты построения каналов телекоммуникационной подсистемы.

На шестом шаге рассмотрены ограничения на процессы функционирования СОД ПС (ограничения по скорости, зоны запрета обгона и расхождения, разрешенные частоты), которые полностью определены Приказом Минтранса №19 от 19.01.2018 г. [13], «Правилами движения и стоянки судов» в соответствующем бассейне ВВП РФ [14], а также Приказом Минтранса РФ №83 от 25.03.2019 г. [15].

Наконец, на седьмом шаге определены задачи, решение которых должна обеспечивать подсистема телекоммуникации. А именно:

– прием навигационной и метеорологической информации от диспетчера Службы управления движением Администрации бассейна;

– передачу расписания судов и его изменения на причалы;

– передачу информации о соблюдении расписания капитанам судов;

– прослушивание оператором СУД ПС радиообмена между капитанами судов;

– прием информации от судовых транспондеров АИС;

– передачу информации от модуля визуализации обстановки на маршрутах на рабочее место оператора СУД ПС.

На основании представленных задач и была сформирована концепция построения оптимальной подсистемы телекоммуникации СОД ПС.

## Обсуждения

В нашем случае к пассажирским судам, движение которых будет организовываться проектируемой системой, будут относиться: суда, используемые для перевозки пассажиров по городским маршрутам, экскурсионные, прогулочные и банкетные суда.

Полученная в результате обобщения предыдущих шагов структурная схема СОД ПС представлена на рисунке 1.

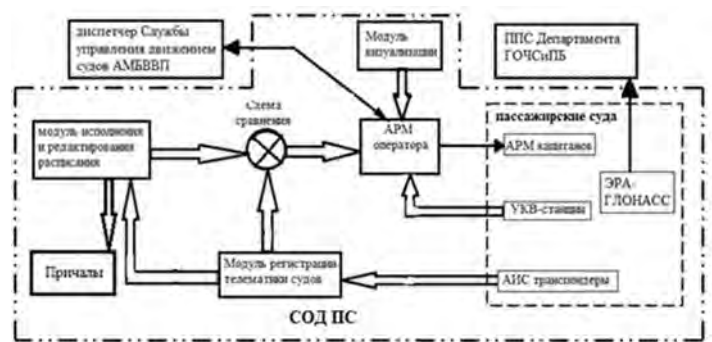


Рис. 1. Структурная схема СОД ПС

Основу СОД ПС составляет модуль исполнения и редактирования расписания движения пассажирских судов по маршрутам. Редактирование расписания необходимо при использовании динамического варианта расписания, которое изменяется при воздействии внешних факторов (задержек, нештатных ситуаций, аварий и т.д.). При этом возникает необходимость постоянной передачи изменений расписаний на причалы и капитанам судов.

Модуль регистрации телематики судов, выполняющий роль отрицательной обратной связи, передает текущую позицию судов не только в схему сравнения, но, при расчетах динамического расписания, – и в модуль исполнения и редактирования расписания.

Модуль визуализации включает в себя сеть видеокамер на маршрутах, фиксирующих обстановку на водных путях.

Автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора позволяет ему в автоматическом режиме получать всю информацию, необходимую для диспетчеризации и администрирования.

АРМ капитанов позволяют последним постоянно контролировать выполнение расписания движения, не отвлекаясь от основных функций по обеспечению безопасного судовождения с соблюдением всех его правил.

В морских и речных условиях для передачи аварийных сигналов предусмотрено несколько вариантов [16]. В нашем случае, для ускорения спасательной операции на каждом пассажирском и экскурсионном судне необходимо установить оборудование системы «Эра-ГЛОНАСС», диспетчер которой имеет прямую связь с Департаментом ГОиЧС.

Возможность такого варианта обусловлена тем, что в характеристиках этого оборудования предусмотрена установка на суда.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, подсистема телекоммуникации должна включать в себя:

- наземные линии связи «оператор СОД ПС - диспетчер Службы управления движением»;
- наземные линии передачи данных «модуль расписания - причалы», «модуль визуализации – автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора»;
- радиолинии передачи данных «судовые АИС – модуль телематики», «АРМ оператора – АРМ капитанов»;
- локальную сеть «модуль расписания – АРМ оператора – модуль телематики»;
- радиолинии связи «капитаны судов – оператор СОД ПС».

Вопросы проектирования локальных телекоммуникационных сетей хорошо проработаны и проблемы не представляют [17,18]. В то же время создание надежных радиолиний подсистемы телекоммуникации в городских условиях имеет некоторые сложности [19].

Помимо индустриальных и преднамеренных помех, из-за извилистости русла реки в условиях городской агломерации, характеризующейся наличием плотной высотной застройки, при работе в УКВ-диапазоне частот будут наблюдаться многочисленные участки радиотени.

Для решения этой проблемы передача данных в направлении АРМ оператора – АРМ капитанов может быть использована существующая мобильная связь. Для приема

информации от судовых транспондеров АИС должна быть организована сеть базовых станций АИС, а для прослушивания оператором СУД ПС радиообмена капитанов судов на 5 канале УКВ, должна быть организована сеть приемников-ретрансляторов, устанавливаемых на поворотах реки.

## Заключение

В результате концептуального исследования из нескольких возможных вариантов системы верхнего уровня для СОД ПС в качестве мета-системы был обоснован выбор ДОДД городского Правительства. Концепция построения СОД ПС формировалась с учетом целей и задач, решаемых ЦОДД, и в первую очередь, задачи организации стабильного расписания движения пассажирских судов при сохранении безопасности судоходства в зоне ответственности СОД ПС.

Были вычленены процессы, подлежащие реализации посредством разрабатываемой системы и определены основные факторы и ограничения, способные повлиять на эффективность проектируемой СОД ПС и ее подсистемы телекоммуникации. Произведена оценка информационной достаточности. Выделены основные ограничения, вытекающие из деятельности системы в мета-системе.

В данном случае, под эффективностью предлагаемого варианта построения подсистемы телекоммуникации подразумевается обеспечение необходимой пропускной способности и помехоустойчивости каналов контроля и управления и оптимальных способов взаимодействия между основными элементами СОД ПС.

В результате исследования описана оптимальная структура подсистемы телекоммуникации, включая необходимые радиоканалы и оконечные устройства.

Определено, что помимо оператора СОД ПС, все пассажирские суда, контролируемые системой, помимо транспондеров АИС и УКВ-радиостанций, должны быть оборудованы мобильными АРМ капитанов.

Для обеспечения необходимо уровня безопасности на всех судах, контролируемых СОД ПС, целесообразно установить оборудование системы ЭРА-ГЛОНАСС и обеспечить надежную линию связи оператора СОД ПС с диспетчером Службы движения Администрации бассейна.

Для контроля оператором СОД ПС за радиообменом на 5 канале УКВ между подконтрольными судами, целесообразно установить на рабочем месте оператора УКВ-радиоприемник и несколько ретрансляторов в точках поворота реки в городской черте.

## Литература

1. Курносое В.И., Лихачев А.М. Методология проектных исследований и управления качеством сложных технических систем электросвязи. СПб.: Тирекс, 1999. 496 с.
2. Шахнов С.Ф., Рудых С.В. Концепция построения подсистемы телекоммуникации дистанционно пилотируемого морского буксира // Качество. Инновации. Образование. 2022. №6(182). С. 60-68. DOI: 10.31145/1999-513x-2022-6-60-68
3. Шахнов С.Ф., Бродский Е.Л., Вознесенский Д.А. Концепция построения подсистемы телекоммуникации автоматизированной паромной переправы на внутренних водных путях // Морская радиоэлектроника. 2022. № 4 (82). С. 48-54.





4. *Shakhnov S.F., Karetnikov V.V., Butsanets A.A., Sazonov A.E.* The concept of introducing a decision support system into the structure of the vessel traffic management system // *Transportation Research Procedia*. 2023. Vol. 68, pp. 363-371. DOI: 10.1016/j.trpro.2023.02.049

5. *Karetnikov V.V., Shakhnov S.F., Brodsky E.L.* Concept for Construction of Unmanned Ferry Lines on Russia's Inland Waterways // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2022. Vol. 988. Is. 4. P. 042057. DOI: 10.1088/1755-1315/988/4/042057

6. *Ivanova A.A., Shakhnov S.F.* Method of automatic transmission of the integrity breach signals of the river local differential subsystem // *T-Comm*. 2021. T. 15. № 4. С. 42-48. DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-4-42-48

7. *Бродский Е.Л., Сикарев А.А.* Инфокоммуникация управления и мониторинга транспортного процесса на внутренних водных путях Европы // *Труды МАС*. 2005. № 4(35). С. 21-27.

8. Положение о системах управления движением судов. М.: Минтранс, 2002. 18 с.

9. Порядок диспетчерского регулирования движения судов на внутренних водных путях Российской Федерации / Приказ Минтранса РФ №47 от 01.03.2010 г. М.: Минюст, рег. №170190, 2010.

10. *Дворников С.С., Дворников С.В., Леонов Д.М., Махфуд М.Г.* Эффективность функционирования локальных радиосетей в сложной радиоэлектронной обстановке // *Информация и космос*. 2023. № 1. С. 29-34.

11. *Столбинский Д.В., Бем П.П., Андреев В.А., Матвеев Д.В.* Воздействие внешних условий на работоспособность радиоэлектронных средств // *Научные технологии в космических исследованиях Земли*. 2023. Т. 15. № 2. С. 18-22.

12. *Иванова А.А., Шахнов С.Ф., Буцанец А.А.* Оценка влияния промышленных помех при построении системы контроля и

управления речной локальной дифференциальной подсистемы ГЛОНАСС/GPS // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. 2019. Т. 11. № 3. С. 509-518. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-509-518.

13. Правила плавания судов по внутренним водным путям / Приказ Минтранса РФ №19 от 18.01.2018 г. М.: Минюст, рег. №50283, 2018.

14. Правила движения и стоянки судов в Московском бассейне внутренних водных путей Российской Федерации / Приказ Минтранса РФ №137 от 05.04.2017 г. М.: Минюст, рег. №46545, 2022.

15. Правила радиосвязи подвижной службы и подвижной спутниковой службы на внутренних водных путях / Приказ Минтранса РФ №83 от 25.03.2019 г. М.: Минюст, рег. №54894, 2019.

16. *Будко Н.П., Аллакин В.В., Каретников В.В.* Метод передачи аварийных сигналов на распределенной информационно-телекоммуникационной сети РОСМОПРЕЧФЛОТА // *Научные технологии в космических исследованиях Земли*. 2023. Т. 15. № 2. С. 10-17. DOI: 10.36724/2409-5419-2022-15-2-10-17

17. *Пшеничников А.П., Короткова В.И., Поскотин Л.С.* Перспективные инфокоммуникационные технологии и сетевые услуги // *Научные технологии в космических исследованиях Земли*. 2023. Т. 15. № 3. С. 57-64.

18. *Ясинский С.А., Романенко П.Г., Султанов Р.С., Филин А.В., Мережко Ю.А., Филин Ф.В.* Подход к моделированию структурной устойчивости транспортных направлений телекоммуникационной сети // *Информация и космос*. 2023. № 3. С. 26-32.

19. *Шахнов С.Ф., Иванова А.А.* Построение системы контроля и управления функциональным дополнением ГНСС ГЛОНАСС/GPS с подсистемой оповещения // *Транспортное дело России*. 2019. № 5. С. 160-162.

## THE CONCEPT OF BUILDING A TELECOMMUNICATION SUBSYSTEM OF PASSENGER VESSEL TRACKING MANAGEMENT SYSTEM IN MAJOR TOURIST CENTERS OF RUSSIA

**SERGEY F. SHAKHNOV**  
 St. Petersburg, Russia

**SERGEY V. SMOLENTSEV**  
 St. Petersburg, Russia

**ARTEM A. BUTSANETS**  
 St. Petersburg, Russia

**ALEXANDRA A. IVANOVA**  
 St. Petersburg, Russia

### ABSTRACT

**Introduction.** The increase in the intensity of river passenger transportation in large tourist centers has necessitated the creation there of systems for organizing the passenger vessels movement. The most important component of such systems is the telecommunication subsystem, which ensures data exchange between system elements. **Methods:** To obtain the most effective option for constructing such a system and its telecommunication subsystem, a conceptual study based on the provisions of the engineering-cybernetic approach is carried out. The choice of a higher-level system (meta-system), the requirements of which the designed system must satisfy, is justified. The processes to be implemented through the developed

**KEYWORDS:** telecommunication subsystem, system for organizing the passenger vessels movement, river information service, RIS, vessel tracking management system, VTMS, automated workstation, potential effectiveness of achieving the goal.

system are identified. The composition and content of the external addition are determined. The effectiveness of the developed system and its telecommunication sub-system is substantiated. **Results:** In this case, the effectiveness of the proposed option for constructing telecommunication subsystem means ensuring the necessary throughput and noise immunity of monitoring and control channels and optimal methods of interaction between the main elements of the system being developed. An assessment of information sufficiency is made. The choice of conceptual solution is justified and the structural diagram of the system for organizing the passenger vessels movement is presented. As a result of the study, the optimal structure of the telecommunication subsystem, including the necessary radio channels and terminal devices, is described.

## REFERENCES

1. V. I. Kurnosov, A. M. Likhachev. Methodology of design research and quality management of complex technical telecommunication systems. St. Petersburg: Tirez, 1999. 496 p.
2. S.F. Shakhnov, S.V. Rudykh. The concept of constructing a telecommunications subsystem for a remotely piloted sea tug. *Quality. Innovation. Education*. 2022. No. 6(182), pp. 60-68. DOI: 10.31145/1999-513x-2022-6-60-68
3. S.F. Shakhnov, E.L. Brodsky, D.A. Voznesensky. The concept of constructing a telecommunications subsystem for an auto-mated ferry crossing on inland waterways. *Marine radio electronics*. 2022. No. 4 (82), pp. 48-54
4. S.F. Shakhnov, V.V. Karetnikov, A.A. Butsanets, A.E. Sazonov. The concept of introducing a decision support system into the structure of the vessel traffic management system. *Transportation Research Procedia*. 2023. Vol. 68, pp. 363-371. DOI: 10.1016/j.trpro.2023.02.049
5. V.V. Karetnikov, S.F. Shakhnov, E.L. Brodsky. Concept for Construction of Unmanned Ferry Lines on Russia's Inland Waterways. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2022. Vol. 988. Is. 4. p. 042057. DOI: 10.1088/1755-1315/988/4/042057
6. A.A. Ivanova, S.F. Shakhnov. Method of automatic transmission of the integrity breach signals of the river local differential subsystem. *T-Comm*. 2021. Vol. 15. No. 4. P. 42-48. DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-4-42-48
7. E.L. Brodsky, A.A. Sikarev. Infocommunication of management and monitoring of the transport process on inland waterways of Europe. *Proceedings of the International Academy of Sciences*. 2005. No. 4(35), pp. 21-27.
8. Regulations on vessel traffic control systems. Moscow: Ministry of Transport, 2002. 18 p.
9. The procedure for dispatch control of vessel traffic on inland waterways of the Russian Federation / Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. 47 dated March 1, 2010. Moscow: Ministry of Justice, reg. No. 170190, 2010.
10. S.S. Dvornikov, S.V. Dvornikov, D.M. Leonov, M.G. Mahfud. Efficiency of functioning of local radio networks in a complex radio-electronic environment. *Information and space*. 2023. No. 1, pp. 29-34.
11. D.V. Stolbinsky, P.P. Bem, V.A. Andreev, D.V. Matveev. Impact of external conditions on the performance of radio-electronic equipment. *Science-intensive technologies in space exploration of the Earth*. 2023. Vol. 15. No. 2, pp. 18-22.
12. A.A. Ivanova, S.F. Shakhnov, A.A. Butsanets. Assessing the influence of industrial interference when constructing a monitoring and control system for the river local differential subsystem GLONASS / GPS. *Bulletin of the State Maritime University and the river fleet named after Admiral S. O. Makarov*. 2019. Vol. 11. No. 3, pp. 509-518. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-509-518.
13. Rules for navigation of vessels on inland waterways / Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. 19 of January 18, 2018. Moscow: Ministry of Justice, reg. No. 50283, 2018.
14. Rules for the movement and mooring of vessels in the Moscow basin of inland waterways of the Russian Federation / Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. 137 of 04/05/2017. Moscow: Ministry of Justice, reg. No. 46545, 2022.
15. Rules for radio communications of the mobile service and mobile satellite service on in-land waterways / Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. 83 of March 25, 2019. Moscow: Ministry of Justice, reg. No. 54894, 2019.
16. N.P. Budko, V.V. Allakin, V.V. Karetnikov. Method of transmitting emergency signals on the distributed information and telecommunication network of ROSMORRECHFLOT. *High-tech technologies in space exploration of the Earth*. 2023. Vol. 15. No. 2, pp. 10-17. DOI: 10.36724/2409-5419-2022-15-2-10-17
17. A.P. Pshenichnikov, V.I. Korotkova, L.S. Poskotin. Promising infocommunication technologies and network services. *High-tech technologies in space exploration of the Earth*. 2023. Vol. 15. No. 3, pp. 57-64.
18. S.A. Yasinsky, P.G. Romanenko, R.S. Sultanov, A.V. Filin, Yu.A. Merezhko, F.V. Eagle owl. An approach to modeling the structural stability of transport directions of a telecommunication network. *Information and space*. 2023. No. 3, pp. 26-32.
19. S.F. Shakhnov, A.A. Ivanova. Construction of a monitoring and control system for the functional addition of GNSS GLONASS/GPS with a warning subsystem. *Transport business of Russia*. 2019. No. 5, pp. 160-162.

## INFORMATION ABOUT AUTHORS:

**Sergey F. Shakhnov**, Dr. of Technical Sciences, associate professor, Professor of the Navigation on Inland Waterways Department, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Russia, shahnovsf@gumrf.ru

**Sergey V Smolentsev**, Dr. of Technical Sciences, professor, Head of the Automation and Computer Science Department, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Russia, SmolencevSV@gumrf.ru

**Artem A. Butsanets**, PhD., Head of the Department of Scientific and Technical Information and Intellectual Property, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Russia, butsanetsaa@gumrf.ru

**Alexandra A. Ivanova**, Specialist, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Russia, uid@gumrf.ru

---

**For citation:** Shakhnov S.F., Smolentsev S.V., Butsanets A.A., Ivanova A.A. The concept of building a telecommunication subsystem of passenger vessel tracking management system in major tourist centers of Russia. *H&ES Reserch*. 2023. Vol. 15. No. 6. P. 52-58. doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-6-52-58 (In Rus)

## Институт математики СО РАН получил новые возможности благодаря внедрению отечественного суперкомпьютера РСК

Специалисты группы компаний РСК завершили монтаж и тестирование новой суперкомпьютерной системы в Институте математики имени С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИМ СО РАН) в Новосибирске. Этот проект реализован в кратчайшие сроки – монтажные и пуско-наладочные работы были завершены за 3,5 недели.

Его реализация стала возможной благодаря получению ИМ СО РАН гранта в рамках федерального проекта "Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров" Национального проекта "Наука и университеты".

Новый отечественный суперкомпьютер построен на базе высокоплотной и энергоэффективной платформы "РСК Торнадо" с жидкостным охлаждением. Высокопроизводительная система ИМ СО РАН построена на базе вычислительных узлов, каждый из которых оснащен двумя процессорами Intel Xeon Scalable 3-го поколения (38 ядер и базовая частота 2,4 ГГц в каждом).

Общая производительность кластера сейчас составляет 54,4 Терафлопс (54,4 триллиона операций в секунду), что позволит сотрудникам института решать сложные исследовательские задачи в области математики, физики, биологии и других наук.

И.о. директора ИМ СО РАН Андрей Евгеньевич Миронов подчеркнул, что новый суперкомпьютер поможет существенно повысить эффективность научных исследований и будет способствовать развитию новых технологий.

"У нас появилась возможность решать задачи невероятной сложности, моделировать объемные процессы и предсказывать поведение сложных математических систем. Ресурсы этого вычислительного комплекса будут использоваться для разработки новых технологий, анализа данных и в образовательных целях, например, мы сможем обучать студентов и молодых ученых современным методам проведения исследований и работы с данными. Этот современный суперкомпьютер сыграет важную роль в развитии международного сотрудничества, позволит нам обмениваться данными и результатами исследований с другими научными центрами по всему миру. Без сомнения, наличие такого мощного инструмента существенно повысит качество нашей работы и уровень подготовки специалистов в области математики и смежных наук", – подчеркнул он.

Разработчиками РСК предусмотрена возможность дальнейшего расширения этого суперкомпьютера.

Руководитель отдела информаци-



онного обеспечения и защиты информации ИМ СО РАН Алексей Батаев отметил, что до 2025 года планируется повышение производительности суперкомпьютера до 234,4 Тфлопс. В ближайшей перспективе планируется установить более 12 вычислительных узлов и добавить еще один узел с графическим процессором. Это позволит в 2024 году увеличить производительность еще на 89 Тфлопс. Суммарная потребляемая мощность этой машины составит примерно 41 кВт.

---

Группа компаний РСК – ведущий российский разработчик и интегратор "полного цикла" инновационных сверхплотных, масштабируемых, энергоэффективных гиперконвергентных решений для высокопроизводительных вычислений (HPC), центров обработки данных (ЦОД) и интеллектуальных систем хранения данных "по требованию" на основе различных процессорных архитектур и передового жидкостного охлаждения, а также целого ряда собственных ноу-хау. РСК с 2018 года является участником приоритетного проекта "Национальные чемпионы", реализуемым в Российской Федерации.

Существующий потенциал компании позволяет: создавать самые энергоэффективные решения с рекордным показателем эффективности использования электроэнергии (PUE), реализовать самую высокую вычислительную плотность в индустрии на базе стандартных процессоров архитектуры x86 и отечественных "Эльбрус-16С", использовать полностью "зеленый" дизайн, обеспечить высочайшую надежность решения, полную бесшумность работы вычислительных модулей, 100% совместимость и гарантированную масштабируемость, при этом достигается беспрецедентно низкая стоимость владения и невысокий уровень энергопотребления. Кроме того, специалисты РСК имеют опыт разработки и внедрения интегрированного программного стека решений для повышения эффективности работы и прикладного использования суперкомпьютерных комплексов: от системного ПО до вертикально-ориентированных платформ на базе технологии облачных вычислений. Дополнительную информацию можно найти на корпоративном сайте [www.rscgroup.ru](http://www.rscgroup.ru).

## “Умное депо” обновили – комплект дополнили дронами, профилометром и машинным зрением

UMNO digital представила новую версию продукта “Умное депо”.

Разработчики реализовали систему поиска, сканирование территории антеннами и дронами. В результате пользователи видят в режиме реального времени местоположение деталей на виртуальной карте предприятия, фиксируют все стадии ремонта тележек и колесных пар, а также автоматически получают данные с профилометра и других приборов в учетные системы. Дополнительной фичей стала интеграция данных и автоматическое заполнение журналов. Обновлениями могут пользоваться любые предприятия, даже те, где не внедрены учетные системы.

“Умное депо” помогает организовать учет, сократить сроки и автоматизировать инвентаризацию, свести к минимуму ошибки из-за человеческого фактора и бумажный документооборот. При внедрении технологии и автоматизации процессов освобождаются ресурсы, снижается количество ошибок, претензий и штрафов.

Основные инструменты: магнитные RFID-метки, которые легко монтируются на колесные пары, а также считыватели – с их помощью находят деталь и передают в учетные системы информацию о ремонте.

На поиск нужной колесной пары тратится много человеческого ресурса. В компании уверены, что новые настройки “Умного депо” сделают его удобнее и быстрее. Разработчики настроили считыватель для работы по принципу “горячо-холодно”. Мастер



получает сигнал, чем он интенсивнее, тем ближе находится деталь. Поиск работает на расстоянии 5-10 метров.

Пользователям технологии стали доступны дроны и антенны для сканирования территории. Дрон программируют на ежедневные полеты по одному и тому же маршруту на высоте 10-12 метров. Он автоматически собирает данные и обновляет информацию о местоположении деталей.

Благодаря стационарным антеннам, которые непрерывно сканируют территорию, диспетчеры видят детали на виртуальной карте и отслеживают их перемещение по цехам и открытым площадкам.

Среди дополнительного оборудования, которое используют в “Умном депо”, лазерные профилометры. Они считывают полный профиль колеса и передают информацию в систему. Возможно также применение техноло-

гии машинного зрения для распознавания номера деталей на бирках и осях.

Другое обновление – “Умное депо” теперь оцифровывает не только ремонт колесных пар, но и комплектацию всей тележки. Помимо этого, при внедрении продукта эксперты IT-компании создают технологическую карту предприятия. Заказчик получает как сам софт, так и описание процессов с рекомендациями.

Разработчики технологии усовершенствовали учет. Электронный журнал теперь формируется сразу в интерфейсе “Умного депо”. Он заполняется автоматически по мере того, как детали проходят этапы ремонта. При необходимости сотрудники выгружают и подписывают печатную форму журнала. Компания продолжает развивать продукт – в 2024 году появятся электронные подписи в журнале и другие полезные функции.

---

UMNO digital (ООО “Умные цифровые решения”) – IT-компания предлагает умные цифровые решения для промышленных предприятий и транспортной отрасли. UMNO. digital реализует проекты, направленные на цифровизацию вагоноремонтных предприятий, автоматизацию транспортной инфраструктуры промышленных площадок и оптимизацию бизнес-процессов любой сложности. В сфере интересов компании технологии индустрии 4.0: цифровые двойники предприятий, машинное обучение, промышленный интернет вещей, роботизация.