



**ISSN 2500-1833**

*Международный научно-практический  
электронный журнал  
Основан в 2015 году, издается ежеквартально*

**Учредители:**

*Региональное отделение Российской академии естественных наук,  
АО «Национальный институт радио и инфокоммуникационных технологий»*

**Издатель:**

*АО «Национальный институт радио и инфокоммуникационных технологий»*

**Главный редактор**

*Е.Е. Володина, д.э.н., акад. РАЕН*

---

**Редакционная коллегия:**

*Бабенко Л.К., д.т.н.*

*Бокк Г.О., д.т.н.*

*Борох Н.В., д.э.н.*

*Гуревич В.Э., к.т.н.*

*Дворянкин С.В., д.т.н.*

*Зубарев Ю.Б., д.т.н., чл.-корр. РАН*

*Качалов Р.М., д.э.н.*

*Кобылко А.А., к.э.н.*

*Косинов М.И., к.т.н.*

*Кудин А.В., к.т.н.*

*Лившиц В.Н., д.э.н.*

*Панов С.А., д.т.н.*

*Петров Д.А., к.ф.-м.н., Финляндия*

*Салютина Т.Ю., д.э.н.*

*Сю Гуан Хань, IEEE Fellow, Китай*

*Цзинвэй Чжун, ст. науч. сотр. Китай*

*Шорин О.А., д.т.н.*

*Эмиль Кине, Ph. D., Франция*

---

**Ведущий редактор** *Дуничева Н.С.*

**Редактор** *Федорова О.В.*

---

*Журнал публикует статьи, отражающие результаты исследований в соответствии со следующими разделами ГРНТИ:*

*06.00.00 – Экономика и экономические науки*

*10.00.00 – Государство и право. Юридические науки*

*14.00.00 – Народное образование. Педагогика*

*19.00.00 – Массовая коммуникация. Журналистика. СМИ*

*20.00.00 – Информатика*

*47.00.00 – Электроника. Радиотехника*

*49.00.00 – Связь*

*73.00.00 – Транспорт*

*82.00.00 – Организация и управление*

*84.00.00 – Стандартизация*

*90.00.00 – Метрология*

**Адрес редакции:** *111024, Москва, ул. Авиамоторная, дом 8А, стр. 5.*

*АО «НИРИТ»*

**Тел./факс:** *8 (495)133-38-99 (282)* **e-mail:** *[ekss@nirit.org](mailto:ekss@nirit.org)* **сайт:** *<http://nirit.org/>*

# СОДЕРЖАНИЕ

## ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- О.И. Шаравова, В.Р. Жолтикова, П.А. Жолтикова*  
**Государственные меры поддержки по увеличению инвестиционной привлекательности технологии 5G** 3-9
- О.И. Шаравова, В.Р. Жолтикова, П.А. Жолтикова*  
**Использование цифрового сервиса «Мегафон. Таргет» для продвижения бизнеса** 9-15
- Е.Е. Володина, Цзинвэй Чжу*  
**Методические подходы к моделированию стоимости радиочастотного ресурса в условиях неопределенности** 15-23

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СЕТИ

- С.А. Хофизов, Ю.М. Долбич*  
**Оценка коммуникаций будущего: от 5G до 6G** 24-31
- В.А. Кравчук*  
**Использование генетического алгоритма в обучении с подкреплением** 31-40
- А.Н. Орлов*  
**Проектирование и моделирование системы обнаружения металла** 40-47

## МЕТРОЛОГИЯ

- В.Н. Нестеров*  
**Измерения в условиях внешних возмущений** 48-56

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Д.В. Лукашик*  
**Анализ современных методов сегментации изображений** 57-65
- А.И. Воронцов, А.А. Бусенков, О.Д. Куприков*  
**Анализ различных инструментов управления и мониторинга облачной инфраструктурой** 65-71
- В.В. Мошков*  
**Исследование использования функционала открытых программных данных (ODA) стандарта RDS** 71-80

# ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

## ГОСУДАРСТВЕННЫЕ МЕРЫ ПОДДЕРЖКИ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ 5G

*О.И. Шаравова, к.э.н., доцент, Московский технический университет связи и информатики, o.i.sharavova@mtuci.ru;*

*В.Р. Жолтикова, Московский технический университет связи и информатики, vi.rom.zh@gmail.com;*

*П.А. Жолтикова, Московский технический университет связи и информатики, polina.zholtikova@gmail.com.*

### УДК 33+65 (075.8)

**Аннотация.** В статье рассматриваются государственные меры поддержки по увеличению инвестиционной привлекательности технологии 5G. Актуальность данной проблемы вызвана многомиллиардными расходами отечественных операторов связи на развитие инфраструктуры, необходимой для развертывания сетей связи 5-го поколения на территории Российской Федерации. В материале изложены основные направления государственной поддержки, среди которых внесение изменений в Налоговый кодекс Российской Федерации и увеличение срока действия решений, принятых Государственной комиссией по радиочастотам.

**Ключевые слова:** 5G; сети связи 5-го поколения; операторы связи; государственная поддержка; инвестиции; инвестиционная привлекательность; цифровая экономика; цифровизация; цифровое неравенство; институты развития.

## GOVERNMENT SUPPORT MEASURES TO INCREASE THE INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF THE 5G TECHNOLOGY

*Olga Sharavova, Ph. D. in Economics, Associate Professor, Moscow Technical University of Communications and Informatics;*

*Victoria Zholtikova, Moscow Technical University of Communications and Informatics;*

*Polina Zholtikova, Moscow Technical University of Communications and Informatics.*

**Annotation.** The article discusses government support measures to increase the investment attractiveness of the 5G industry. The urgency of this problem is caused by the multibillion-dollar expenses of domestic telecom operators for the development of infrastructure necessary for the deployment of 5th generation communication networks on the territory of the Russian Federation. The article outlines the main directions of state support, including amendments to the Tax Code of the Russian Federation and an increase in the validity period of decisions taken by the State Commission on Radio Frequencies.

**Keywords:** 5G, 5th generation communication networks; telecom operators; government support; investments; investment attractiveness; digital economy; digitalization; digital inequality; development institutions.

### **Введение**

За последние 30 лет участники глобального рынка мобильной связи развернули сети 2-го, 3-го, и 4-го поколения, начав трансформацию мирового сообщества. Новая технология 5-го поколения (5G), запущенная в 2019 г., призвана использовать достижения уже известных поколений связи и улучшить качество

предоставляемых услуг, создать новые бизнес-модели и сценарии ее использования [1- 4].

На сегодняшний день российский рынок мобильной связи является сформированным: значение показателя проникновения уникальных абонентов на начало 2020 г. оценивалось на уровне 81% [5, 6]. Объем потребляемого мобильного трафика стремительно увеличивается по мере роста популярности использования смартфонов.

Стабилизация конкурентной обстановки среди отечественных операторов связи и продолжающийся рост объемов трафика привел к увеличению доходов отрасли в краткосрочной перспективе, но по меркам развитых рынков средний доход на пользователя остается низким.

Развитие сетей 5-го поколения в России откроет новые возможности для операторов как на потребительском, так и на корпоративном рынках, позволив улучшить свои финансовые показатели [1, 2, 7, 8].

В то же время, технология 5G обеспечит устойчивость российской экономики, позволит эффективно трансформировать бизнес и государственное управление в связи с переходом общества в «цифровую» эпоху [9, 10].

Государственная поддержка развития информационной инфраструктуры и внедрения сетей 5-го поколения необходима для оперативного устранения административных преград и повышения инвестиционной привлекательности отрасли.

### **Текущее состояние рынка подвижной сотовой связи в России**

Каждое поколение связи создает новые возможности для массовых и коммерческих пользователей сети. Благодаря значительным инвестициям в инфраструктуру и конкуренции между отечественными операторами связи в России самая низкая в мире средняя стоимость тарифа с безлимитным доступом в интернет, а средняя стоимость 1 ГБ трафика имеет значения ниже среднемировых в 4,5 и 6 раз соответственно [6, 8].

Высокие показатели доступности услуг приводят к росту их потребления, но ограниченная платежеспособность населения оказывает негативное влияние на показатели выручки: прибыльность от оказания услуг падает, вынуждая российских операторов связи трансформировать существующие бизнес-модели, предоставлять комплексные инфокоммуникационные услуги, развивать цифровые платформы и сервисы, создавать экосистему бизнеса [3, 4, 7].

Развитие сетей 5-го поколения позволит отечественным операторам связи удовлетворить увеличивающиеся потребности населения в передаче трафика и откроет дополнительные возможности для B2B-рынка: новые сети станут технологическим фундаментом для цифровой трансформации всех секторов экономики, однако их развитие требует значительных вложений в развитие соответствующей инфраструктуры [2, 3, 4, 8, 11].

Активное участие государства в развитии сетей связи 5-го поколения обеспечит качественный рывок во внедрении этой технологии и цифровизации национальной экономики. Увеличить инвестиционную привлекательность отрасли при поддержке государства можно несколькими способами.

### **Необходимость изменений в Налоговом кодексе Российской Федерации**

Строительство сетей 5G в новых диапазонах радиочастот и их дальнейшее развитие в процессе эволюции стандартов подвижной связи требует значительных инвестиций в телекоммуникационную инфраструктуру.

Необходимо привести сроки и темпы амортизации оборудования связи в соответствие с темпами технологического развития сетей, чтобы стимулировать инвестиции в расширение и обновление сетей связи, потому как поддержание работоспособности даже устаревающих поколений связи требует систематического обновления парка оборудования каждые несколько лет. Амортизация косвенно призвана компенсировать вложения на приобретение необходимого оборудования, что позволит операторам высвободить средства для инвестирования в оборудование сетей 5G и разработки новых отраслевых сервисов [12].

Некоторые страны создают специальные системы налогообложения для операторов, занимающихся развитием сетей связи 5G, повышая скорость амортизации современного оборудования. Подобные меры уже используют в Японии, США, Канаде и Великобритании.

Налоговый кодекс Российской Федерации предусматривает право операторов на ускоренную амортизацию оборудования, но не распространяется на оборудование сетей связи 5G. Государственной мерой поддержки могли бы стать изменения в ст. 259.3 НК РФ, закрепляющие применение повышающего коэффициента в отношении объектов основных средств, приобретенных или созданных в рамках развития сетей 5G. Средства, полученные операторами связи в результате ускоренной амортизации, будут реинвестированы в развитие современной инфраструктуры связи.

#### **Изменение сроков действия решений, принятых Государственной комиссией по радиочастотам**

Государственная комиссия по радиочастотам (ГКРЧ), подведомственная Министерству цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, осуществляет регулирование использования радиочастотного спектра в Российской Федерации и обеспечивает эффективное и надлежащее использование радиочастотного ресурса в интересах всех пользователей [13].

Для осуществления своей профессиональной деятельности оператор связи обязан получить от ГКРЧ разрешение на использование частот, максимальный срок которого составляет 10 лет, после чего разрешение необходимо продлить.

Подобный механизм не позволяет операторам планировать инвестиции и их возврат в течение всего инвестиционного цикла, поскольку, по различным оценкам, окупаемость инвестиций в инфраструктуру 5G составляет порядка 10 лет при благоприятных условиях, при дополнительных обременениях и использовании менее распространенных диапазонов радиочастот – 20 лет и более. Потенциальный объем инвестиций в развитие инфраструктуры 5G снижается в связи с возможными рисками.

Вступивший в силу в декабре 2018 г. Кодекс электронных коммуникаций в Европе установил необходимость лицензирования радиочастотного спектра на 20 лет для обеспечения окупаемости инвестиций в инфраструктуру сетей связи 5G. По данным *The European 5G Observatory*, в европейских странах существует довольно много примеров выдачи долгосрочной лицензии, сроком более 15 лет, для коммерческого внедрения сетей 5G. В табл. 1 приведены сроки действия лицензий, выданных для внедрения сетей 5G.

Таблица 1.

№ п/п	Название страны	Срок действия лицензии, лет
1	Швеция	21
2	Австрия	20
3	Италия	19
4	Финляндия	17
5	Франция	15

Решением ГКРЧ срок выделения полос радиочастот ограничен 10 годами, поэтому операторы мобильной связи вынуждены планировать свою деятельность в рамках 10 лет.

Увеличение срока действия решения ГКРЧ для сетей сотовой связи, включая выделение спектра для развития сетей 5G, позволит увеличить инвестиции участников рынка в развитие телекоммуникационной структуры.

### **Обеспечение создания подъездных дорог и доступа к энергоресурсам**

Устранение цифрового неравенства в России неразрывно связано с доступностью услуг и сервисов для населения, поэтому необходимо увеличить зоны обслуживания сетей подвижной сотовой связи современных поколений, в том числе пятого [14].

Отсутствие доступа к электроэнергии и подъездных дорог в малонаселенных пунктах становится значительной преградой на пути к достижению этой цели: в подобных условиях операторы не могут строить новые базовые станции и реализовывать собственные инвестиционные проекты.

Для устранения цифрового неравенства руководство страны реформирует систему универсального обслуживания и внесло изменения в закон «О связи», предусматривающие создание магистральной инфраструктуры и точек доступа в населенных пунктах численностью от 250 до 500 человек, а также поправки, расширяющие критерии включения в реформу. Теперь в нее попадают населенные пункты численностью от 100 до 250 человек, в перечень также включены услуги передачи данных с помощью точек доступа *Wi-Fi* в населенных пунктах численностью от 100 до 500 человек. Впоследствии вопрос наличия подъездных дорог и доступа операторов к электроэнергии стал еще более актуальным.

Помимо этого, для устранения цифрового неравенства необходимо обеспечить устойчивое функционирование мобильной связи в удаленных и труднодоступных районах страны на автомобильных дорогах, чтобы у жителей в любой ситуации была возможность вызвать экстренные службы. Для решения этого вопроса государство выделяет дополнительные субсидии, но они предусматривают возмещение только капитальных затрат, не учитывая суммарные операционные затраты операторов на содержание и эксплуатацию базовых станций на дороге, а они в отдельных случаях превышают затраты на строительство.

В этой связи необходимо обеспечить создание подъездных дорог и доступ к электроэнергии для стимулирования инвестиционной деятельности операторов в развитие сетей связи 5G. Государственные программы развития дорог и отечественной электроэнергетики необходимо скорректировать в целях расширения покрытия сетями подвижной сотовой связи пятого поколения:

- создать инфраструктуру для размещения линий и оборудования связи при строительстве и реконструкции автомобильных дорог общего пользования;
- получить возможность финансирования расходов, связанных с подключением оборудования операторов связи к электросетям, при поддержке государства.

### **Поддержка сетей связи 5G институтами развития**

На развитие сетей связи 5G в России значительное влияние оказывают институты развития, обеспечивающие финансовую поддержку операторов связи, внедряющих передовые технологии на территории страны. Институты развития поддерживают производство отечественного оборудования связи, но аналогичные механизмы необходимо применять по отношению к операторам, внедряющим и эксплуатирующим сети связи 5G.

К крупнейшим элементам институтов развития можно отнести корпорацию развития «ВЭБ.РФ», Фонд содействия инновациям, Фонд развития инновационного центра «Сколково», Фонд развития промышленности, Российский фонд развития информационных технологий и другие. Эти организации призваны привлечь частные инвестиции в приоритетные отрасли экономики, способствовать созданию и внедрению инноваций на территории страны.

Ежегодно операторы мобильной связи тратят около 15 млрд руб. на строительство сетей 5G [6]. При этом оборудование 5G технологически неразрывно связано с сетями предыдущих поколений и другими элементами сетей передачи данных, поэтому привычное в других отраслях проектное финансирование операторов невозможно.

В подобных условиях институтам развития необходимо поддерживать компании, развивающие направление 5G через кредитное финансирование по субсидированной ставке, вложение в ценные бумаги операторов связи, расширить возможности инвестирования в долговые ценные бумаги операторов для пенсионных фондов, страховых компаний и других групп институциональных инвесторов.

### **Заключение**

Передовое развитие сетей связи 5G в России невозможно без привлечения инвестиций со стороны бизнеса. Государственные меры поддержки, направленные на увеличение инвестиционной привлекательности отрасли, окажут положительное влияние на скорость разработки и внедрения решений, связанных с 5G.

Изменения в Налоговом кодексе, предусматривающие право операторов связи на ускоренную амортизацию оборудования сетей связи 5G позволит компаниям реинвестировать ресурсы в развитие передовой высокотехнологичной инфраструктуры связи.

Увеличение срока действия решения ГКРЧ для сетей сотовой связи на 10-20 лет позволит операторам связи в долгосрочной перспективе планировать производственные процессы и в дальнейшем увеличить инвестиционную деятельность по отношению к отрасли 5G.

Обеспечение создания подъездных дорог и доступа к энергоресурсам также окажет положительное влияние на развитие отрасли: созданные условия будут стимулировать операторов связи расширять зону покрытия сетями связи 5G, тем самым вкладывать больше средств.

Финансовая поддержка операторов связи со стороны институтов развития также увеличит инвестиционную привлекательность в отрасль 5G в России.

Таким образом, комплексные меры государственной поддержки необходимы для увеличения привлекательности инвестиционной деятельности в развитие сетей связи 5G.

## Литература

1. Мировые тенденции, перспективные сценарии развития и использования технологии 5G в отраслях экономики. – М.: ПАО «Ростелеком». – 206 с. [https://www.company.rt.ru/press/news/files/5G\\_сценарии.pdf](https://www.company.rt.ru/press/news/files/5G_сценарии.pdf).
2. Кузовкова Т.А., Алмаева О.П., Вольнов А.А., Шаравов И.М. Реализация сценариев использования технологий на базе сетей пятого поколения // Мобильный бизнес: Перспективы развития и реализация систем радиосвязи в России и за рубежом. Сборник материалов (тезисов) 48-й международной конференции. Москва, 2021. – С. 30-33.
3. Кузовкова Т.А., Шаравова О.И., Шаравова М.М. Интегральный платформенный характер бизнес-моделей цифровых компаний // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция, 2021. – № 2. – С. 107-113.
4. Шаравова М.М. Выявление характера цифровой трансформации моделей инфокоммуникационного бизнеса // Экономика и качество систем связи, 2021. – № 1 (19). – С. 3-12.
5. Шаравова О.И., Жолтикова В.Р., Шаравова М.М. Современная конъюнктура рынка подвижной сотовой связи России // Мобильный бизнес: Перспективы развития и реализация систем радиосвязи в России и за рубежом. Сборник материалов (тезисов) 48-й международной конференции. Москва, 2021. – С. 28-30.
6. [https://www.company.rt.ru/projects/digital\\_economy\\_rf/5G/](https://www.company.rt.ru/projects/digital_economy_rf/5G/)
7. Sharavova O.I., Sharavova M.M. Features of evaluating and managing the resources of mobile virtual network operators of digital ecosystems // Proceedings of the 2021 IEEE International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies», T and QM and IS, 2021. – С. 900-902.
8. Гулевич Д.С. Сети связи следующего поколения: учебное пособие. 3-е изд. – Москва: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2021. – 212 с. – ISBN 978-5-4497-0933-2. – Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/102063.html> (дата обращения: 28.03.2022).
9. Кузовкова Т.А., Ву Д.Ф., Шаравова М.М., Шаравов И.М. Перспективы развития инфокоммуникаций в условиях реализации национальных проектов цифровой экономики // Сборник трудов XV Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества», 2021. – С. 261-263.
10. Кузовкова Т.А., Шаравова О.И., Кузовков Д.В. Требования цифровой экономики к развитию сетей и систем связи // Технологии информационного общества. Сборник трудов XIV Международной отраслевой научно-технической конференции, 2020. – С. 346-348.
11. Тихвинский В.О, Терентьев С.В., Коваль В.А. Сети мобильной связи 5G: технологии, архитектура и услуги. М.: Издательский дом Медиа Паблишер, 2019. – 376 с.
12. Берлин А.Н. Высокоскоростные сети связи: учебное пособие, 3-е изд. – Москва, Саратов: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2020. – 451 с. – ISBN 978-5-4497-0316-3. – Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/89433.html> (дата обращения: 28.03.2022).
13. <http://government.ru/department/224/about/>
14. Винокуров И.В. Сети и телекоммуникации: учебное пособие для бакалавров. – Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 105 с. – ISBN 978-5-4497-1418-3. – Текст:



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОГО СЕРВИСА «МЕГАФОН. ТАРГЕТ» ДЛЯ ПРОДВИЖЕНИЯ БИЗНЕСА

*О.И. Шаравова, к.э.н., доцент, Московский технический университет связи и информатики, o.i.sharavova@mtuci.ru;*

*В.Р. Жолтикова, Московский технический университет связи и информатики, vi.rom.zh@gmail.com;*

*П.А. Жолтикова, Московский технический университет связи и информатики, polina.zholtikova@gmail.com.*

### УДК 33+65 (075.8)

**Аннотация.** В статье рассматриваются возможности и способы цифровизации бизнеса с помощью цифровых сервисов оператора подвижной сотовой связи ПАО «МегаФон». Уровень владения технологиями в значительной степени влияет на конкурентоспособность современной компании. Новые технологии открыли новые возможности для совершенствования бизнес-процессов, «цифровой подход» изменяет ментальность и культуру организации. Лидеры инноваций помогают ускорить процессы и сэкономить на капитальных затратах. Рассматриваются цифровые сервисы, которые позволят упростить деятельность компании и не тратить ресурсы на те процессы, которые можно автоматизировать с помощью готовых решений. Проанализированы преимущества и недостатки запуска таргетированной рекламы посредством сервиса мобильного оператора, показаны сложности, которые могут возникнуть при формировании заявки.

**Ключевые слова:** таргет; рассылка; цифровой сервис; мобильный оператор; бизнес.

## USING THE MEGAFON. TARGET DIGITAL SERVICE TO PROMOTE BUSINESS

*Olga Sharavova, Ph. D. in Economics, Associate Professor, Moscow Technical University of Communications and Informatics;*

*Victoria Zholtikova, Moscow Technical University of Communications and Informatics;*

*Polina Zholtikova, Moscow Technical University of Communications and Informatics.*

**Annotation.** The article discusses the possibilities and ways of digitalization of business using the digital service of the mobile cellular operator PJSC MegaFon. The level of technology proficiency significantly affects the competitiveness of a modern company. New technologies have opened up new opportunities for improving business processes, the «digital approach» is changing the mentality and culture of the organization. Innovation leaders help speed up processes and save on capital costs. Digital services are considered that can simplify the company's activities and allow you not to waste resources on those processes that can be automated using ready-made solutions. The advantages and disadvantages of launching targeted advertising through the mobile

operator's service are analyzed, the difficulties that may arise when forming an application are shown.

**Keywords:** target; mailing list; digital service; mobile operator; business.

---

### **Введение**

Рекламная кампания является важным способом выведения продукта, услуги, товара на рынок, повышения узнаваемости бренда, создания позитивного информационного поля для бренда и удержания лидерских позиций [1, 2].

Популяризация события в СМИ-ресурсах положительно влияет на восприятие и узнаваемость фирмы. Основной задачей рекламной кампании является привлечение наибольшего числа потенциальных потребителей, убеждение целевой аудитории в том, что был сделан правильный выбор, основанный на доверии к выбранной компании, поддержание положительной репутации и занятие определенной уверенной позиции на рынке среди своих конкурентов. Об эффективности предстоящей рекламной кампании можно говорить только в том случае, если ее реализация будет основана на комплексном подходе в совокупности с разносторонними способами продвижения.

Немаловажную роль в продвижении составляет портрет целевой аудитории. Целевая аудитория (ЦА) – выборка пользователей услуг или потребителей товаров, соответствующая политике компании. Именно на такую аудиторию направляются все рекламные сообщения с помощью таргета.

МегаФон-таргет – сервис *SMS*-рассылки по базе абонентов операторов. Сервис направлен на увеличение количества клиентов, и следовательно – выручки. Инновационный сервис *SMS*-рассылок от МегаФона предоставляет возможность без лишних вложений капитала, провести рассылку по уже имеющейся базе компании-рекламодатели или базе оператора. Буквально в несколько кликов у заказчика получится создать рассылку и настроить ее параметры. Запуск такой рекламной кампании не отнимет много времени, если уже имеется составленный портрет потенциального потребителя, цепляющий текст. Как правило, таргет-сервис обрабатывает заявку не больше 24 часов и является одним из бюджетных способов уведомления потребителя даже в том случае, если у рекламной кампании выбран небольшой процент охвата [3].

### **Возможности цифровых сервисов ПАО «МегаФон»**

Основная миссия ПАО «МегаФон» – развивать свою сеть и стать лидером на рынке инфокоммуникационных услуг. Основной целью деятельности ПАО «МегаФон» является извлечение прибыли путем оказания услуг связи и осуществления иной хозяйственной деятельности. Основными видами деятельности ПАО «МегаФон» являются:

1. Предоставление услуг связи. Это является основным вектором мобильного оператора с 1993 г.

2. Создание и совершенствование технологического оборудования, а также его обслуживание. ПАО «МегаФон» ежегодно проводит исследования в области связи. Полученные результаты направлены на модернизацию имеющегося технического оборудования.

3. Создание и развитие мультимедийной инфраструктуры для широкого круга потребителей. Мобильный оператор предоставляет своим абонентам доступ к мультимедийным приложениям с уникальными предложениями.

4. Предоставление цифровых сервисов для бизнеса. ПАО «МегаФон» предлагает своим клиентам доступ к *B2B*, *B2C*, *B2G*, предоставляя оптимальные

решения для их бизнес-идеи, упрощение деятельности компании и доведения ее до автоматизации.

Основными конкурентами ПАО «МегаФон» на олигополистическом инфокоммуникационном рынке [4] являются: ПАО «Мобильные ТелеСистемы» (МТС), ПАО «ВымпелКом» (бренд Билайн), ООО «Т2 мобайл» (принадлежит ПАО «Ростелеком»). В результате анализа конкурентов ПАО «МегаФон» определены и представлены на рис. 1 рыночные доли ведущих операторов на основе количества их пользователей:

- ПАО «МегаФон» – 77,1 млн пользователей;
- ПАО «МТС» – 78,2 млн пользователей;
- ПАО «ВымпелКом» – 59,8 млн пользователей;
- ООО «Т2 мобайл» – 51,8 млн пользователей.

Таким образом, по итогам годовых отчетов мобильных операторов, МТС занимает лидирующую позицию по количеству пользователей. МегаФон отстает от своего главного конкурента на 1,1 млн абонентов. Для роста числа пользователей и занятия лидерских позиций на рынке, компания ПАО «МегаФон» приобрела акции *Mail.Ru Group* (в 2017 г.). Покупка акций открыла для мобильного оператора возможность создать крупнейшую цифровую экосистему на территории Российской Федерации. Это поспособствовало увеличению выручки на 14,8% и увеличению прироста пользователей.



Рисунок 1

На тему цифровой трансформации, изменения моделей бизнеса и конвергенции услуг, сервисов и решений сегодня говорится много, ведь именно уровень цифровой трансформации наглядно демонстрирует конкурентоспособность компании: новые технологии порождают появление новых возможностей для совершенствования процессов, «цифровой подход» изменяет ментальность и культуру организации [5-9]. Лидеры инноваций помогают ускорить бизнес-процессы компаний-пользователей и сэкономить на капитальных затратах.

МегаФон имеет целый ряд важных стартовых составляющих цифровизации компаний: самый быстрый беспроводной мобильный интернет, одну из лучших инфраструктур в отрасли телекома (для того, чтобы обеспечить бизнес наилучшим покрытием сети), богатый портфель решений.

Время и деньги выступают в роли важнейших ресурсов любой компании. Цифровые сервисы МегаФон позволяют не тратить ресурсы на те процессы, которые можно автоматизировать с уже готовыми решениями:

1. Для повышения эффективности работы бизнеса, компания МегаФон предлагает воспользоваться ее услугами, а именно: подключение системы контроля и управления расходами, воспользоваться услугой организации офиса, усилить контроль и безопасность деятельности.

2. Для поддержания связи с уже имеющимися клиентами, компания предлагает воспользоваться настройкой мобильного АТС с переадресацией, что позволит клиенту оперативно связаться с нужным отделом компании. Услуга помогает клиенту распределить входящие вызовы по установленным сценариям и предоставит их статистику в личном кабинете.

3. При возникновении проблем с контролем работы персонала вне офиса, мобильный оператор предлагает услугу «Контроль кадров», позволяющую делать это быстро и экономно. Работодатель будет всегда в курсе того, что делают сотрудники: когда начали работу, сколько заказов было выполнено и т.д.

4. Проверка расходов персонала на связь отнимает время и деньги. Услуга «Персональный бюджет» позволяет автоматически разделить расходы на служебные и личные.

5. При запуске рекламной кампании своего бизнес-продукта, мобильный оператор предлагает воспользоваться таргет-сервисом «МегаФон.Таргет». Мобильное информирование позволит автоматически отправлять рассылки нужным клиентам: сообщить об акциях, разместить баннер, подобрать портрет клиента и использовать его в дальнейшем.

### **Цифровые решения для бизнес-клиентов ПАО «МегаФон»**

Сейчас сложно представить ситуацию, когда человек может выйти на улицу без телефона. Как известно, мобильный оператор транслирует геолокацию абонента. Удобство таргет-сервиса от МегаФон заключается в возможности осуществить рассылку абонентам, которые находятся недалеко от продвигаемого бизнеса. «МегаФон.Таргет» предоставляет дополнительный вариант – создание особой «территории приема». Стоит только человеку, живущему в другом районе города, войти в нужное время в заданную рассылкой географическую зону, как он получит *SMS*.

Существует два варианта подключения услуги: самостоятельно (с помощью личного кабинета), либо в ближайшем офисе МегаФон по обслуживанию корпоративных клиентов. При создании рассылки можно выбрать базу данных: по своей базе или по базе МегаФон. В случае выбора опции «Гарантированное согласие абонента на получение СМС», сообщения отправятся только абонентам оператора, которые дали согласие на получение рекламы третьих лиц. Можно приурочить рассылку к определенной дате. Каждый абонент из выбранной адресной книги получит сообщение в определенный день. Например, заказчик захотел поздравить своих клиентов с днем рождения, система отправит сообщения только тем клиентам, у которых была указана дата рождения. Для этого необходимо заполнить по всем клиентам дату рождения в адресной книге (если поле не заполнено, то система отправит сообщения только тем клиентам, у которых дата указана).

При создании рассылки предлагается выбрать тип сообщения: *SMS* или *MMS* с возможностью размещения ссылки на сайт, а также редиректные ссылки, позволяющие оценить эффективность сообщений. Благодаря таргетингу

определенные люди получают нужное сообщение. Вся аналитика по рассылкам доступна в личном кабинете заказчика. Таким образом, можно отслеживать динамику изменений и, в случае необходимости, скорректировать выборку. При рассылке важно обозначить период рассылки: это может быть, как моментальная рассылка, так и равномерные уведомления в течение длительного периода.

С помощью удобного интерфейса можно настроить и провести рекламную кампанию, а по ее окончании – точно оценить ее эффективность. «МегаФон.Таргет» – это понятный и доступный инструмент рекламы, направленный на конкретную целевую аудиторию. МегаФон предлагает заказчику сформировать целевую аудиторию под продвигаемый продукт или услугу. Для этого требуется воспользоваться встроенным фильтром. Фильтр предлагает выбрать город, пол, возраст, затраты абонентов на сотовую связь, операционную систему гаджета, увлечения, интересы, уровень дохода (премиум, высокий, средний и т.д. Сведения об уровне дохода формируются с применением технологии *Deep Learning* на основе агрегированных данных о пользовательской активности абонентов. При выборе интересов ЦА можно задать выборку «авто», а система предложит выбрать интервал времени, когда абонент интересовался данным запросом. Выбор операционной системы актуален в том случае, если бизнес связан с конкретной системой. Например: сервисный центр по починке продукции *Apple*. Для постоянных клиентов настраиваются промокоды с уникальным предложением, ориентированным на каждого клиента.

Услуга «МегаФон.Таргет» помогает развивать бизнес заказчика и привлекать новых клиентов. Например, компания «Авторай» использует данную услугу на протяжении года. За компанией закреплено пять автосалонов в разных частях города. В каждом автосалоне регулярно проводятся свои акции и мероприятия. Клиенты получают информацию о различных скидках и специальных предложениях в самый подходящий для этого момент. Если требуется сообщить о предстоящем мероприятии компании «Авторай», сервис позволяет настроить географию таргетинга таким образом, что *SMS* получают люди, которые находятся в выбранном радиусе, относительно автосалона. Абоненты, которые посещали автопорталы со своего смартфона, тоже могут быть включены в список рассылки сообщений. Также от получателей рассылок поступают звонки, люди активно интересуются проводимыми акциями и скидками.

В «МегаФон.Таргет» есть инструменты и для того, чтобы оценить эффективность проведенной кампании. В сообщения можно автоматически добавить уникальные коды для каждого получателя и ссылки на сайт клиента, которые позволяют оценить количество переходов на сайт. Стоит отметить, что информационные сообщения можно отправлять только тем абонентам, кто дал согласие на получение рассылок. А это значит, что негативной реакции с их стороны не должно быть. Наоборот, возможно они будут рады приобрести необходимые товары или сэкономить с помощью специальных предложений компании.

Прямое сотрудничество компании МегаФон с *Mail.RU* позволяет сервису расширить возможности рассылки не только в виде *SMS* и *MMS*, но и привлечь клиентов с *email*-каналами. Почтовая рассылка настраивается таким же простым способом, что и *SMS*, присутствует открытая статистика всех отправок: сообщение не попадет в спам, статистика доставленных писем и отписка будет автоматически доступна в интерфейсе.

Преимущества и недостатки данного таргет-сервиса представлены в табл. 1.

Для оценки эффективности запуска таргета система показывает количество звонков на номер, указанный в сообщении, количество проведенных скидков по коду и частоту переходов по ссылке из сообщения.

*SMS* и *email*-рассылки являются далеко не новым способом продвижения своего продукта, а поэтому они же являются одними из самых недооцененных. При комплексном подходе к формированию и настраиванию рекламной кампании, рассмотренный цифровой сервис принесет наибольший приток пользователей с минимальными затратами компании.

Таблица 1.

Достоинства	Недостатки
1. Операторами предоставляется возможность запустить таргетированную рекламу для бизнеса, даже если у клиента еще не сформировалась собственная база	1. Проблематично запустить эффективный таргет с первого раза, т.к. могут возникнуть неточности в выборке
2. Рассылка способствует повышению узнаваемости продвигаемой компании	2. Рассылка доступна только для тех абонентов, кто пользуется услугами оператора
3. Взаимодействия с ссылками и промокодами способствуют увеличению клиентской базы	3. Заявку могут отклонить, если она не соответствует требованиям мобильного оператора
4. Большая часть абонентов обращают внимание на появившееся сообщение в первые секунды	4. Возможна поломка серверов, что временно затруднит формирование заявки
5. Усиливает эффект рекламной кампании при комплексном подходе	5. Изменение потребностей целевой аудитории и экономический кризис. Как следствие, низкая покупательная способность ЦА

### Заключение

Основной целью рекламной кампании является выведение товара на рынок, повышение лояльности клиентуры и удержание лидерских позиций. Цифровизация бизнеса с помощью использования новых цифровых сервисов позволит компании повысить узнаваемость, упростить ведение бизнеса, автоматизировать все его этапы, занять лидерские позиции на рынке за счет применения цифровых технологий.

Несмотря на высокую конкуренцию среди представителей аналогичных услуг, главным преимуществом МегаФон является возможность комплексного подхода к решению проблем. Начало сотрудничества с крупнейшим интернет-порталом – *Mail.RU* дало возможность расширить спектр предоставляемых услуг, увеличить абонентскую базу и начать глубже анализировать потребности клиентов.

Грамотное построение заявки предприятием-пользователем на цифровом сервисе «Мегафон. Таргет» позволит усилить эффект рекламной кампании при комплексном подходе, привлечь внимание абонента входящим уведомлением от *SMS* или *email*-рассылки, будет способствовать увеличению клиентской базы и, как следствие, повышению узнаваемости продвигаемой компании.

### Литература

1. Кузовкова Т.А., Шаравова М.М., Шаравов И.М. Продвижение цифровых сервисов // Труды международной научно-технической конференции

- «Телекоммуникационные и вычислительные системы 2020». Московский технический университет связи и информатики, 2020. – С. 765-770.
2. Шаравова О.И., Шевченко Я.А. Позиционирование как форма коммуникации в рекламной деятельности операторов подвижной связи // Мобильный бизнес: Перспективы развития и реализация систем радиосвязи в России и за рубежом. Сборник материалов (тезисов) XLI международной конференции РАЕН, 2018. – С. 121-123.
3. <https://target.megafon.ru>
4. Шаравова О.И., Жолтикова В.Р., Шаравова М.М. Современная конъюнктура рынка подвижной сотовой связи России // Мобильный бизнес: Перспективы развития и реализация систем радиосвязи в России и за рубежом. Сборник материалов (тезисов) 48-й международной конференции. Москва, 2021. – С. 28-30.
5. Шаравова М.М. Выявление характера цифровой трансформации моделей инфокоммуникационного бизнеса // Экономика и качество систем связи, 2021. – № 1 (19). – С. 3-12.
6. Кузовкова Т.А., Шаравова М.М., Алмаева О.П. Конвергентный характер стратегии цифровой трансформации инфокоммуникационных компаний // Экономика и качество систем связи, 2021. – № 3 (21). – С. 3-19.
7. Кузовкова Т.А., Шаравова О.И., Шаравова М.М. Интегральный платформенный характер бизнес-моделей цифровых компаний // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция, 2021. – № 2. – С. 107-113.
8. Кузовкова Т.А., Алмаева О.П., Вольнов А.А., Шаравов И.М. Реализация сценариев использования технологий на базе сетей пятого поколения // Мобильный бизнес: Перспективы развития и реализация систем радиосвязи в России и за рубежом. Сборник материалов (тезисов) 48-й международной конференции. Москва, 2021. – С. 30-33.
9. Sharavova O.I., Sharavova M.M. Features of evaluating and managing the resources of mobile virtual network operators of digital ecosystems // Proceedings of the 2021 IEEE International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies», T and QM and IS, 2021. – С. 900-902.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СТОИМОСТИ РАДИОЧАСТОТНОГО РЕСУРСА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

*Е.Е. Володина, д.э.н., профессор, Московский технический университет связи и информатики, [evolodina@list.ru](mailto:evolodina@list.ru);*

*Цзинвэй Чжу, Директор по экономике, ООО «Чайна Телеком», [zjwday@icloud.com](mailto:zjwday@icloud.com).*

### **УДК 351/354**

**Аннотация.** В статье дано определение стоимости/ценности радиочастотного ресурса и раскрыты области применения взаимообусловленных и взаимно дополняемых терминов их практического использования в составе экономических методов и средств управления радиочастотным спектром. Автором представлены обоснованные методические подходы к количественной оценке различных категорий стоимости радиочастотного спектра и разработке математических моделей их расчета.

**Ключевые слова:** радиочастотный спектр; радиочастотный ресурс; стоимость; ценность; эффективность; моделирование.

## METHODOLOGICAL APPROACHES TO MODELING THE COST OF A RADIO FREQUENCY RESOURCE UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

*Elena Volodina, doctor of economics, associate professor, Moscow Technical University of Communications and Informatics;*

*Jingwei Zhu, China Telecom LLC.*

**Annotation.** The article defines the cost/value of a radio frequency resource and reveals the areas of application of mutually conditional and mutually complementary terms of their practical use as part of economic methods and means of controlling the radio frequency spectrum. The author presents substantiated methodological approaches to the quantitative assessment of various categories of the radio frequency spectrum cost and the development of mathematical models for their calculation.

**Keywords:** radio frequency spectrum; radio frequency resource; cost; value; efficiency; modeling.

---

### **Введение**

Как показало изучение международных документов и научных работ в области регулирования использования радиочастотного спектра (РЧС), применение тех или иных понятийных категорий к определению стоимости РЧС зависит от того, с какой целью и в интересах какого субъекта проводится стоимостная оценка. Этим субъектом может быть, как предприятие, использующее радиочастотный ресурс в своей производственной деятельности, так и государство, занимающееся распределением и регулированием использования РЧС.

В качестве категорий, характеризующих стоимость использования РЧС, автором предлагается рассматривать: «плату за использование РЧС», «цену лота на аукционах по распределению РЧС», «стоимость перераспределения РЧС» и «ущерб предприятий при досрочном прекращении их прав на пользование РЧС в пользу государственных служб». Актуальным остается проблема количественной оценки категории «стоимость РЧС», чему и посвящена данная статья.

### **Категорийно-понятийные аспекты термина «стоимость радиочастотного ресурса»**

Наиболее часто в научной и нормативно справочной литературе под «стоимостью РЧС» понимается плата за использование РЧС, которая взимается, прежде всего, с целью возмещения затрат государства на управление РЧС. Так, в соответствии с отчетом МСЭ R SM.2012-3 (09/2010) стоимость спектра следует рассматривать «как стоимость управления использованием спектра, что может включать присвоение частот, получение разрешений, согласование и прочие процедуры, зависящие от типа службы» [1].

То есть, понятие стоимости радиочастотного спектра с точки зрения государства характеризуется как денежное выражение обязательств пользователя радиочастотного ресурса произвести платеж за выполненные регулятором работы и оказанные услуги по управлению использованием РЧС. А для предприятия плата за РЧС отражает затраты на получение доступа к использованию радиочастотного ресурса (разовая плата) и его дальнейшую эксплуатацию (ежегодная плата) [2-5].



Стоимостная оценка радиочастотного ресурса также раскрывается в цене аукциона на его распределение [6-8]. Начальная цена аукциона характеризует цену «продажи спектра» государством, которая также, как и плата, в первую очередь, должна покрыть затраты государства в части бюджетных затрат на проведение аукциона. Окончательная цена аукциона – это цена «покупки спектра» предприятием, а точнее окончательная стоимость лицензии на оказание услуг в определенном диапазоне частот, которая включается в затраты предпринимателя на приобретение права использования РЧС.

Внедрение прогрессивных радиотехнологий предполагает проведение перераспределения спектра, а именно проведение ряда организационно-технических мероприятий, нацеленных на высвобождение диапазонов частот, используемых старыми технологиями в пользу новых. Затраты на «перераспределение» радиочастотного спектра также относят к стоимостной оценке спектра, имеющей различную интерпретацию для государства и пользователей РЧС.

Перераспределение спектра может быть добровольным или обязательным. Добровольное перераспределение РЧС представляет собой случай, когда предприятие принимает решение использовать новые технологии в пределах полосы, где он работает, или отказывается от использования этих частот в пользу новых полос частот. Обязательное перераспределение спектра связано с административно утвержденной технической политикой планирования РЧС, и в этом случае предприятия могут нести убытки. Эти убытки согласно ст. 24 ФЗ «О связи» должны быть возмещены предприятиям – владельцам радиоэлектронных средств. Величина компенсации этих убытков может рассматриваться как стоимость использования РЧС за определенный период времени.

Таким образом, стоимостные категории использования РЧС имеют различную интерпретацию в зависимости от субъектно-объектных характеристик и целей их применения. Анализ раскрытых категорий свидетельствует о том, что все они отражают те или иные затраты, связанные с использованием/управлением радиочастотного ресурса.

Обоснованные понятийно-смысловые модели стоимостных категорий радиочастотного ресурса для их практического использования в составе экономических методов и средств управления РЧС должны быть представлены в формализованном виде. Поставленная задача предполагает выбор и обоснование методических подходов к количественной оценке различных категорий стоимости РЧС и разработку математических моделей их расчета.

Как показало изучение соответствующей литературы, в настоящее время в научных разработках и практической деятельности в сфере экономической оценки природных ресурсов выработан ряд методов. Наиболее известны и распространены: рентный метод, основанный на выявлении дополнительного экономического эффекта при использовании ресурсного источника, и затратный метод, учитывающий расходы на освоение природного ресурса, чаще – путем оценки альтернативных затрат, необходимых на замещение рассматриваемого ресурса. Последний из них предложено использовать для оценки стоимости РЧС, что соответствует обоснованному ранее авторскому решению, а именно – применять к исследуемым категориям затратный подход. При разработке экономико-математической модели стоимости РЧС из раскрытых выше категорий учтены следующие: стоимость перераспределения, плата за использование РЧС и аукционная стоимость.

Проведенный сущностный и функциональный анализ различных терминологических интерпретаций обусловил применение в качестве базовых такие экономические категории использования РЧС как стоимость, плата за использование, цена аукциона, эффект, убыток, что дает возможность на основе современных теоретических и прикладных экономико-математических разработок получить их количественную оценку.

### **Анализ математического инструментария стоимостной оценки радиочастотного ресурса**

С целью практического использования математического инструментария в системе управления радиочастотным ресурсом стоимостные категории должны быть представлены в формализованном виде. Поставленная задача предполагает выбор и обоснование методических подходов к количественной оценке различных категорий стоимости РЧС и разработку математических моделей их расчета.

В настоящее время в научных разработках и практической деятельности в сфере экономической оценки природных ресурсов выработан ряд методов. Наиболее известны и распространены рентный метод, основанный на выявлении дополнительного экономического эффекта при использовании ресурсного источника, и затратный метод, учитывающий расходы на освоение природного ресурса, чаще – путем оценки альтернативных затрат, необходимых на замещение рассматриваемого ресурса. Последний из них соответствует методологической концепции экономического регулирования использования РЧС.

Таким образом, в основе моделирования стоимости радиочастотного ресурса (РЧР) лежит теория оценки эффективности инвестиционных проектов с учетом неопределенности, риска и вариантных сценарием инвестирования. Вопрос о количественных методах учета факторов неопределенности и риска при оценке эффективности инвестиционных проектов является одним из наиболее сложных и ему посвящен ряд научных работ [9, 10]. По ряду вопросов у разных авторов имеются различные точки зрения, поэтому теорию учета факторов неопределенности в расчетах эффективности пока нельзя считать завершенной.

О неопределенности (стохастике) говорят, что, когда «степень возможности» рассматриваемых сценариев или отдельных меняющихся параметров проекта характеризуется их вероятностями, а точнее – вероятностными распределениями. Необходимо учитывать, что термины «случайность», «вероятность» можно использовать для описания неопределенности только в случаях, когда вероятности (или их распределения) отдельных сценариев заданы, т.е. известен механизм возникновения случайности. Поэтому следует говорить, что неопределенность параметров инвестиционного проекта носит вероятностный характер, если эти параметры являются случайными величинами или векторами в том смысле, какой придается этому термину в теории вероятностей.

Авторы считают, что вероятностные описания проектов уместны, когда колебания параметров проектов обусловлены повторяющимися природными или технологическими процессами, о протекании которых имеется достаточная статистическая информация, позволяющая считать такие процессы случайными и оценить их вероятностные характеристики. Радиочастотный спектр, как объект исследования полностью отвечает данным требованиям как в части природного явления с повторяющимися технологическими процессами, так и достаточности статистической информации.

С математической точки зрения основанием для решения поставленной задачи измерения стоимости радиочастотного ресурса при установленных

критериях являются работы ученых в области принятия решений в расплывчатых условиях: Беллмана Р., Заде Л., Липси Р.Г., Ланкастера К. и оценки эффективности инвестиционных проектов в условиях неопределенности ожидаемого эффекта проекта: Виленского П.Л., Лившица В.Н., Смоляка С.А. [9-11].

Методы определения показателей ожидаемого эффекта зависят от имеющейся информации о неопределенных условиях реализации проекта. В условиях неопределенности ход реализации проекта не может быть описан однозначно. Необходимо учитывать, что возможны различные сценарии реализации проекта, поэтому можно использовать два подхода к оценке эффективности проектов при наличии неопределенности. При первом широко распространенном на практике подходе в основу оценки закладывается какой-то один, специально сформированный, базовый сценарий реализации проекта и отвечающий ему денежный поток. После этого расчет производится так, как если бы денежный поток проекта на самом деле был именно таким и детерминированным.

Второй подход к учету факторов неопределенности предполагает рассмотрение всех возможных сценариев реализации проекта. При этом структура критериев ожидаемого эффекта (т.е. способ агрегирования эффектов проекта, отвечающих разным сценариям) устанавливается аксиоматически, т.е. выводится из некоторых конкретно формулируемых требований, характеризующих, рациональное экономическое поведение экономических субъектов в условиях разного вида неопределенности. Показатель ожидаемого интегрального эффекта определяется исходя из возможных (отвечающим всем возможным сценариям) значений ЧДД проекта.

В литературе можно встретить различного рода рекомендации по исчислению этого показателя. Но одни из них ориентированы на частные виды неопределенности (как правило – только на вероятностную неопределенность), а другие недостаточно обоснованы с математической точки зрения и потому могут привести к ошибочным решениям. Для того, чтобы применяемые расчетные формулы приводили к рациональным, отвечающим «здоровому смыслу» результатам, необходимо, чтобы они удовлетворяли определенным требованиям (аксиомам рационального экономического поведения).

Критерий ожидаемого эффекта, обеспечивающий рациональное экономическое поведение инвесторов в условиях вероятностной неопределенности, должен удовлетворять трем требованиям:

- непрерывности, означающей, что при малых изменениях возможных эффектов или вероятностей их осуществления ожидаемый эффект должен изменяться мало;
- согласованности, состоящей в том, что если при всех сценариях эффект проекта один и тот же, то таким же должен быть и ожидаемый эффект проекта;
- инвариантности при усреднении, суть которой заключается в следующем: если проекты А и В эффективны в равной степени, то тот же ожидаемый эффект имеет и «усредненный» проект.

Этим аксиомам удовлетворяет только критерий математического ожидания:

$$\mathcal{E}_{ож} = \sum_i \mathcal{E}_i p_i = M[\mathcal{E}] \quad (1)$$

где:  $\mathcal{E}_{о.ж}$  – ожидаемый интегральный эффект инвестиционного проекта;  $\mathcal{E}_i$  – интегральный эффект (ЧДД) при сценарии  $i$ ;  $P_i$  – вероятность реализации этого сценария.

Не менее важным для решения поставленной задачи является математический аппарат учета субъективной вероятности. При принятии инвестиционных решений инвесторы нередко руководствуются своим представлением о будущем состоянии финансового рынка, и, следовательно, приписывают различным будущим состояниям рынка свои субъективные вероятности.

Концепцию субъективных вероятностей впервые предложил Т. Байес. Основываясь на субъективных вероятностях отдельных сценариев, экономический субъект может принимать решения относительно реализуемых в этих условиях проектов. Соответствующее правило названо правилом Байеса и сформулировано

так: Пусть  $a_{ij}$  представляет собой прибыль экономического субъекта, связанную с состоянием мира  $i$  и с решением  $j$  этого субъекта ( $i = 1, \dots, m$ ;  $j = 1, \dots, n$ ). Если субъект ведет себя «как должно», то

существует совокупность  $n$  неотрицательных чисел  $P_i$ , сумма которых равна единице и которые обладают следующим свойством: любое решение (например,  $j$ ) предпочтительнее другого (например,  $k$ ) в том и только том случае, если

$$\sum_{i=1}^m P_i a_{ij} > \sum_{i=1}^m P_i a_{ik}$$
. Число  $P_i$  называется вероятностью (субъективной) состояния

мира  $i$ . Суммы в обеих частях вышеприведенного неравенства представляют собой математические ожидания прибылей, связанных соответственно с решениями  $j$  и  $k$ . Таким образом, использование субъективных вероятностей позволяет корректно учесть предпочтения субъекта и принять рациональные решения в ситуациях, когда последствия этих решений зависят от внешней неопределенности.

Другой крайний случай неопределенности, когда, какая бы то ни было информация о вероятностях отдельных сценариев вообще является случайным событием и не может быть охарактеризована в терминах вероятностей), как в нашем случае, называется интервальной неопределенностью. Действительно, не всякая неопределенность носит вероятностный характер. Всерьез говорить о вероятностях можно лишь применительно к повторяющимся, массовым явлениям, обладающим статической устойчивостью. Применительно же к новой технике, технологии или вообще к любым уникальным событиям (с которыми часто связаны инвестиционные проекты) говорить о вероятностях просто нельзя. Более того, исходная информация о некотором показателе может прямо указывать на то, что они не являются случайной величиной.

В общем случае мы говорим об интервальной определенности, если об эффекте инвестиционного проекта известно только некоторое (дискретное, образованное одним или несколькими интервалами, или какое-то иное) множество его возможных значений, но не распределение вероятностей на этом множестве. Наиболее общая расчетная формула для определения ожидаемого интегрального эффекта в случае интервальной неопределенности предложена Гурвицем Л. Она известна под названием «критерий оптимизма-пессимизма»:

$$\mathcal{E}_{ож} = \lambda \cdot \mathcal{E}_{\max} + (1 - \lambda) \cdot \mathcal{E}_{\min} \quad (2)$$

где:  $\mathcal{E}_{\max}$  и  $\mathcal{E}_{\min}$  – наибольший и наименьший интегральный эффект (ЧДД) по рассмотренным сценариям;

$0 \leq \lambda \leq 1$  – специальный норматив для учета неопределенности эффекта, отражающий систему предпочтений соответствующего хозяйствующего субъекта в условиях неопределенности.

При  $\lambda = 0$  эффективность проекта оценивается пессимистически, т.е. применительно к наихудшему из возможных сценариев, при  $\lambda = 1$  – оптимистически, ориентируясь на лучший из возможных сценариев. На практике удовлетворительные результаты получаются при  $\lambda = 0,3$ . Фактический смысл норматива  $\lambda$  раскрыт в [11].

Предполагается, что в условиях интервальной неопределенности любому проекту  $X$  отвечает некоторое число  $\mathcal{E}[X]$  – ожидаемый эффект проекта, который удовлетворяет трем требованиям:

- согласованности, состоящей в том, что если проект  $X$  детерминированный и дает эффект  $b$  (т.е. множество  $A_x$  состоит из одной точки  $b$ ), то таким же должен быть и ожидаемый эффект этого проекта;
- монотонности, означающей что, если проект  $X$  явно не хуже проекта  $Y$ , то его ожидаемый эффект не меньше;
- аддитивности – при совместной реализации независимых проектов их ожидаемые эффект суммируются.

Смоляк А.С. [12] применительно к расчету ожидаемого эффекта инвестиционного проекта в условиях интервальной неопределенности обосновал четыре аксиомы:

1) чтобы результаты оценки детерминированных проектов разными методами не расходились, введем аксиому согласованности:  $E(1S) = 1$ ;

2) желание, чтобы рост возможных эффектов проекта не уменьшал его ожидаемого эффекта, выражается аксиомой монотонности:  $X(s) > Y(s) \Rightarrow E(X) > E(Y)$ ;

3) аксиома аддитивности имеет смысл, если будет введена операция слияния (независимых) проектов. Очевидно, что совместно реализовать проекты  $X$  и  $Y$  можно только при одном и том же состоянии природы. Если бы это состояние  $s$  было известно, то эффект первого проекта был бы равен  $X(s)$ , эффект второго –  $Y(s)$ , а их слияния –  $X(s) + Y(s)$ . На этом основании определим слияние  $X$  и  $Y$  как  $X \oplus Y = X + Y$ , характеризуемого функцией  $X(s) + Y(s)$ . Тогда функционал  $E$  будет аддитивным:  $E(X \oplus Y) = E(X) + E(Y)$ .

4) аксиома транзитивности выражает фундаментальные свойства системы предпочтений, а именно выражает последовательность (логичность) поведения индивида в процессе выбора. Несмотря на естественность этого требования, как утверждают психологи, человек в своем поведении всегда следует свойству транзитивности и при сравнении трех решений, когда первое решение лучше второго, а второе – лучше третьего, из первого и третьего вполне может выбрать третье. В связи с этим говорят, что «предпочтения свернулись в кольцо», то есть изменились вкусы.

На практике могут встретиться промежуточные, смешанные случаи, где сочетаются оба рассмотренных вида неопределенности. Для количественной

оценки эффективности проектов в условиях такой обобщенной (интервально-вероятностной) неопределенности Лившиц В.Н. предлагает рассматривать эффект проекта случайной величиной, однако закон распределения вероятностей которой точно неизвестен. Для этого типа неопределенности предложена расчетная формула, обеспечивающая получение экономически корректных результатов. А именно, при наличии каких-либо ограничений на вероятности отдельных сценариев или отдельных значений эффекта ( $P_i$ ) ожидаемый эффект может быть рассчитан по формуле, являющейся своеобразным обобщением формулы Гурвица:

$$\mathcal{E}_{ожс} = \lambda \times \max_{P_1, P_2, \dots} \left\{ \sum_i \mathcal{E}_i P_i \right\} + (1 - \lambda) \times \min_{P_1, P_2, \dots} \left\{ \sum_i \mathcal{E}_i P_i \right\} \quad (3)$$

Максимум и минимум (а в общем случае – верхняя и нижняя границы) рассчитываются по всем допустимым (согласованным с имеющейся информацией, удовлетворяющим всем исходным ограничениям) сочетанием вероятностей отдельных сценариев.

### Заключение

Таким образом, в условиях интервальной неопределенности мы имеем возможность использовать формулу Л. Гурвица, обоснованность применения которой в принятых условиях строго доказана на основе аксиоматики рационального экономического поведения. Правомерность же применения для целей выбора формулы Гурвица для интервального случая неопределенности была обоснована С.А. Смоляком (доказано им теоремой существования такого функционала и его единственности) [13]. Опираясь на теорию оценки природных ресурсов и оптимального планирования ученых Кантаровича Л.В., Лурье А.Л. и Новожилова В.В. предлагается оценивать стоимость радиочастотного ресурса путем сравнительного анализа инвестиционных проектов, характеризующих альтернативное развитие радиосетей по двум вариантам, отличающимся используемым радиочастотным ресурсом при условии равных доходов («тождестве эффектов») от услуг связи. Таким образом, стоимость РЧС будет рассчитывается на основе сопоставления затрат предприятия в динамическом выражении [14].

### Литература

1. Отчет МСЭ-R SM.2012-3/SM.2012-4 Экономические аспекты управления использованием спектра. 2009/2010.
2. Володина Е.Е., Девяткин Е.Е., Суходольская Т.А Пути совершенствования методики определения платы за использование РЧС для операторов подвижной связи // Электросвязь, 2017. – № 9. – С. 50-53.
3. Володина Е.Е., Девяткин Е.Е., Суходольская Т.А. Результаты реализации методики взимания платы за использование РЧС в России и ее совершенствование // Электросвязь, 2012. – № 8. – С. 9-11.
4. Володина Е.Е., Кузовкова Т.А. Бессилин А.В. Формирование механизма экономического государственного регулирования использования радиочастотного спектра // Век качества, 2012. – № 5-6. – С. 18-22.
5. Володина Е.Е., Кузовкова Т.А., Нарукавников А.В. Возмещение за использование радиочастотного спектра как экономический метод эффективного управления ограниченным природным ресурсом // Вестник Российской академии естественных наук, 2011. – № 4. – С. 103-108.

6. Володина Е.Е., Девяткин Е.Е., Суходольская Т.А. Анализ итогов проведения аукционов по распределению радиочастотного спектра в российской федерации // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт, 2016. – Т. 10. – № 7. – С. 87-92.
7. Володина Е.Е., Девяткин Е.Е., Суходольская Т.А. Исследование методов определения начальной цены аукциона на право пользования радиочастотным спектром // Т-Сотт Телекоммуникации и транспорт, 2014. – № 7. – С. 22-28.
8. Володина Е.Е., Садилова А.В. Государственное управление использованием радиочастотного спектра на основе процедуры оценки регулирующего воздействия // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт, 2011. – Т. 5. – № 12. – С. 18-19.
9. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. – М.: Мир, 1976. – 46 с.
10. Виленский П.Л., Лившиц В.Н. Экономика эффективности инвестиционных проектов с учетом реальных характеристик экономической среды // Аудит и финансовый анализ, 2000. – № 3. – С. 97-137.
11. Лившиц В.Н. Модели оценки эффективности инвестиционных проектов в стационарной и нестационарной экономиках // Вестник РАЕН, 2009. – № 2. – С. 11-18.
12. Смоляк С.А. Дисконтирование денежных потоков в задачах оценки эффективности инвестиционных проектов и стоимости имущества. – М.: Наука, 2006. – 324 с.
13. Смоляк С.А. Учёт риска при установлении нормы дисконта // Экономика и математические методы, 1992. – Т. 28. – Вып. 5-6. – С. 794-801.
14. Володина Е.Е. Методы и модели эффективного управления использованием радиочастотного ресурса. Москва, 2018. – 166 с.

# ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СЕТИ

## ОЦЕНКА КОММУНИКАЦИЙ БУДУЩЕГО: ОТ 5G ДО 6G

*С.А. Хофизов, Московский технический университет связи и информатики, hofizov@yandex.ru;*

*Ю.М. Долбич, Московский технический университет связи и информатики, ydolbich@inbox.ru.*

**УДК 004:654**

---

**Аннотация.** В данной статье рассматривается разработка и обзор технологии беспроводной связи 6G (6-го поколения), распространение которой ожидается в 2030-х гг. Технология беспроводной связи 6G станет приложением интернета вещей, а внедрение сети 6G является многообещающей и развивающейся областью в сфере технологий беспроводной связи. В статье рассмотрены проблемы, которые возникали при эксплуатации технологий предыдущего поколения (5G). Также описываются преимущества и проблемы, связанные с развитием беспроводной связи 6G, призванной обеспечить лучшую систему связи в будущем и открыть множество новых перспектив.

**Ключевые слова:** беспроводная связь; 5G; 6G; сеть.

## EVALUATION OF FUTURE COMMUNICATIONS: FROM 5G TO 6G

*Sergey Khofizov, Moscow Technical University of Communications and Informatics;*

*Yulia Dolbich, Moscow Technical University of Communications and Informatics.*

**Annotation.** This article discusses the development and review of 6G (6th generation) wireless communication technologies the spread of which is expected in the 2030s. 6G wireless communication technologies will become an application of the Internet of Things and the introduction of the 6G network is a promising and developing area in the field of wireless communication technologies. The article analyzes the problems that arose during the operation of previous generation technologies (5G). It also describes the benefits and challenges associated with the development of 6G wireless communications which is designed to provide a better communication system in the future and open up many new perspectives.

**Keywords:** wireless communication; 5G; 6G; network.

---

### Введение

Технология беспроводной связи устанавливает соединение между двумя или более объектами на некотором расстоянии без какого-либо использования внешних кабелей или проводов между этими объектами. Объектами могут являться любые электронные устройства, такие как мобильные телефоны, ноутбуки, настольные компьютеры и т.д. Для установления связи между этими объектами используются различные технологии.

Одной из главных проблем 5G является массовое подключение, поэтому взрывной рост числа пользователей в сети является одной из причин загруженности трафика данных. Таким образом, чтобы обеспечить массовое соединение с помощью 6-го поколения, требуется обеспечить больше возможностей, чем предоставляет беспроводная связь 5G. Это приведет не только



к массовому подключению, но и к повышению скорости, снижению задержек, устойчивости сети и снижению энергопотребления. Беспроводная связь 6G является решением существенно возросших требований к скорости передачи данных и лавинообразному объему трафика. Система 6G продолжит тенденции 5G, которая также включает в себя новые услуги с добавлением новых технологий. Новыми услугами или технологиями, которые будут включены в 6G, являются:

- Терагерцовая связь.
- Технология оптической беспроводной связи.
- Беспроводная передача энергии.
- Искусственный интеллект.

Основным требованием беспроводной связи 6G является возможность обработки больших объемов данных и высокая скорость передачи данных на одно устройство. Это может быть достигнуто с помощью технологий и услуг, упомянутых выше. Некоторые из ключевых тенденций, лежащих в основе роста актуальности беспроводной связи 6G – экологичная связь, интеллектуальная сеть, локализация, использование новых диапазонов радиочастот, высокая надежность, низкая задержка, высокая скорость передачи данных, доступность сети. В табл. 1 приведено сравнение характеристик 5G и 6G.

Таблица 1.

Характеристики	5G	6G
Индивидуальная скорость передачи данных	1 Гбит/с	100 Гбит/с
Скорость загрузки данных	20 Гбит/с	>1000 Гбит/с
Задержка в U-плоскости	0,5мс	<0,1мс
Задержка в C-плоскости	10мс	<1мс
Подвижность	500 км/ч	1000 км/ч
	30 бит/с/Гц	100 бит/с/Гц
Рабочая частота	3-300 ГГц	1000 ГГц

### Эволюция беспроводной связи

Беспроводная связь сокращает разрыв между пользователями со всего мира. 6G – это беспроводная технология, используемая в мобильной связи (G означает поколение). Поколения беспроводной связи меняются каждые десять лет в соответствии с тенденциями. Технология беспроводной связи распространяется от 0G (0-е поколение) до 6G (6-е поколение). В табл. 2 приведены поколения беспроводных технологий.

Поколения беспроводной связи меняются каждые десять лет в соответствии с тенденциями. Технология беспроводной связи распространяется от 0G (0-е поколение) до 6G (6-е поколение). В табл. 2 приведены поколения беспроводных технологий.

Каждое поколение беспроводных технологий приносит новые и захватывающие функции. Система беспроводной связи 6G будет внедрена для преодоления ограничений 5G для поддержки новых задач, а также продолжит тенденции предыдущих поколений. Ключевыми факторами 6G станет объединение всех предыдущих функций, таких как уплотнение сети, высокая пропускная способность, высокая надежность, низкое энергопотребление и широкие возможности подключения. Наиболее важным требованием к беспроводным сетям 6G является способность обрабатывать огромные объемы данных, очень высокая скорость передачи данных для каждого устройства и обеспечение высокой

скорости передачи данных. Для улучшения технологии связи 6G заменит гигагерцевую частоту (Гбит/с) с 5G на терагерцевую частоту.

Таблица 2.

Поколение	Год	Особенности
0G	1970	Для связи использовались мобильные радиотелефонные системы.
1G	1980	Системы предоставляют возможность роуминга, но функция сети недоступна для использования между странами.
2G	1991	Телефонные разговоры, SMS, MMS.
3G	1998	3G обеспечивает беспроводную передачу голоса, мобильный доступ в интернет, видеозвонки и т.д.
4G	2009	Предоставляет все функции 3G, а также дополнительные, такие как облачные вычисления, видеоконференции, 3D-телевидение, IP-телефония, игровые сервисы и т.д.
5G	2019	Подключение нескольких пользователей одновременно. Снижает частоту задержек по сравнению с предыдущим поколением мобильной связи.
6G	2030	Использует терагерцевые частоты и концепцию искусственного интеллекта, чтобы сделать связь более эффективной.

Внедрение сети 6G уже началось с запуска Китаем 6 ноября 2020 г. тестового спутника *Long March 6*, который считается первым в мире спутником 6G. Этот спутник обеспечивает связь на терагерцовой частоте для увеличения скорости сети. Беспроводная связь 6G может использоваться во многих областях, таких как расширенная реальность, беспроводное взаимодействие мозга с компьютером, робототехника, тактильная связь, автоматизация в производстве, а также интернет вещей.

### **Общая архитектура беспроводной технологии**

Связь между объектами (устройствами) не генерируется непосредственно от одного объекта (отправителя) к другому (получателю). Данные, подлежащие передаче, передаются на сервер, а затем конкретные данные передаются получателю с этого частного сервера сети. Между этими передачами данных с устройства на сервер и наоборот используется множество технологий и концепций.

Архитектура беспроводной технологии состоит из четырех компонентов:

- Оборудование пользователя (*Equipment of user, EU*).
- Развитая наземная сеть радиодоступа *UMTS (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network, EUTRAN)*.
- Эволюционное пакетное ядро (*Evolved Packet Core, EPC*).
- Серверы сетей передачи данных общего пользования (*Public Data Network, PDN*).

Данные отправителя разбираются на пакеты, которые поступают на сервер для хранения через *EUTRAN* и *EPC*.

*Оборудование пользователя*

Пользовательское оборудование – любой тип устройства, которое используется пользователем для беспроводной связи. Оборудование пользователя должно содержать три аппаратных компонента:

- Мобильный терминал: используется для обработки всех функций связи.
- Терминальное оборудование: используется для завершения потоков данных.
- Универсальная карта интегральной схемы или *SIM*-карта: используется для запуска приложения, которое необходимо для хранения сведений о пользователе в сообщении.

*Усовершенствованная наземная сеть радиодоступа стандарта UMTS (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network, EUTRAN).*

*EUTRAN* контролирует всю радиосвязь между мобильным устройством и пакетным ядром, которое в ней развивается, а также действует как промежуточное звено между *EU* и *EPC*. Она содержит некоторое количество базовых станций (*eNB* - *eNodeB*). Данные, подлежащие отправке, поступают в *EPC*, проходя через разные базовые станции в *EUTRAN* из одного места в другое. На рис. 1 приведена схема *EUTRAN* ([источник](#)).

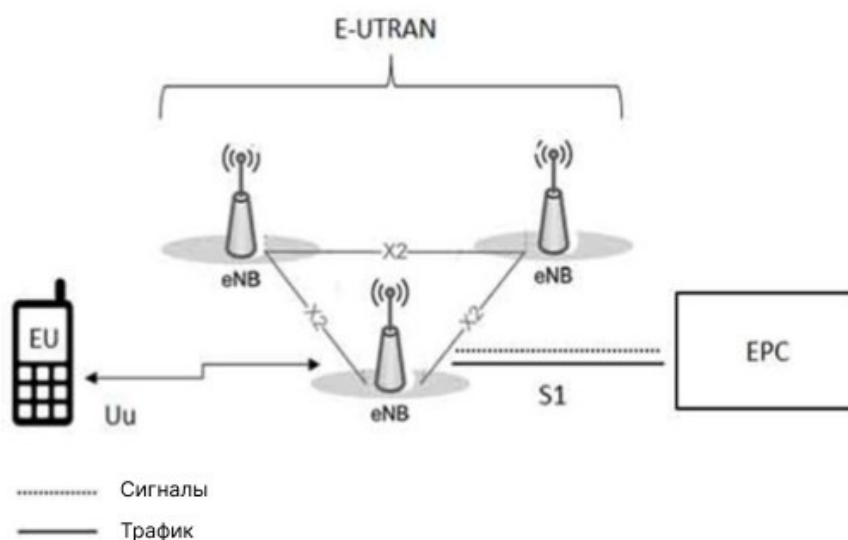


Рисунок 1

#### *Эволюционное ядро пакета*

*EPC* выступает в качестве промежуточного звена между *EUTRAN* и сервером для передачи данных и содержит четыре компонента, каждый из которых имеет свои функции:

- Обслуживающий шлюз (*Serving Gateway, SGW*) действует как мост для пересылки данных между базовой станцией и шлюзом *PDN*.
- Сетевой шлюз пакетной передачи данных (*Packet Data Network Gateway, PGW*) действует как мост для пересылки данных между *SGW* и сервером.
- Домашний абонентский сервер (*Home Subscriber Server, HSS*) хранит информацию обо всех абонентах сетевого оператора.
- Узел управления мобильной связью (*Mobility Management Entity, MME*) управляет работой объектов высокого уровня путем передачи сообщений и предоставления информации на *HSS*.

На рис. 2 представлена схема *EPC* ([источник](#)).

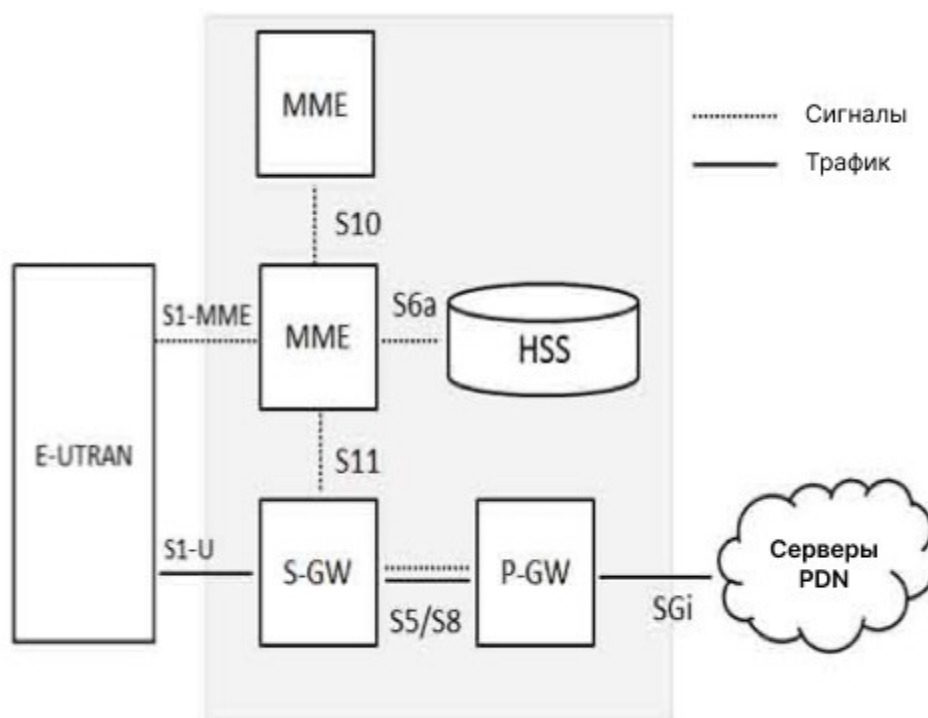


Рисунок 2

Серверы частных сетей передачи данных (*Servers Private Data Networks, SPDN*).

SPDN используются для хранения данных, используемых объектами для связи между ними.

### **Технологии, используемые в 6G**

Каждое поколение технологий беспроводной связи использует различные новые технологические концепции в соответствии с их тенденциями. Аналогичным образом 6G также отличается по используемым технологиям от предыдущего поколения. Эти технологии делают 6G будущим поколением технологий беспроводной связи. 6G использует в основном четыре концепции – оптическая беспроводная связь, беспроводная передача энергии, терагерцовая связь, искусственный интеллект.

#### *Оптическая беспроводная связь*

Оптическая беспроводная связь использует видимый свет в качестве среды для передачи данных. Таким образом, 6G обеспечивает высокую скорость передачи данных. Оптическая беспроводная связь решит проблему скорости передачи данных, которая возникла в 5G, а также обеспечивает низкую задержку, связь на большие расстояния и безопасность.

#### *Беспроводная передача энергии*

В беспроводной технологии существует несколько базовых станций для передачи данных для связи. Пакет данных передается от одной базовой станции (отправителя) к другой (получателю), для реализации этого необходима передача энергии. 6G использует новую концепцию беспроводной передачи информации и энергии для передачи пакетов данных.

#### *Терагерцовая связь*

6-е поколение беспроводной связи использует терагерцовую частоту, в то время как предыдущее поколение использует гигагерцовую. Терагерцовая частота имеет свои преимущества – полоса пропускания колеблется от 0,1 ТГц до 10 ТГц, что обеспечивает связь на коротких расстояниях между двумя объектами. Она будет играть решающую роль в 6G, обеспечивая большую полосу пропускания, большую пропускную способность, сверхвысокие скорости передачи данных и безопасную передачу.

#### *Искусственный интеллект*

6G станет первым поколением, которое представит концепцию искусственного интеллекта в технологии беспроводной связи. При установке связи между субъектами возникало много сложных ситуаций, которые могут быть решены самими этими сущностями с помощью концепции искусственного интеллекта. Достижения в области искусственного интеллекта приведут к созданию более интеллектуальных сетей для связи в режиме реального времени в 6G. Внедрение искусственного интеллекта в коммуникацию 6G улучшит и упростит передачу данных в режиме реального времени.

#### Преимущества 6G:

- Сеть 6G поддерживает большее количество мобильных подключений, чем сеть 5G, которая составляет около  $10 \times 10^5$  на квадратный километр.
- 6G оптимизирует сектор здравоохранения за счет устранения временных и пространственных барьеров с помощью дистанционной хирургии и обеспечит оптимизацию рабочего процесса в сфере здравоохранения.
- Для решения проблемы загруженности трафика 6G внедряется вместе распределенной антенной системой (*Distributed Antenna System, DAS*).
- 6G обеспечит мгновенный доступ пользователей друг к другу в режиме реального времени.
- 6G обеспечивает очень высокую скорость передачи данных (Тб/сек) и очень низкую задержку (менее мс), поэтому 6G может использоваться во многих других прикладных сферах.

#### Проблемы 6G:

На данный момент нельзя сделать вывод, что связь 6G содержит недостатки, поскольку она еще не была внедрена, но можно сделать вывод только о некоторых проблемах, с которыми придется столкнуться в 6G:

- 6G использует оптическую беспроводную связь (*Optical wireless communication, OWC*) как часть своей связи. Таким образом недостатки видимого излучения можно считать недостатками беспроводной технологии 6-го поколения, поскольку видимое излучение может нанести вред невооруженному глазу для человека.
- Широкомасштабная технология беспроводной связи стала неотъемлемой частью мирового энергопотребления.
- Очень сложно создать эффективный дизайн для беспроводной технологии, управляя большим количеством терминалов.

#### **Заключение**

В данной статье рассмотрена разработка и проведен анализ технологии беспроводной связи 6G. Анализ основан на четырех основных концепциях (терагерцовая связь, оптическая беспроводная технология, беспроводная передача

энергии и искусственный интеллект), которые используются для реализации системы беспроводной связи 6G. Технология беспроводной связи 6G – это технология будущего, которая, как ожидается, будет внедрена в 2030-х гг. Очень сложно удовлетворить требования будущего поколения в области беспроводной связи из-за увеличения сетевого трафика в нашей повседневной жизни. Новое поколение также предлагает новые функции и преимущества по сравнению с сетями 5G. 6G обеспечивает улучшения в таких областях, как доступность сети, высокая надежность и низкая задержка, высокая скорость передачи данных, экологичная связь, интеллектуальная сеть, локализация и новые спектры. Технология 6G повысит производительность и сведет к минимуму потребление энергии при беспроводной связи. Беспроводная связь 6-го поколения также обеспечивает зашифрованную связь в соответствии с требованиями будущего. 6G можно использовать во многих областях, таких как расширенная реальность, беспроводное взаимодействие мозга и компьютера, робототехника и автономные системы, тактильная связь, автоматизация на производстве, интернет вещей и т.д.

### Литература

1. Ханна Б.О., Фицджеральд П., Берни Х., Лакшманан Р., Коберн Н., Гири С. и Малви, Б. (2018). Устройства и датчики, применимые к реализации систем 5G.
2. Вольф Н., Шевченко С., Вентцель А., Бенгтссон О. и Хайнрих В. (2018). Переключаемые модуляторы и PAs для эффективных передатчиков в беспроводной инфраструктуре 5G.
3. Ни Ю., Лян Дж., Ши Х. и Бан Д. (2019). Исследование ключевых технологий в Сети мобильной связи 5G. Международная конференция 2019 года по интеллектуальному транспорту, Большим данным и умному городу (ICITBS).
4. Лю С., Лю Л., Ян Х., Юэ К. и Го Т. (2020). Исследование технологии 5G, основанной на интернете вещей.
5. Пан К., Ву Дж., Чжэн Х., Ли Дж., Ли С. и Васиلاكос А.В. (2020). Использование искусственного интеллекта и интеллектуальной отражающей поверхности для энергоэффективной связи в 6G.
6. Акилдиз И.Ф., Как А. и Ни С. (2020). 6G и далее: Будущее систем беспроводной связи.
7. Исобоев Ш.И., Халматов Б.М., Коптев В.А. Оценка перспектив развития и применения искусственного интеллекта в мобильной связи 5-го и 6-го поколений // Экономика и качество систем связи, 2022. – № 1(23). – С. 20-25. – EDN QGBSEH.
8. Михайлова И.А. Архитектура NR и LBO роуминга в сетях 5G // Экономика и качество систем связи, 2022. – № 1(23). – С. 26-36. – EDN DKGCLF.
9. Попова Ю.П. 6G беспроводные системы связи: приложения, требования, технологии, проблемы и исследование направления // Наука и общество в эпоху перемен, 2019. – № 1(5). – С. 36-44. – EDN KCDFGC.
10. Ефимушкин В.А. Анализ бизнес-рисков внедрения мобильных сетей 5G в условиях развития технологий 6G // Технологии информационного общества: Сборник трудов XIV Международной отраслевой научно-технической конференции, Москва, 18-19 марта 2020 года. – Москва: ООО «Издательский дом Медиа публишер», 2020. – С. 573-574. – EDN HWFASO.
11. Мордачев В.И. Характеристики электромагнитной обстановки, создаваемой излучениями абонентского оборудования сотовой (мобильной) связи ...4G/5G/6G в зданиях // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, 2021. – Т. 19. – № 6. – С. 42-50. – DOI 10.35596/1729-7648-2021-19-6-42-50. – EDN RJZNUC.

12. Катеринкина Е.Н. Интеллектуальные отражающие поверхности как один из сценариев создания сетей 6G // Проблемы техники и технологий телекоммуникаций ПТиТТ-2020: XXII международная научно-техническая конференция, IV научный форум телекоммуникации: теория и технологии ТТТ-2020, Самара, 17–20 ноября 2020 года. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2020. – С. 172-173. – EDN NYDDSD.
13. Бакулин М.Г. Проблема повышения спектральной эффективности и емкости в перспективных системах связи 6G // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2020. – Т. 14. – № 2. – С. 25-31. – DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-2-25-31. – EDN HNVLBC.
14. Саломатина Е.В. О поддержке сверхнадежной передачи данных с низкой задержкой в сетях 5G и будущих B5G/6G // Перспективные технологии в средствах передачи информации: материалы 14-ой международной научно-технической конференции, Владимир, 06-07 октября 2021 года. – Владимир: Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, 2021. – С. 404-407. – EDN HDBCDP.
15. Харенко А.А. Машинное обучение в сетях 6G // V Научный форум телекоммуникации: теория и технологии ТТТ-2021: Материалы XXIII Международной научно-технической конференции, Самара, 23-26 ноября 2021 года. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2021. – С. 209-210. – EDN KQTTUW.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА В ОБУЧЕНИИ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ

*В.А. Кравчук, Московский технический университет связи и информатики, v.krav4uk@yandex.ru.*

### УДК 004.85

**Аннотация.** Рассматривается метод машинного обучения – обучения с подкреплением, принцип его работы, а также генетический алгоритм и области их применения. Проведено сравнение и выделение слабых сторон. Исследуется возможность совместного использования подходов для создания искусственного интеллекта и приводится пример такого взаимодействия.

**Ключевые слова:** машинное обучение; обучение с подкреплением; генетический алгоритм; агент; среда.

## USING A GENETIC ALGORITHM IN REINFORCEMENT LEARNING

*Vladislav Kravchuk, Moscow Technical University of Communications and Informatics.*

**Annotation.** The method of machine learning is considered – reinforcement learning, the principle of its operation, as well as the genetic algorithm, their weaknesses and areas of application. Then they are compared and weaknesses are highlighted. After all, the possibility of using these approaches together to create artificial intelligence is investigated and an example of such interaction is given.

**Keywords:** machine learning; reinforcement learning; genetic algorithm; agent; environment.

---

## **Введение**

В настоящее время при создании искусственного интеллекта в робототехнике, автопилотировании транспортных средств и управлении дронами все чаще прибегают к перспективному направлению машинного обучения. В частности, для решения поставленных задач для обучения в среде используется обучение с подкреплением. Отдельно стоит указать на такой алгоритм оптимизации как генетический алгоритм, который тоже может использоваться в схожих задачах.

В статье исследованы понятия обучения с подкреплением и генетического алгоритма. Изучается тип задач, в которых они используются. Происходит сравнение этих методов между собой и, наконец, рассматривается возможность и пример их совместного использования.

## **Обучение с подкреплением**

Обучение с подкреплением – это один из трех основных способов машинного обучения, в котором самообучающийся агент должен принимать решения в некоей среде таким образом, чтобы получать чаще награду за совершенные правильные действия.

Обучение с подкреплением состоит из четырех ключевых элементов [1]:

- Агент – программа, которую тренируют для выполнения определенной работы.
- Среда – мир реальный или виртуальный, в котором действует агент.
- Действие – шаги, предпринимаемые агентом, которые вызывают изменения в среде.
- Награда – оценка правильности действия, может быть, как положительной, так и отрицательной.

В отличие от обучения с учителем, на вход агенту в обучении с подкреплением изначально не подается набор парных значений, обучающих данных, вместо этого учителем является сама среда. Поэтому метод обучения с подкреплением является частным случаем обучения с учителем.

Цель обучения с подкреплением состоит в том, чтобы агент изучил оптимальную или почти оптимальную политику, которая максимизирует «функцию вознаграждения» или другой предоставляемый пользователем сигнал подкрепления, который накапливается в результате немедленного вознаграждения. Это похоже на процессы, которые, по-видимому, происходят в психологии животных. Например, биологический мозг запрограммирован на интерпретацию таких сигналов, как боль и голод, как отрицательное подкрепление, и интерпретацию удовольствия и приема пищи как положительного подкрепления. В некоторых обстоятельствах животные могут научиться вести себя так, чтобы оптимизировать эти вознаграждения. Это говорит о том, что животные способны к обучению с подкреплением [2].

Обучение с подкреплением особенно хорошо подходит для решения проблем, которые включают в себя компромисс между долгосрочным и краткосрочным вознаграждением. Он успешно применялся для решения различных задач, включая управление роботами, [3] планирование лифтов, телекоммуникации, нарды, шашки [4] и *Go (AlphaGo)*.



Агент учится достигать цели в неразведанной, потенциально сложной среде. Среда обычно описывается в форме процесса принятия решений Маркова (*MDP*), поскольку многие алгоритмы обучения с подкреплением для этого контекста используют методы динамического программирования [5]. При обучении с подкреплением искусственный интеллект сталкивается с игровой ситуацией и использует метод проб и ошибок, чтобы найти решение задачи. Поощрение правильных действий или наказание за неправильные происходит за счет откликов среды, которые являются сигналами подкрепления агента. Главной целью агента является получение как можно большей награды (рис. 1). На рис. 1 представлена схема работы обучения с подкреплением.

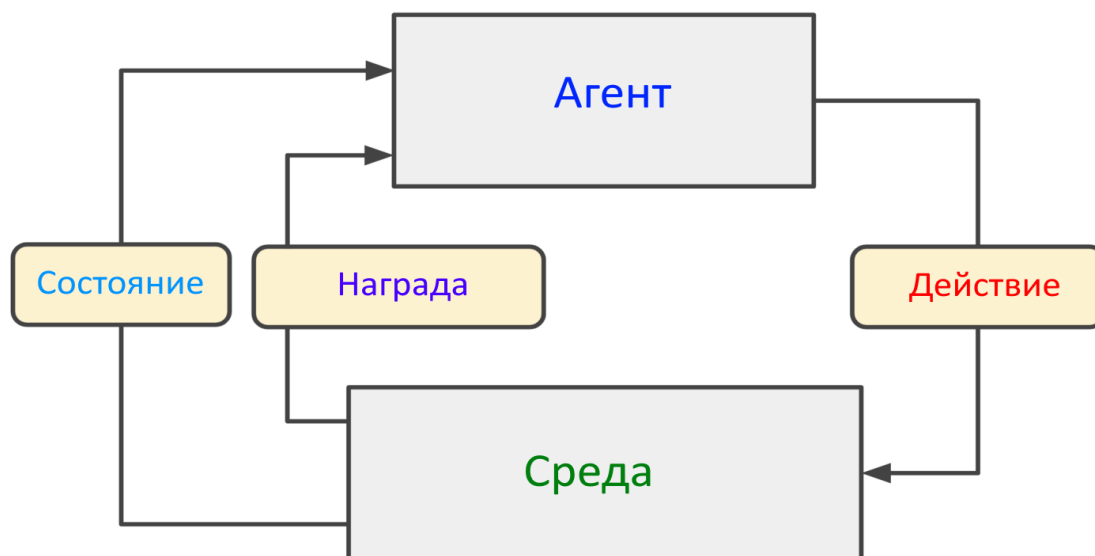


Рисунок 1

Основная цель того, кто создает систему, это не дать модели никаких подсказок как решить поставленную задачу, а только установить политику награждений и наказаний. А уже сама модель будет пытаться находить способы, чтобы решить задачу или, иными словами, максимизировать награду, начиная с совершенно случайных методов проб и постепенно переходя к более сложным тактикам и окологуманным навыкам.

Обучение с подкреплением может использоваться в больших средах в следующих ситуациях:

- Модель окружающей среды известна, но аналитическое решение недоступно.
- Дана только имитационная модель окружающей среды (предмет оптимизации на основе моделирования) [6].
- Единственный способ собрать информацию об окружающей среде – это взаимодействовать с ней.

Используя возможности поиска и множества итераций испытаний, обучение с подкреплением в настоящее время является наиболее эффективным способом демонстрации творческого потенциала машины. В отличие от людей, искусственный интеллект может обучаться, запуская параллельно множество симуляций, если конечно выполняется на очень больших вычислительных мощностях. При параллельном обучении можно как оставлять возможность

агентам взаимодействовать друг с другом (если это входит в решение поставленной задачи), так и сделать их независимыми друг от друга. Цикл обучения идет до тех пор, пока не создастся оптимальный агент.

### Генетический алгоритм

Генетический алгоритм – это алгоритм поиска, вдохновленный биологическим процессом естественного отбора, в котором особи приспособившиеся к изменениям в их среде обитания могут выжить и дать потомство. Алгоритм относится к классу эволюционных алгоритмов. В нем задействованы такие операции как мутирование, скрещивание и отбор [7]. Некоторые примеры реализации алгоритма включают в себя оптимизацию деревьев решений для повышения производительности, решение головоломок судоку, [8] оптимизацию гиперпараметров и т.д.

Простыми словами алгоритм симулирует выживание наиболее приспособленных среди особей, последовательно сменяющих друг друга поколений, для решения одной задачи. Каждая особь представлена строкой, символом, числом или битом. Алгоритм основан на аналогии с генетической структурой и поведении хромосом у популяций [9]:

1. Особи в популяции конкурируют за ресурсы и размножение.
2. Те особи, которые являются самыми успешными (приспособленными), затем размножаются и дают больше потомства, чем остальные.
3. Гены от приспособленнейшего родителя передаются через поколения, что иногда приводит к появлению потомства более приспособленного, чем родители.
4. Каждое последующее поколение все больше приспособляется к среде.

Популяция особей содержится внутри пространства поиска. Каждая особь представляет решение в этом пространстве, решая поставленную задачу. Особи представлены в виде вектора компонентов конечной длины (аналогично хромосомам) (рис. 2). Эти переменные компоненты аналогичны генам. Таким образом, хромосома (особь) состоит из нескольких генов (переменных компонентов) [10]. На рис.2 представлена иллюстрация генов и хромосом в виде векторов компонентов.



Рисунок 2

Каждой особи присваивается оценка приспособленности, которая показывает, насколько особь хорошо состязается. Генетический алгоритм предусматривает популяцию из  $n$  особей (хромосома/решение) и их соответствующие оценки приспособленности. Особям, имеющим большие показатели приспособленности, дается преимущество на размножение, гены самых успешных смешиваются, особи менее успешные заменяются новыми и, таким образом, со временем слабые постепенно выбывают из соревнования. Каждое новое поколение имеет в среднем больше «лучших генов», чем особи (решения)

предыдущих поколений. Как только произведенное потомство достигнет того, что не будет иметь существенных отличий от потомства, произведенного предыдущими популяциями, популяция сходится. Говорят, что алгоритм сходится к набору решений задачи.

Как только начальная популяция создана, алгоритм развивает её, используя следующие операторы:

1) Оператор отбора: идея состоит в том, чтобы отдать предпочтение особям с хорошими показателями приспособленности и позволить им передавать свои гены последующим поколениям.

2) Оператор скрещивания: представляет собой скрещивание между особями. Две особи отбираются с помощью оператора отбора, а области перемешивания генов выбираются случайным образом. Затем гены в этих местах скрещивания обмениваются, создавая таким образом, совершенно новую особь (потомство) (рис. 3).

3) Некоторые исследования [11-12] предполагают, что более двух «родителей» генерируют хромосомы более высокого качества.

4) Оператор мутации: Ключевая идея состоит в том, чтобы вставить случайные гены в хромосомы потомства, чтобы сохранить разнообразие в популяции, для избежания преждевременной сходимости (рис. 4). На рис. 3 показана схема операции скрещивания.

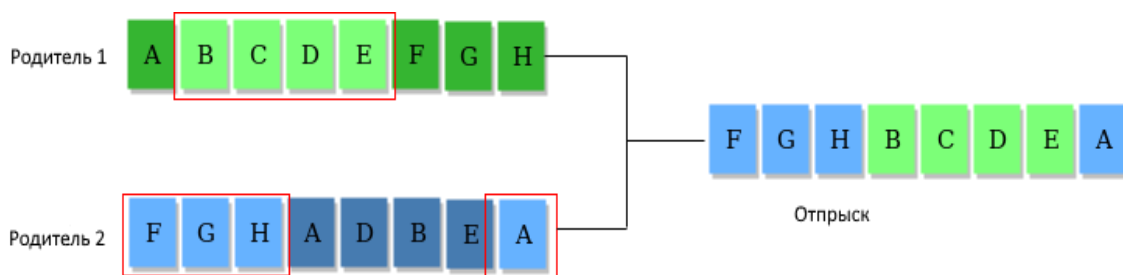


Рисунок 3

На рис. 4 представлена схема оператора мутации.



Рисунок 4

Весь алгоритм выглядит так (рис. 5):

1. Случайным образом инициализировать популяцию.
  2. Определить приспособленность популяции.
  3. До тех пор, пока не произойдет сходимости:
    - выбрать родителей из популяции;
    - скрестить и создать новую популяцию;
    - провести мутацию в новой популяции;
    - рассчитать приспособленность для новой популяции.
- На рис. 5 показана схема работы генетического алгоритма.

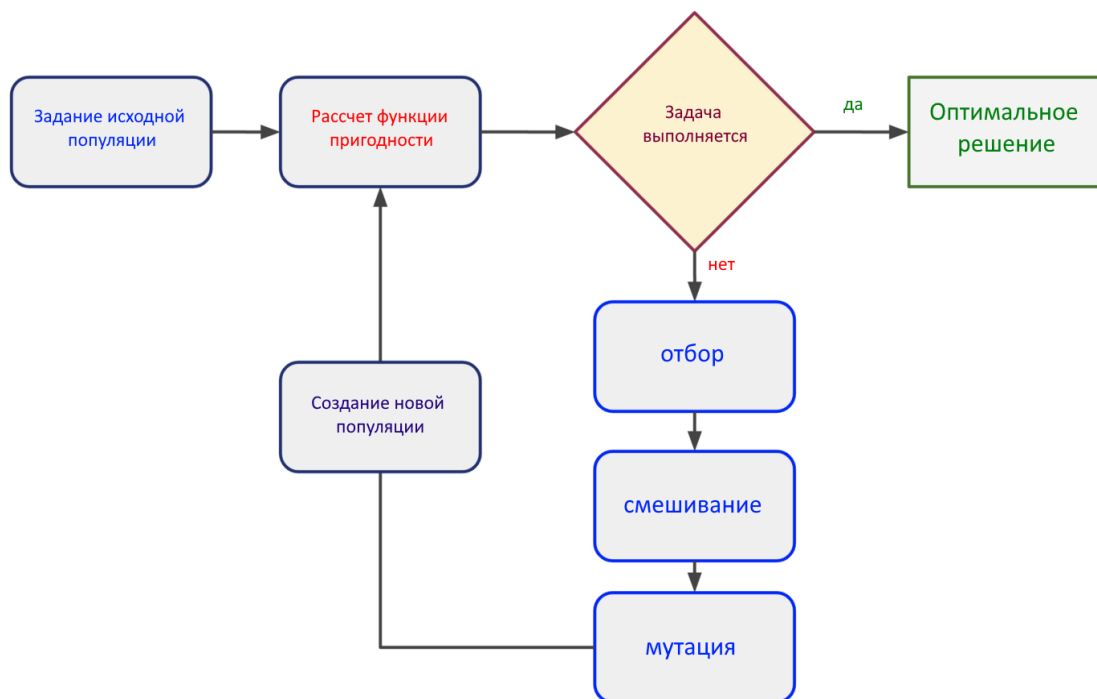


Рисунок 5

### Сравнение алгоритмов

Генетический алгоритм по определению является межжизненным – это означает что агенты умирают каждый раз в процессе обучения для достижения цели. Обучение с подкреплением, с другой стороны, является внутрижизненным. Принципы работы двух подходов к обучению разные, обучение с подкреплением использует цепи Маркова для принятия решений, а генетический алгоритм является эвристическим [13].

Обучение с подкреплением сфокусировано на определенном типе задач оптимизации – поиск политик/стратегий, которые максимизируют отдачу пока агент взаимодействует со средой с шагом во времени. В свою очередь, генетический алгоритм – это самообучающийся алгоритм, который может быть применен к любой задачи оптимизации, где есть возможность закодировать решения, определить функцию приспособленности, которая сравнивает решения, и стохастически изменять эти решения. Генетический алгоритм можно применить и для поиска политик/стратегий, если правильно задать функцию приспособленности. Это не означает что ГА лучше, просто его следует использовать, когда нет лучшего решения. ОСП является мощной нишей для решения проблем, требующих последовательного принятия решений в окружающей среде.

Недостатки:

Генетический алгоритм.

- Требуется меньше информации о проблеме, но разработка функции пригодности и корректное получение представлений и операций могут быть очень сложными.
- Требует больших вычислительных затрат.

Обучение с подкреплением:

- Слишком интенсивное обучение с подкреплением может привести к переобучению, что выражается в снижении результатов.
- Этот алгоритм не является подходящим для решения простых задач.
- Для этого алгоритма требуется много данных и много вычислений.
- Проклятие размерности ограничивает обучение с подкреплением для реальных физических систем.

Оба подхода имеют свои преимущества и недостатки. В то время как генетический алгоритм имеет более общее назначение, определение функции пригодности, которая соответствует задаче, наряду с правильным типом представления и операций, очень сложно. Тогда как обучение с подкреплением лучше всего подходит для решения задач, требующих последовательного принятия решений, но необходимо гораздо большее количество данных, и это не очень хорошо, когда размерность проблемы выше.

Для простых задач в большинстве случаев обучение с подкреплением эффективно, но, как правило, отнимает больше времени, чем генетический алгоритм. Для последнего, с другой стороны, легче придумать функцию пригодности.

Когда задача имеет средний уровень сложности при большом количестве доступных данных, предпочтение обычно отдается обучению с подкреплением.

В задачах с более высокой сложностью оба алгоритма занимают много времени, требуют сложных представлений или ограничены количеством измерений, которые необходимо обработать. В таких случаях комбинация этих двух факторов более предпочтительна, чем любая из них по отдельности.

### **Совместное использование**

Комбинация генетического алгоритма и обучения с подкреплением возможна, потому что эти два подхода не являются взаимоисключающими. Точно также, как два природных принципа, из которых они вытекают, могут сосуществовать, могут сосуществовать и эти подходы.

Подход заключается в том, чтобы использовать части обучения с подкреплением, такие как отношение Агент-среда, и запускать несколько агентов, которые могут пересекаться и мутировать подобно генетическому алгоритму.

Наглядным примером такого взаимодействия методов может служить проект программиста Срджана Сусника [14] из Хорватии, который использовал одновременно обучение с подкреплением и генетический алгоритм. Как задачу он взял прохождения искусственным интеллектом популярной игры *flappy bird*. Основной процесс крутится вокруг того, чтобы пройти как можно дальше в двухмерном уровне платформы, перепрыгивая через препятствия и не врезаюсь в них или потолок с полом. В своем проекте программист сделал симуляцию, похожую на оригинальную игру с теми же игровыми правилами (рис. 6), однако пользовательский ввод заменил на искусственный интеллект, работающий на принципах обучения с подкреплением, а именно имеющий внутри нейронные сети. Так же он внедрил генетический алгоритм в виде того, что прыгающих птиц, проходящих уровень не одна, а 10, и все они соревнуются между собой по правилам этого алгоритма [15]. На рис. 6 представлена схема созданной симуляции.



Рисунок 6

Архитектура нейронной сети (рис. 7):

1. Входной слой из двух нейронов – подаются данные для ориентирования птицы:
  - Расстояние до ближайшего препятствия.
  - Разница между вертикальным положением птицы и препятствия.
2. Скрытый слой из шести нейронов.
3. Выходной слой из одного нейрона.
  - Если выходной сигнал больше 0,5, то птица прыгнет.

На рис. 7 представлена архитектура нейронной сети.

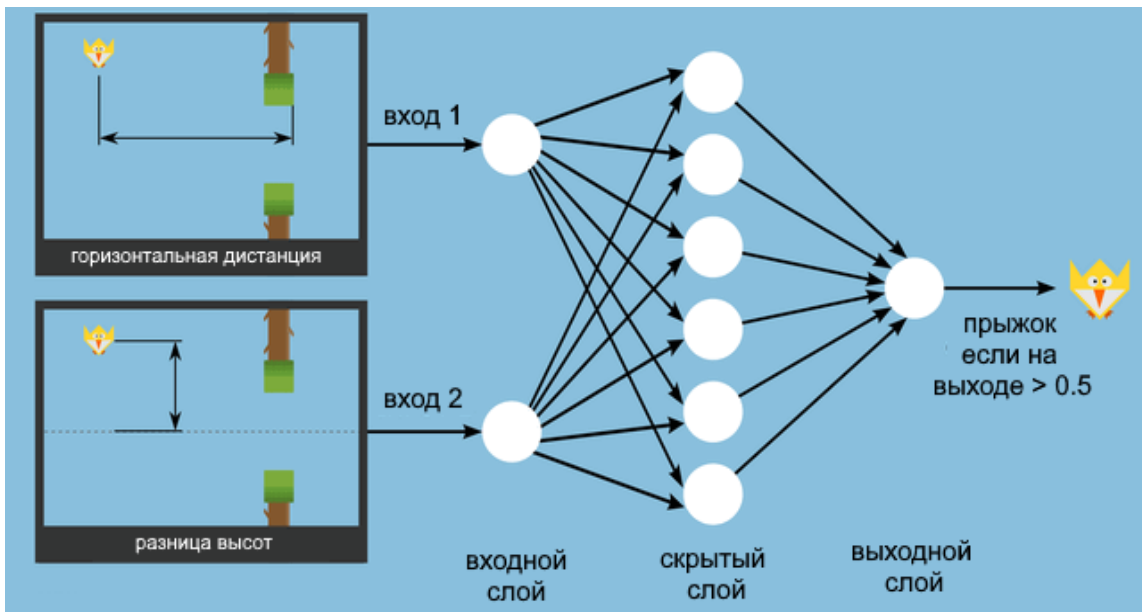


Рисунок 7

Основные этапы реализации генетического алгоритма:

1. Создаётся исходная популяция из 10 особей (птиц) со случайными весами на нейронных сетях.
2. Одновременно запускаются все 10 особей.
3. У каждой особи вычисляется её функция приспособленности для оценки её качества.
4. После смерти всех особей оценивается текущее поколение.
5. Создание нового поколения с помощью генетических операторов.
  - Сортировка особей текущего поколения по уровню приспособленности.
  - Данные лучших четырех особей отбираются для использования в следующем поколении.
  - Создание новой особи как результат скрещивания между двумя наилучшими победителями.
  - Создание трех новых особей как результаты скрещивания двух случайных победителей.
  - Создание двух особей как прямые копии двух случайных победителей.
  - Применение к каждому потомку случайные мутации, чтобы добавить вариативности.
6. Возврат на второй этап.

#### Функция приспособленности

В этом проекте птицы вознаграждаются в прямой зависимости от проделанного расстояния. Кроме того, птицы наказываются по их текущему расстоянию до ближайшего препятствия. Таким образом, можно различать птиц, пролетевших одинаковое расстояние.

Функция приспособленности здесь (этап 3) – это разность между общим расстоянием, проделанным птицей, и текущим расстоянием до ближайшего промежутка (рис. 8).

На рис. 8 показана схема функции приспособленности.

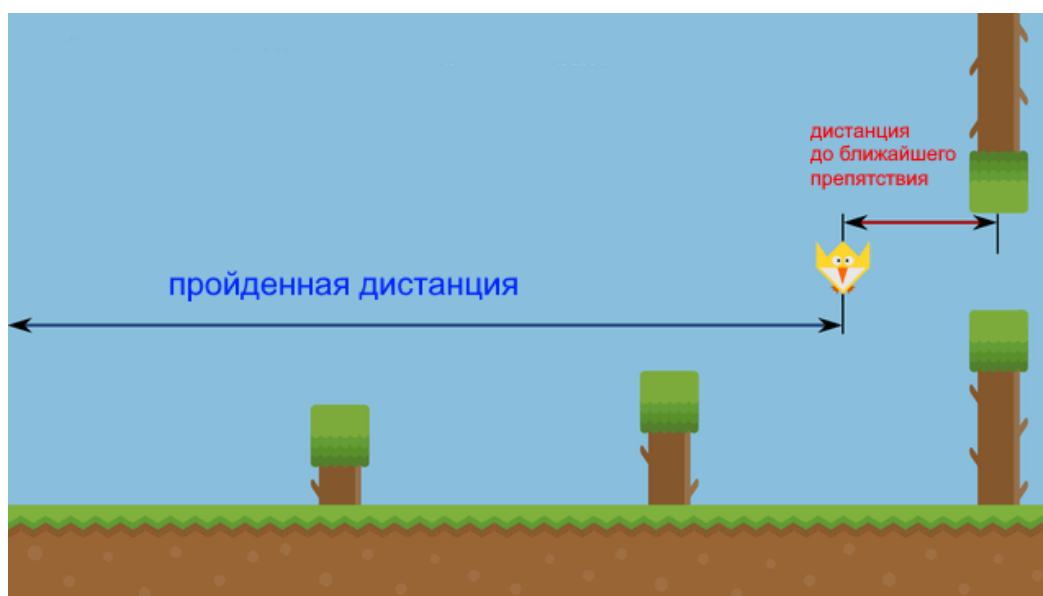


Рисунок 8

## Заключение

В результате на 73 поколении лучшая особь преодолела больше 400 препятствий, и таким образом, программист посчитал систему успешной и свернул симуляцию. Этот проект подтверждает, что можно успешно совмещать два метода для решения одной задачи.

## Литература

1. URL <https://medium.com/ai<sup>3</sup>-theory-practice-business/reinforcement-learning-part-1-a-brief-introduction-a53a849771cf> (дата обращения – март 2022 г.).
2. Russell Stuart J.; Norvig Peter (2010). Artificial intelligence: a modern approach (Third ed.). Upper Saddle River, New Jersey. – С. 830, 831.
3. Xie Zhaoming, et al. "ALLSTEPS: Curriculum-driven Learning of Stepping Stone Skills." Computer Graphics Forum. Vol. 39. No. 8. 2020.
4. Sutton & Barto, 1998. – С. 11.
5. Van Otterlo M., Wiering M. (2012). Reinforcement learning and markov decision processes. Reinforcement Learning. Adaptation, Learning, and Optimization. Vol. 12. – С. 3-42.
6. Gosavi Abhijit, (2003). Simulation-based Optimization: Parametric Optimization Techniques and Reinforcement.
7. Mitchell, 1996. – С. 2.
8. Gerges Firas; Zouein Germain; Azar Danielle, (12 March 2018). "Genetic Algorithms with Local Optima Handling to Solve Sudoku Puzzles".
9. URL <https://www.geeksforgeeks.org/genetic-algorithms/> (дата обращения – март 2022 г.).
10. Whitley, 1994. – С. 66.
11. Eiben A.E. Et al (1994). "Genetic algorithms with multi-parent recombination". PPSN III: Proceedings of the International Conference on Evolutionary Computation. The Third Conference on Parallel Problem Solving from Nature: – С. 78-87.
12. Ting Chuan-Kang (2005). «On the Mean Convergence Time of Multi-parent Genetic Algorithms Without Selection». Advances in Artificial Life: – С. 403-412.
13. URL <https://medium.com/xrpractices/reinforcement-learning-vs-genetic-algorithm-ai-for-simulations-f1f484969c56> (дата обращения – март 2022 г.).
14. URL <https://www.youtube.com/watch?v=aeWmdojEJf0> (дата обращения – март 2022 г.).
15. URL <https://habr.com/ru/post/336612/> (дата обращения – март 2022 г.).

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ МЕТАЛЛА

*А.Н. Орлов, Московский технический университет связи и информатики, aon199999@mail.ru.*

### УДК 004.942

---

**Аннотация.** В данной статье была разработана схема для изучения частот различных металлов, таких как алюминий, золото и серебро. Был рассмотрен один из современных методов, используемых при обнаружении металлов. В статье представлено моделирование и создание детектора – простого в установке и



дешевого по стоимости. Рассмотрены конструктивные характеристики, производительность устройства, область его работы и точность его результатов.

**Ключевые слова:** металлоискатель; система физической защиты; датчик; металл.

## DESIGN AND MODELING OF A METALL

*A.N. Orlov, Moscow Technical University of Communications and Informatics.*

**Annotation.** In this article, a scheme was developed to study the frequencies of various metals, such as aluminum, gold and silver. One of the modern methods used in the detection of metals was considered. The article presents the modeling and creation of a detector that is inexpensive and easy to create. The design characteristics, performance of the device, the scope of its operation and the accuracy of its results are considered.

**Keywords:** metal detector; physical protection system; sensor; metal.

---

### Введение

В данной статье представлено решение и новый прямой подход к дистанционному зондированию *GPS*, *Arduino*, основанный на концепции металлоискателей. Традиционно схемы беспроводного управления роботом имеют недостатки, заключающиеся в ограниченном рабочем диапазоне, ограниченном диапазоне радиочастот и ограниченном управлении. Использование микроконтроллера *Arduino* и радиочастотного роботизированного управления позволяет преодолеть эти ограничения. Это обеспечивает преимущество надежного управления, рабочий диапазон, равный зоне покрытия поставщика услуг, отсутствие помех другим контроллерам.

Металлодетекторы используются для поиска металлов под землей, обычно они дают некоторое представление о расстоянии [1, 2]. По мере приближения металла звук в наушнике повышается или стрелка перемещается дальше. Металлоискатель создает магнитное поле, когда находится над металлическим объектом, отмечая контур, в котором находится этот объект [3]. В этой статье сделан упор на создание электронной системы обнаружения металла, которая может быть использована в нескольких областях, таких как разведка полезных ископаемых, системы физической защиты и поиск потерянных предметов. Эти устройства, как правило, состоят из портативного устройства с датчиком, который может проникать в землю или другие объекты [4].

### Характеристики и компоненты системы обнаружения металла

#### Методология

Разработка представляет собой систему обнаружения металла на основе *GPS* [5], использующую систему микроконтроллера *Arduino Uno* и драйвер двигателя *L293* для управления движениями двигателя робота и датчиком обнаружения металла, которые отправляют сигнал на микроконтроллер при обнаружении любого объекта и остановке на нем и отправляют местоположение через *GPS* и радиочастоту оператору [6].

#### Микроконтроллеры

Микроконтроллер – интегрированная электронная схема, которая содержит внутренний микропроцессор, внутреннюю программируемую память для хранения управляющей программы и другую память для обработки данных [7]. Также

содержит входные и выходные контакты и может содержать другие инструменты, такие как аналого-цифровой преобразователь (АЦП), компараторы напряжения, технологические усилители и генератор тактовых импульсов [8]. На рис. 1 изображено схематическое устройство микроконтроллера ([источник](#)).

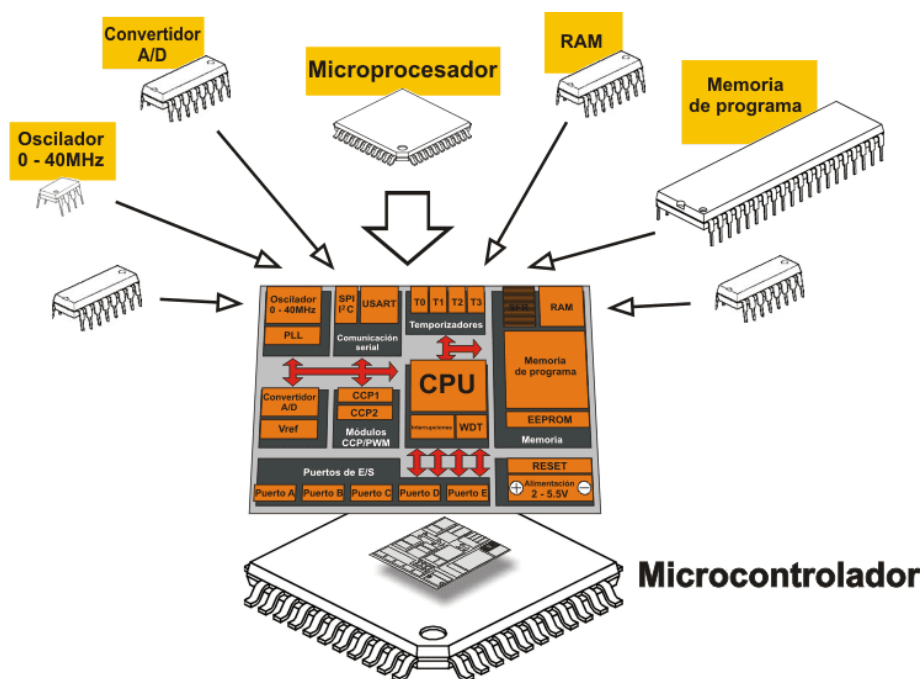


Рисунок 1

### Конструкция предлагаемой системы

Система обнаружения металла, разработанная в этой статье, была разделена на две части, как показано ниже:

А. Схема работа – содержит ультразвуковой датчик, металлоискатель, драйвер *L293*, двигатель, излучатель радиочастот и *GPS*.

Б. Схема приемника – содержит жидкокристаллический (ЖК) дисплей, устройство подачи звукового сигнала, микроконтроллер *Arduino* и радиопередатчик.

### Компоненты

Сначала на двигатели подается сигнал для движения вперед, а радары отслеживают наличие металлических объектов, и в случае обнаружения металла происходит остановка [9]. Через некоторое время происходит отправка координат местоположения на приемник с частотой 450 МГц, чтобы уведомить пользователей о том, что в определенной области был обнаружен металлический объект, происходит срабатывание звонка, после чего транспортное средство продолжает движение для поиска нового металлического объекта [10]. Транспортное средство движется по определенной карте с определенными шагами вперед, затем поворачивает в другом направлении в той же последовательности, что и выше, и так далее, пока вся область не будет обследована в соответствии с заданными координатами. На рис. 2 и 3 приведены схемы устройства и приёмника.

### Металлоискатель

Метод построения металлоискателей основан на электромагнитной индукции. Металлоискатели содержат одну или несколько катушек

индуктивности, которые используются для взаимодействия с металлическими элементами [11]. Приведенный ниже детектор с одной катушкой представляет собой простой тип детектора, используемого во многих металлоискателях.



Рисунок 2



Рисунок 3

К катушке подается импульсный ток, который затем индуцирует магнитное поле. Когда магнитное поле катушки перемещается по металлу, поле индуцирует электрические токи (называемые вихревыми токами) в объекте. Вихревые токи индуцируют собственное магнитное поле, генерирующее противоположный ток в катушке, который индуцирует сигнал, указывающий на присутствие металла.

Контур индуктивности, включающий конденсатор и катушку индуктивности, соединен параллельно. Если схема обнаруживает рядом с собой какой-либо металл, то схема активирует датчик приближения, его индикатор загорается и издает звуковой сигнал.

На рис. 4 показана схема контура металлоискателя ([источник](#)).

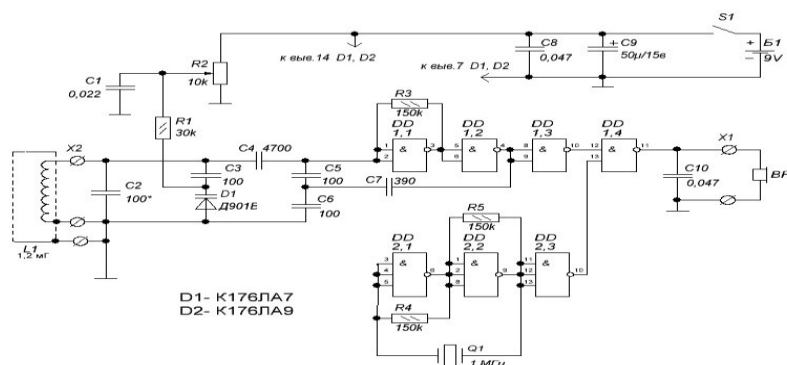


Рисунок 4

### *Arduino Uno*

*Arduino uno* – это платформа с открытым исходным кодом, используемая для создания проектов [12]. *Arduino* состоит из физической программируемой платы и *Arduino Integrated Development Environment (IDE)* (интегрированной среды разработки), которая работает на компьютере и используется для записи и считывания компьютерного кода на физическую плату. Платформа *Arduino* стала чрезвычайно популярной среди людей, которые только начинают заниматься электроникой, и на то есть веские причины [13]. В отличие от большинства программируемых печатных плат, *Arduino* не нуждается в отдельном аппаратном обеспечении для загрузки нового кода на плату – возможно тривиальное использование *USB*-разъема. Кроме того, *Arduino IDE* использует упрощенную версию *C++*, что облегчает создание программы. Наконец, *Arduino* обеспечивает стандартный форм-фактор, который более легко разбивает функции микроконтроллера на пакет. На рис. 5 показан микроконтроллер *Arduino Uno R3* ([источник](#)).



Рисунок 5

### *Двигатель постоянного тока*

Двигатель постоянного тока – электродвигатель, который преобразует электрическую энергию в кинетическую энергию и работает только в системах постоянного тока. Устройство в простейшей форме состоит из двух магнитных полюсов, северного полюса и южного полюса, разделенных определенным расстоянием, в котором катушка подключена к батарее или любому источнику напряжения. Таким образом, постоянное магнитное поле будет создаваться в результате прохождения линий магнитного потока с северного на южный полюс, учитывая то, что крутящий момент прямо пропорционален количеству этих линий, проходящих через катушку. Скорость двигателя постоянного тока можно регулировать в широком диапазоне, используя либо переменное напряжение питания, либо изменяя силу тока в его обмотках возбуждения. Небольшие двигатели постоянного тока используются в инструментах, игрушках и бытовой технике, более крупные двигатели постоянного тока используются в приводе электромобилей, лифтов и подъемников.

### *Драйвер L293*

Драйвер двигателя – электронная схема, часто используемая для управления двигателями в роботах. Драйвер двигателя – интерфейс между *Arduino* и двигателями. Наиболее часто используемые микросхемы драйвера двигателя относятся к серии *L293*, таким как *L293D*, *L293NE* и т.д. [14]. Микросхема была

разработана для одновременного управления двумя двигателями постоянного тока. *L293D* состоит из двух *H*-мостов. *H*-мост – простейшая схема для управления двигателем с низким номинальным током.

Регулятор напряжения предназначен для автоматического поддержания постоянного уровня напряжения. Регулятор напряжения может иметь простую конструкцию с прямой связью или может включать отрицательную обратную связь. В нем может использоваться электромеханический механизм или электронные компоненты. На рис. 6 показан драйвер двигателя *L293* ([источник](#)).

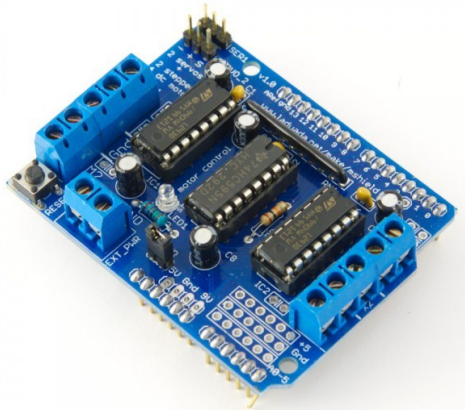


Рисунок 6

#### *Ультразвуковой датчик HC-SR04*

Ультразвуковые датчики могут обнаруживать движение целей и измерять расстояние до них на многих автоматизированных заводах и технологических установках [15]. Датчики могут иметь включенный или выключенный цифровой выход для обнаружения движения объектов или аналоговый выход, пропорциональный расстоянию. Они могут ощущать край материала как часть направляющей системы полотна. Ультразвуковые датчики широко используются в автомобилях в качестве датчиков парковки, чтобы помочь водителю повернуть задним ходом на парковочные места. Они тестируются для ряда других применений в автомобилестроении, включая ультразвуковое обнаружение людей и помощь в автономной навигации беспилотных летательных аппаратов. На рис. 7 показан ультразвуковой датчик *HC-SR04* ([источник](#)).

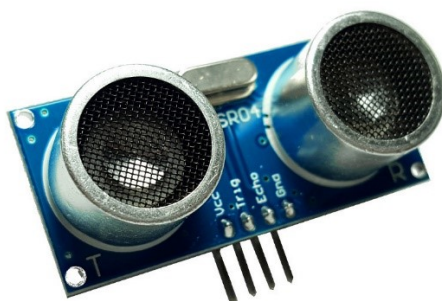


Рисунок 7

### *Модуль GPS*

*GPS* – это спутниковая навигационная система, ее основной функцией является предоставление точной информации о географическом местоположении конкретного человека, и нет сомнений в том, что система внесла свой вклад в развитие многих областей, таких как сухопутные путешествия, морская навигация и различные военные задачи, а также система играет выдающуюся роль в области геодезии, поэтому система считается одним из наиболее широко используемых инструментов измерения инженерами-геодезистами благодаря своей точности и достоверности данных. *GPS* состоит из трех частей: спутников, вращающихся вокруг Земли; станций управления и мониторинга на земле; и *GPS*-приемников, принадлежащих пользователю. Спутники *GPS* передают сигналы из космоса, которые улавливаются и идентифицируются приемниками *GPS*. Затем каждый *GPS*-приемник предоставляет трехмерное местоположение (широта, долгота и высота) и время.

#### *Радиочастотные приёмник и передатчик*

##### *1. Радиочастотный передатчик STT-433 МГц*

*STT-433* идеально подходит для приложений дистанционного управления, где требуются минимальные усилия и большая дальность действия. Передатчик работает от источника питания 1,5-12 В, что делает его идеальным для приложений с батарейным питанием, а в передатчике используется сбалансированный генератор, гарантирующий точное управление повторением для наилучшего выполнения диапазона.

##### *2. Радиочастотный приемник STR-433 МГц*

Информация получает радиочастотный коллектор от штыря приемного провода, далее эта информация доступна на информационных выводах. В модуле коллектора указаны два вывода данных. Следовательно, эта информация может быть использована для дальнейшего применения.

Результат предложенной системы – проектирование и моделирование электронной схемы. Вышеупомянутая система была реализована для определения типов металла и передачи информации через радиочастотную антенну и управляема микроконтроллером *Arduino*, а датчики использовались для обнаружения объекта перед транспортным средством, если объекты были обнаружены, транспортное средство производило остановку на некоторое время, а затем продолжало движение. Для поиска металлов использованы датчики радиоволн. При обнаружении металла использовались переменное сопротивление для регулировки контрастности экрана, а также транзистор для усиления звука звонка при обнаружении металла.

### **Заключение**

Предлагаемая система и все компоненты системы обнаружения металла управляются с помощью микроконтроллера *Arduino*. Также система включает в себя ультразвуковой датчик для металлоискателя и модуль *GPS*, прототип транспортного средства, радиочастотные приёмник и передатчик для передачи и приема сигналов от системы транспортного средства операторам системы, которые могут находиться на большом расстоянии от него. Система предотвращает потенциальный риск для человека в процессе поиска металлических объектов. Использование простых и дешёвых компонентов также является достоинством разработанной системы.

## Литература

1. Мур Р.К. «Национальная программа исследований в области судостроения. Оценка систем САД/САМ для судостроения (фаза I)», Документ DTIC, 1996. 2014.
2. Каналы F.P., интерфейс В.-о. T.-w. S., P. S. USART, компаратор О.-с. А. и О. Напряжения, «8-разрядный микроконтроллер с 32-гигабайтной встроенной программируемой флэш-памятью».
3. Эль-Шенави А. Создание автономного электромобиля для обнаружения и локализации наземных мин, IEEE, 2012. – С. 91-96.
4. Белош В.В., Нурутдинов И.В. Металлоискатель на основе микросхемы K157УД2 // Вестник научных конференций, 2015. – № 2-6 (2). – С. 19-20.
5. Носимые металлоискатели «ирис-э», «Кондор-3», «АКА-7202м»: Учебно-практическое пособие. – Иркутск: Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2015. – 36 с.
6. Тимофеев В.В., Имамова В.Р. Визуализация информации об объекте поиска с помощью металлоискателя годографа // Вестник Барнаульского юридического института МВД России, 2017. – № 1 (32). – С. 226-227.
7. Раупов И.Р., Куликова Г.Н. Создание действующей модели металлоискателя и практической изучение его возможностей // Наука, техника, инновации: Материалы V региональной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Великой Победы, Москва, 25 мая 2015 / Под редакцией Я.В. Зубовой. – Москва: ООО «Издательство «Спутник+», 2016. – С. 51-66.
8. Имамова В.Р. Особенности визуализации объекта поиска с использованием современного металлоискателя годографа // Вестник Барнаульского юридического института МВД России, 2017. – № 2 (33). – С. 117-118.
9. Костюкович Э.П. К вопросу об использовании металлоискателей, георадаров и других технических средств для поиска археологических артефактов// Борьба с преступностью: теория и практика: Тезисы докладов VII Международной научно-практической конференции, Могилев, 05 апреля 2019 / Редколлегия: Ю.П. Шкаплеров [и др.]. – Могилев: Учреждение образования «Могилевский институт Министерства внутренних дел Республики Беларусь», 2019. – С. 346-349.
10. Арбузов В.О., Пономарев Г.Л., Рыбаков А. С. Патент № 2569488 С2 Российская Федерация, МПК G01V 3/11. Датчик металлоискателя: № 2014111228/28: заявл. 25.03.2014: опубл. 27.11.2015.
11. Арбузов В.О., Пономарев Г.Л., Рыбаков А. С. Патент № 2569489 С2 Российская Федерация, МПК G01V 3/11. Металлоискатель: № 2014111235/28: заявл. 25.03.2014: опубл. 27.11.2015.
12. Кирнос А. Е. Arduino – как средство автоматизация сельского хозяйства Arduino - as a means of automation of agriculture // Вестник Кыргызстана, 2018. – № 1 (4). – С. 275-279.
13. Зацарин Г.В., Болдырев И.А. Платформа Arduino: новые возможности для технического творчества // World science: problems and innovations: сборник статей XVI Международной научно-практической конференции: в 3 ч., Пенза, 25 декабря 2017. – Пенза: «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2017. – С. 135-142.
14. L293. Дата просмотра 14.03.2022 [www.chipdip.ru/catalog/popular/l293](http://www.chipdip.ru/catalog/popular/l293).
15. Жмудь В.А., Кузнецов К.А., Кондратьев Н.О. Ультразвуковой датчик измерения расстояния HC-SR04 // Автоматика и программная инженерия, 2017. – № 4 (22). – С. 18-26.

# МЕТРОЛОГИЯ

## ИЗМЕРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ

*В.Н. Нестеров, д.т.н., профессор, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, nesterov.ntc@gmail.com.*

**УДК 621.317.08**

**Аннотация.** В работе проанализированы возможности двух принципиально разных методов для обеспечения точности измерительных преобразователей в условиях внешних возмущающих воздействий. Первый метод использует образцовые меры, которые встраиваются в структуру преобразователя в непосредственной связи с первичными преобразователями. Вторым методом реализуется принцип двухканальности и направлен на компенсацию возмущающих воздействий в структуре преобразователя. Показано, что «слепое» применение зарекомендовавшего себя метода без адекватной метрологической оценки может привести к возникновению дополнительных погрешностей, в то время как правильное использование метода позволяет добиться высоких метрологических характеристик даже при использовании в преобразователе нестабильных элементов.

**Ключевые слова:** метод измерения; теория инвариантности; возмущающие воздействия; повышение точности; измерительные преобразователи.

## MEASUREMENTS UNDER EXTERNAL DISTURBING INFLUENCES

*Vladimir Nesterov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Volga State University of Telecommunications and Informatics.*

**Annotation.** The possibilities of two fundamentally different methods for ensuring the accuracy of measurement transducers under conditions of external disturbing influences was analyzed in this paper. The first method uses reference measures that are built into the transducer structure in direct connection with the primary transducers. The second method implements the two-channel principle and is aimed at compensating disturbing influences in transducer structure. It is shown that the "blind" application of a proven method without an adequate metrological assessment can lead to additional errors. While the correct use of the method allows you to achieve high metrological characteristics even when using unstable elements in the transducer.

**Keywords:** measurement method; invariance theory; disturbing influences; measurement accuracy; measuring transducers.

### Введение

Проблема инвариантности систем относительно возмущающих воздействий впервые была поднята в теории автоматического управления и регулирования [1-6]. Целью теории инвариантности в данной области являлось создание систем автоматического регулирования, которые в силу своей структурной особенности или алгоритма управления обеспечивали независимость или инвариантность координат объекта относительно действующих возмущений. Возможности воплощения идей инвариантности на практике часто сталкиваются с проблемами реализуемости условий инвариантности. Поэтому исторически сформировалось



два направления в теории инвариантности: системы, обеспечивающие абсолютную инвариантность относительно возмущающих воздействий, и системы, обеспечивающие инвариантность до некоторого малого значения  $\varepsilon$ . В последнем случае использовался принцип управления по возмущению, а исторически первыми решались задачи в классе одноканальных систем регулирования по отклонению регулируемого параметра [7].

Следующим шагом стал перенос подходов теории инвариантности в теорию измерений. Одной из первых работ в этой области стала статья А.Г. Ивахненко, в которой найдены условия инвариантности уравниваемого измерительного моста относительно нестабильности источника питания [8]. Сформулированный академиком Б.Н. Петровым принцип инвариантности в измерительной технике [9] ознаменовал начало исследований в новой для теории инвариантности предметной области, области измерений. Число работ, опубликованных в этой сфере за прошедшие годы, не позволяет перечислить их хотя бы частично, так как их количество велико, а направления применения очень разнообразны. Поэтому отметим работы, развивающие принцип двухканальности и имеющие значение для повышения точности параметрических преобразователей за счет компенсации внешних и внутренних возмущающих воздействий [10-12].

Следует упомянуть ставшие уже классическими в теории измерений методы автоматической коррекции погрешностей, также основанные на получении избыточной информации. К ним относятся методы образцовых мер, вспомогательных измерений, тестовые, обратных преобразований, которые уже стали стандартом, когда речь заходит о необходимости снижения погрешностей измерений [13-15].

В упомянутых подходах к повышению точности средств измерений просматривается аналогия с принципами управления по возмущению и по отклонению в теории автоматического регулирования. В одном случае организуются дополнительные каналы передачи влияющих факторов в измерительную систему, и за счет структурной или алгоритмической обработки происходит компенсация их воздействия на результат. Во втором случае определяются источники возникновения погрешностей, определяются функции влияния возмущающих факторов, и на основании полученной дополнительной информации вводится соответствующая коррекция в результат измерения.

Поскольку универсальных решений не существует, применение того или иного метода в рассматриваемой предметной области связывают с конкретными особенностями решаемой задачи. Однако здесь иногда возникает соблазн «слепого» применения, зарекомендовавшего себя метода без адекватной метрологической оценки последствий его применения. Такие случаи встречаются на практике, поэтому рассмотрим вопросы правомерности применения тестового метода повышения точности [14] и метода, основанного на компенсации факторов, воздействующих на элементы измерительного преобразователя [16], и пришедшего в теорию измерений из теории инвариантности систем автоматического регулирования.

Отличие тестового метода от хорошо известного метода образцовых мер [13] состоит в том, что образцовая мера, в данном случае, получившая название «тест», подается на один из входов измерительного устройства в функциональной связи с измеряемой величиной. Получаемая, таким образом, информационная избыточность создает потенциальные возможности повысить точность измерения в результате обработки дополнительной информации. Однако потенциальные возможности не всегда бывают реализованы на практике. Рассмотрим «слепое»

применение тестового метода повышения точности на примере шестиплевого измерительного моста [17].

### Анализ альтернативных методов повышения точности измерительных устройств в условиях внешних возмущений

На рис. 1 показан двухканальный неравновесный измерительный мост, являющийся представителем большого класса параметрических измерительных преобразователей [18]. Мост имеет две измерительные диагонали, в которые включены, соответственно, дифференциально первичные измерительные преобразователи 1-4, например, тензорезисторы и дополнительные резисторы 5 и 6. Источник питающего напряжения 7 включен в диагональ питания, а напряжения с соответствующих измерительных диагоналей подаются на входы измерительных усилителей 8 и 9. Дальнейшая обработка информации осуществляется в сумматоре 10 и дифференциальном усилителе 11 и далее результаты сложения и вычитания подаются на устройство деления 12, выход которого является выходом рассматриваемого устройства.

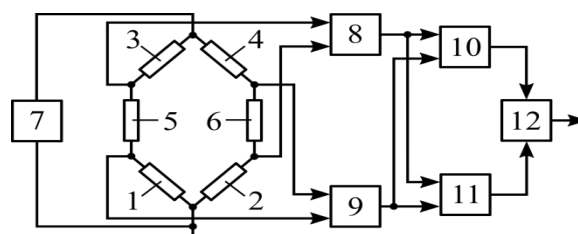


Рисунок 1

В соответствие с положениями тестового метода сопротивления резисторов 5 и 6, функционально связанные в функциях преобразования измерительных диагоналей с сопротивлениями тензорезисторов 1-4, должны быть точными высокостабильными элементами. По мнению автора [17], стабильность номинальных сопротивлений данных резисторов является условием снижения погрешности от температурной нестабильности стальных элементов данного шестиплевого моста. Приведенные там же функция преобразования и выражение погрешности устройства иллюстрируют этот декларируемый результат.

Не принимая на веру представленные в [17] выводы, выполним собственный анализ работы устройства. Для этого рассмотрим его функцию преобразования:

$$F = \frac{U_2^* + U_1^*}{U_2^* - U_1^*} = \frac{K_2 U_2 + K_1 U_1}{K_2 U_2 - K_1 U_1}, \quad (1)$$

где:  $K_1$  и  $K_2$  – коэффициенты усиления по напряжению измерительных усилителей 8 и 9, соответственно, а  $U_1$  и  $U_2$  – напряжения в выходных диагоналях:

$$U_1 = \frac{E \{ [(R_1 - \Delta R) + R_5] [(R_4 - \Delta R) + R_6] - (R_2 + \Delta R)(R_3 + \Delta R) \}}{[(R_1 - \Delta R) + (R_3 + \Delta R) + R_5] [(R_2 + \Delta R) + (R_4 - \Delta R) + R_6]}; \quad (2)$$

$$U_2 = \frac{E \{ [(R_1 - \Delta R)(R_4 - \Delta R)] - [(R_3 + \Delta R) + R_5] [(R_2 + \Delta R) + R_6] \}}{[(R_1 - \Delta R) + (R_3 + \Delta R) + R_5] [(R_2 + \Delta R) + (R_4 - \Delta R) + R_6]}, \quad (3)$$

где:  $E$  – ЭДС источника питания 7;  $R_1, R_2, R_3, R_4$  – начальные значения сопротивлений первичных преобразователей 1-4;  $\Delta R$  – приращение значений сопротивлений первичных преобразователей 1-4;  $R_5$  и  $R_6$  – значения сопротивлений резисторов 5 и 6.

При  $K_1 = K_2 = K$ ,  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$  и  $R_5 = R_6 = R_0$  функция преобразования устройства приобретает следующий вид:

$$F = \frac{U_2^* + U_1^*}{U_2^* - U_1^*} = \frac{2\Delta R}{R_0}. \quad (4)$$

Выражение (4) отличается от представленной в [17] функции преобразования, которая при идеальной стабильности резисторов 5 и 6 вырождается в тождество. Но этого недостаточно, чтобы сделать вывод о неработоспособности в данном случае тестового метода.

Для оценки справедливости последнего утверждения запишем выражение погрешности от действия возмущающих факторов на ключевые элементы данного измерительного моста в следующем виде:

$$\begin{aligned} \Delta F = & \left. \frac{\partial F}{\partial K_1} \right|_{K_0} \Delta K_1 + \left. \frac{\partial F}{\partial K_2} \right|_{K_0} \Delta K_2 + \left. \frac{\partial F}{\partial U_1^*} \frac{\partial U_1^*}{\partial (R_1 - \Delta R)} \right|_{(R_1 - \Delta R)_0} \Delta(R_1 - \Delta R) + \\ & + \left. \frac{\partial F}{\partial U_2^*} \frac{\partial U_2^*}{\partial (R_1 - \Delta R)} \right|_{(R_1 - \Delta R)_0} \Delta(R_1 - \Delta R) + \left. \frac{\partial F}{\partial U_1^*} \frac{\partial U_1^*}{\partial (R_2 + \Delta R)} \right|_{(R_2 + \Delta R)_0} \Delta(R_2 + \Delta R) + \\ & + \left. \frac{\partial F}{\partial U_2^*} \frac{\partial U_2^*}{\partial (R_2 + \Delta R)} \right|_{(R_2 + \Delta R)_0} \Delta(R_2 + \Delta R) + \left. \frac{\partial F}{\partial U_1^*} \frac{\partial U_1^*}{\partial (R_3 + \Delta R)} \right|_{(R_3 + \Delta R)_0} \Delta(R_3 + \Delta R) + \\ & + \left. \frac{\partial F}{\partial U_2^*} \frac{\partial U_2^*}{\partial (R_3 + \Delta R)} \right|_{(R_3 + \Delta R)_0} \Delta(R_3 + \Delta R) + \left. \frac{\partial F}{\partial U_1^*} \frac{\partial U_1^*}{\partial (R_4 - \Delta R)} \right|_{(R_4 - \Delta R)_0} \Delta(R_4 - \Delta R) + \\ & + \left. \frac{\partial F}{\partial U_2^*} \frac{\partial U_2^*}{\partial (R_4 - \Delta R)} \right|_{(R_4 - \Delta R)_0} \Delta(R_4 - \Delta R) + \left. \frac{\partial F}{\partial U_1^*} \frac{\partial U_1^*}{\partial R_5} \right|_{R_{50}} \Delta R_5 + \left. \frac{\partial F}{\partial U_2^*} \frac{\partial U_2^*}{\partial R_5} \right|_{R_{50}} \Delta R_5 = \\ & + \left. \frac{\partial F}{\partial U_1^*} \frac{\partial U_1^*}{\partial R_6} \right|_{R_{60}} \Delta R_6 + \left. \frac{\partial F}{\partial U_2^*} \frac{\partial U_2^*}{\partial R_6} \right|_{R_{60}} \Delta R_6, \end{aligned} \quad (5)$$

где:  $\Delta K_1$ ,  $\Delta K_2$  – отклонения коэффициентов усиления по напряжению измерительных усилителей 8 и 9 от номинального значения  $K_0$ ;  $\Delta(R_1 - \Delta R)$ ,  $\Delta(R_2 + \Delta R)$ ,  $\Delta(R_3 + \Delta R)$ ,  $\Delta(R_4 - \Delta R)$ ,  $\Delta R_5$ ,  $\Delta R_6$  – отклонения параметров элементов 1-6 схемы от номинальных значений  $(R_1 - \Delta R)_0$ ,  $(R_2 + \Delta R)_0$ ,  $(R_3 + \Delta R)_0$ ,  $(R_4 - \Delta R)_0$ ,  $R_{50}$ ,  $R_{60}$  под действием влияющих факторов.

Подставив в выражение (5) выражения (1)-(3) и проведя некоторые преобразования, получаем результирующее выражение погрешности для данного шестиплечего моста от нестабильности ключевых элементов под действием различных влияющих факторов, в том числе, нестабильности температуры:

$$\begin{aligned} \Delta F = & \frac{2}{\{R_{50}[(R_2 + \Delta R)_0 + (R_4 - \Delta R)_0 + R_{60}] + R_{60}[(R_1 - \Delta R)_0 + (R_3 + \Delta R)_0 + R_{50}]\}^2} \times \\ & \times \left\{ \frac{[(R_1 - \Delta R)_0 + (R_3 + \Delta R)_0 + R_{50}]}{[(R_2 + \Delta R)_0 + (R_4 - \Delta R)_0 + R_{60}]} \{ [R_{60} + (R_4 - \Delta R)_0](R_2 + \Delta R)_0 \times \right. \\ & \left. \times \{ (R_1 - \Delta R)_0(R_4 - \Delta R)_0 - [R_{50} + (R_3 + \Delta R)_0][R_{60} + (R_2 + \Delta R)_0] \} \right\} \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \times \left[ \frac{\Delta(R_2 + \Delta R)}{(R_2 + \Delta R)_0} - \frac{\Delta R_6 + \Delta(R_4 - \Delta R)}{R_{60} + (R_4 - \Delta R)_0} \right] + [R_{60} + (R_2 + \Delta R)_0 (R_4 - \Delta R)_0] \times \\
& \times \left\{ [R_{50} + (R_1 - \Delta R)_0] [R_{60} + (R_4 - \Delta R)_0 - (R_2 + \Delta R)_0 (R_3 + \Delta R)_0] \right\} \times \\
& \times \left[ \frac{\Delta(R_4 - \Delta R)}{(R_4 - \Delta R)_0} - \frac{\Delta R_6 + \Delta(R_2 + \Delta R)}{R_{60} + (R_2 + \Delta R)_0} \right] + \frac{[(R_2 + \Delta R)_0 + (R_4 - \Delta R)_0 + R_{60}]}{[(R_1 - \Delta R)_0 + (R_3 + \Delta R)_0 + R_{50}]} \times \\
& \times \left\{ [R_{50} + (R_1 - \Delta R)_0] (R_3 + \Delta R)_0 \left\{ (R_1 - \Delta R)_0 (R_4 - \Delta R)_0 - [R_{50} + (R_3 + \Delta R)_0] \right\} \times \right. \\
& \times [R_{60} + (R_2 + \Delta R)_0] \left. \left[ \frac{\Delta(R_3 + \Delta R)}{(R_3 + \Delta R)_0} - \frac{\Delta R_5 + \Delta(R_1 - \Delta R)}{R_{50} + (R_1 - \Delta R)_0} \right] + [R_{50} + (R_3 + \Delta R)_0] \right\} \times \\
& \times (R_1 - \Delta R)_0 \left\{ [R_{50} + (R_1 - \Delta R)_0] [R_{60} + (R_4 - \Delta R)_0 - (R_2 + \Delta R)_0 (R_3 + \Delta R)_0] \right\} \times \\
& \times \left[ \frac{\Delta(R_1 - \Delta R)}{(R_1 - \Delta R)_0} - \frac{\Delta R_5 + \Delta(R_3 + \Delta R)}{R_{50} + (R_3 + \Delta R)_0} \right] + \left\{ [R_{50} + (R_1 - \Delta R)_0] [R_{60} + (R_4 - \Delta R)_0] - \right. \\
& - (R_2 + \Delta R)_0 (R_3 + \Delta R)_0 \left. \right\} \left\{ (R_1 - \Delta R)_0 (R_4 - \Delta R)_0 - [R_{50} + (R_3 + \Delta R)_0] \right\} \times \\
& \times [R_{60} + (R_2 + \Delta R)_0] \left\{ \left[ \frac{\Delta K_2}{K_0} - \frac{\Delta K_1}{K_0} \right] \right\}, \tag{6}
\end{aligned}$$

где:  $\Delta K_1$ ,  $\Delta K_2$  – отклонения коэффициентов усиления по напряжению измерительных усилителей 8 и 9 от номинального значения  $K_0$ ;  $\Delta(R_1 - \Delta R)$ ,  $\Delta(R_2 + \Delta R)$ ,  $\Delta(R_3 + \Delta R)$ ,  $\Delta(R_4 - \Delta R)$ ,  $\Delta R_5$ ,  $\Delta R_6$  – отклонения параметров элементов 1-6 схемы от номинальных значений  $(R_1 - \Delta R)_0$ ,  $(R_2 + \Delta R)_0$ ,  $(R_3 + \Delta R)_0$ ,  $(R_4 - \Delta R)_0$ ,  $R_{50}$ ,  $R_{60}$  под действием влияющих факторов.

Устремляя выражение погрешности (6) к нулю, легко получить условия, выполнение которых приведет к минимизации погрешности моста от нестабильности его ключевых элементов:

$$\frac{\Delta(R_2 + \Delta R)}{(R_2 + \Delta R)_0} = \frac{\Delta R_6 + \Delta(R_4 - \Delta R)}{R_{60} + (R_4 - \Delta R)_0}; \tag{7}$$

$$\frac{\Delta(R_4 - \Delta R)}{(R_4 - \Delta R)_0} = \frac{\Delta R_6 + \Delta(R_2 + \Delta R)}{R_{60} + (R_2 + \Delta R)_0}; \tag{8}$$

$$\frac{\Delta(R_3 + \Delta R)}{(R_3 + \Delta R)_0} = \frac{\Delta R_5 + \Delta(R_1 - \Delta R)}{R_{50} + (R_1 - \Delta R)_0}; \tag{9}$$

$$\frac{\Delta(R_1 - \Delta R)}{(R_1 - \Delta R)_0} = \frac{\Delta R_5 + \Delta(R_3 + \Delta R)}{R_{50} + (R_3 + \Delta R)_0}; \tag{10}$$

$$\frac{\Delta K_2}{K_0} - \frac{\Delta K_1}{K_0} = 0. \tag{11}$$

Если в схеме установлены высокостабильные резисторы 5 и 6 с номинальными значениями сопротивлений  $R_{50}$ ,  $R_{60}$ , то в идеальном случае отклонения  $\Delta R_5$ ,  $\Delta R_6$  значений  $R_5$ ,  $R_6$  сопротивлений 5 и 6 от их номинальных значений  $R_{50}$ ,  $R_{60}$  будут стремиться к нулю:  $\Delta R_5 \rightarrow 0$ ,  $\Delta R_6 \rightarrow 0$ .

Но при  $\Delta R_5 \rightarrow 0$  условие (9) вступит в противоречие с условием (10), а при  $\Delta R_6 \rightarrow 0$  условие (7) будет противоречить условию (8). Сравнив обозначения,

видим, что  $\Delta R_5 \rightarrow 0$  и  $\Delta R_6 \rightarrow 0$  соответствуют  $\Delta R_0 \rightarrow 0$  в [17]. То есть, установка высокостабильных резисторов 5 и 6, призванных выполнять функции «тестовых» элементов, приведет к невозможности выполнения условий (7)-(10), являющихся условиями минимизации выражения погрешности (6) данного шестиплечего моста от нестабильности его ключевых элементов.

Таким образом, использование высокостабильных резисторов 5 и 6 в конкретной технической реализации не только не снизит результирующую погрешность рассматриваемого устройства, но будет служить источником дополнительной погрешности. Слепое применение хорошо зарекомендовавшего себя тестового метода повышения точности измерительных устройств в данном случае приводит к прямо противоположному результату.

Для компенсации внешних возмущений в нашем случае принципиальной задачей является задача поиска парных элементов и соответствующих им технологических мероприятий, приводящих к максимально близкому выполнению условий (7)-(11). По существу, речь идет о выявлении технологического «ноу-хау» для групп элементов, составляющих устройство. Методика наглядно описана в работах [12, 16] и использована для представленного на рис. 1 двухканального неравновесного измерительного моста.

Комплекс технологических мероприятий, касающихся групп элементов, параметры которых присутствуют в (7)-(11), следующий:

- элементы, составляющие группу, должны быть технологически идентичны, например, выполнены из одного и того же материала, изготовлены на основе идентичных комплектующих, взяты из одной партии;
- элементы, составляющие группу, должны находиться в идентичных условиях относительно любых возмущающих воздействий;
- активные элементы, составляющие группу, должны быть одной марки, желательно из одной партии и, при возможности, иметь общий источник питания.

Выполнение перечисленных требований позволит максимально приблизиться к выполнению условий (7)-(11) и, соответственно, обеспечит уменьшение дополнительных погрешностей, модель которых представлена выражением (6).

Выходя за пределы выполненного анализа, обратим внимание на более широкие возможности продемонстрированного здесь технологического метода компенсации внешних возмущений на элементы преобразователей. Действительно, помимо элементов 1-6, составляющих основу измерительной цепи (рис. 1), в схеме присутствуют измерительные усилители 8 и 9, сумматор 10, дифференциальный усилитель 11, устройство деления 12, которые также подвержены влиянию.

Продемонстрируем работу метода на дифференциальном усилителе напряжения, поскольку в отношении остальных просматривается аналогия применения.

Стандартная схема дифференциального усилителя напряжения представлена на рис. 2.

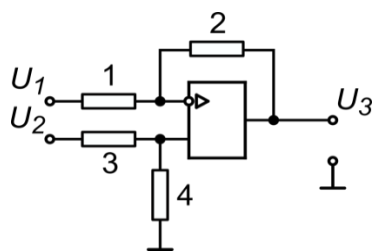


Рисунок 2

Напряжение на выходе данного дифференциального усилителя напряжения определяется выражением [19]:

$$U_3 = U_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - U_1 \frac{R_2}{R_1} \quad (12)$$

где:  $R_1, R_2, R_3, R_4$  - сопротивления, соответственно, резисторов 1-4.

При выполнении условия  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ , выражение (12) принимает вид:

$$U_3 = U_2 - U_1, \quad (13)$$

что и требуется в соответствии с алгоритмом работы схемы.

Из выражения (12) видно, что нестабильность дифференциального усилителя напряжения определяется нестабильностью сопротивлений  $R_1, R_2, R_3, R_4$ . Выражение погрешности дифференциального усилителя, возникающей вследствие нестабильности указанных сопротивлений, имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \Delta U_3 &= \frac{\partial U_3}{\partial R_1} \Delta R_1 + \frac{\partial U_3}{\partial R_2} \Delta R_2 + \frac{\partial U_3}{\partial R_3} \Delta R_3 + \frac{\partial U_3}{\partial R_4} \Delta R_4 = \\ &= U_2 \frac{R_3 R_4}{(R_3 + R_4)^2} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \left[ \frac{\Delta R_4}{R_4} - \frac{\Delta R_3}{R_3} \right] + \frac{R_2}{R_1} \left( U_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} - U_1 \right) \left[ \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_1}{R_1} \right]. \end{aligned} \quad (14)$$

Устремляя выражение (14) к нулю, выявляем необходимость «дифференциально-симметричного» влияния дестабилизирующих факторов на параметры соответствующих групп резисторов 1, 2 и 3, 4:

$$\left\{ \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_1}{R_1} \right\} \rightarrow 0; \quad \left\{ \frac{\Delta R_4}{R_4} - \frac{\Delta R_3}{R_3} \right\} \rightarrow 0. \quad (15)$$

Соответственно из (15) получаем условия компенсации воздействия дестабилизирующих факторов на навесные элементы дифференциального усилителя, реализуемые путем соответствующих технологических мероприятий:

$$\frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_1}{R_1}; \quad \frac{\Delta R_4}{R_4} = \frac{\Delta R_3}{R_3}. \quad (16)$$

Аналогично могут быть получены условия компенсации дестабилизирующих факторов на другие компоненты неравновесного измерительного моста, схема которого представлена на рис. 1.

### Заключение

Как следует из приведенных примеров, метод компенсации внешних возмущающих воздействий на измерительные преобразователи, основанный на принципе двухканальности и реализуемый путем технологических мероприятий, эффективен и позволяет на единой основе решать задачи создания измерительных устройств, предназначенных для работы в условиях действия неизвестных возмущающих воздействий. Применение данной технологии позволяет из нестабильных элементов создавать схемы преобразователей, обладающие

хорошими метрологическими характеристиками в условиях значительных внешних и внутренних возмущений.

Выполненный анализ показал, что «слепое» использование методов повышения точности измерения неприемлемо и может привести к совершенно неожиданному и противоположному результату. Применение конкретного метода должно сопровождаться корректным метрологическим анализом, подтверждающим правильность и эффективность предпринятых мероприятий. Изложенный материал не умаляет достоинств и преимуществ тех или иных методов повышения точности измерений, как не уменьшает имеющихся у них недостатков, а должен способствовать вдумчивому их использованию с оглядкой на все возможные последствия.

### Литература

1. Щипанов Г.В. Теория и методы проектирования автоматических регуляторов // Автоматика и телемеханика, 1939. – № 1. – С. 49-66.
2. Лузин Н.Н., Кузнецов П.И. К абсолютной инвариантности и инвариантности до  $\varepsilon$  в теории дифференциальных уравнений / Докл. АН СССР, 1946. – Т. 51. – № 5. – С. 331-333.
3. Кулебакин В.С. О применимости принципа абсолютной инвариантности в физических реальных системах // ДАН СССР, 1948. – Т. 60. – № 2. – С. 231-234.
4. Петров Б.Н., Кухтенко А.И. Структуры абсолютно инвариантных систем и условия их физической реализуемости // Теория инвариантности в системах автоматического управления: Тр. Всесоюз. совещания. – М.: Наука, 1964. – С.24-28.
5. Хрусталева М.М. Необходимые и достаточные условия слабой инвариантности // Автоматика и телемеханика, 1968. – № 4. – С. 17-22.
6. Менский Б.М. Принцип инвариантности в автоматическом регулировании и управлении. – М.: Машиностроение, 1972. – 247 с.
7. Плотников П.К., Никифоров А.А., Захаров Ю.А., Здражевский Р.А. Измерение моментов возмущающих сил в летательном аппарате с комбинированными системами управления // Известия ТулГУ. Технические науки, 2021. – № 10. – С.73-79. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-10-73-80.
8. Ивахненко А.Г. Связь теории инвариантности с теорией стабильности измерительных систем // Автоматика, 1960. – № 5. – С. 35-40.
9. Петров Б.Н., Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С. Принцип инвариантности в измерительной технике. – М.: Наука, 1976. – 244 с.
10. Нестеров В.Н. Структурный и технологический методы в задачах построения инвариантных измерительных преобразователей // Измерительная техника, 2007. – № 2. – С. 8-12.
11. Нестеров В.Н., Ли А.Р. Теория и практика построения инвариантных измерительных преобразователей и систем на основе принципа двухканальности // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2016. – Т. 18. – № 4 (7). – С. 1414-1422.
12. Нестеров В.Н., Ли А.Р. Теоретические основы построения квазиинвариантных преобразователей и систем на основе принципа двухканальности // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2017. – Т. 19. – № 6. – С. 80-89.
13. Земельман М.А. Автоматическая коррекция погрешностей измерительных устройств. – М.: Издательство стандартов, 1972. – 199 с.

14. Бромберг Э.М., Куликовский К.Л. Тестовые методы повышения точности измерений. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.
15. Алиев Т.М., Тер-Хачатуров А.А., Шекиханов А.М. Итерационные методы повышения точности измерений. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 168 с.
16. Nesterov V.N., Li A.R. Application of the Two-Channel Principle in Measuring Devices to Compensate for Disturbing Influences of Unknown Physical Nature // *Devices and Methods of Measurements*, 2020. – 11 (3). – P. 128-135. Doi: 10.21122/2220-9506-2020-11-3-228-235.
17. А.С. 1195263 СССР, МПК G 01 R 17/00, G 01 R 7/18. Измерительный преобразователь // В.В. Пащенко. – №3707017/24-21; Заявл. 26.12.83; Опубл. 30.11.85. – Бюл. № 44.
18. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
19. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 304с.



# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

*Д.В. Лукашик, Московский технический университет связи и информатики, dan4eg777@gmail.com.*

**УДК 004.852**

---

**Аннотация.** В рамках данной статьи рассматривается понятие сегментации изображения, исследуются различные типы задач сегментации, такие как: семантическая сегментация, сегментация экземпляра и паноптическая сегментация. Производится анализ различных сфер применения сегментации изображений, рассматриваются классические методы сегментации, выявляются их преимущества, недостатки и сферы применения. Также исследуются современные методы сегментации, основанные на глубоком обучении.

**Ключевые слова:** сегментация изображения; сверточные нейронные сети; *SegNet*; *U-Net*; *DeepLab*.

## ANALYSIS OF MODERN IMAGE SEGMENTATION METHODS

*Denis Lukashik, Moscow Technical University of Communications and Informatics.*

**Annotation.** Within the framework of this work, the concept of image segmentation is considered, various types of segmentation problems are studied, such as: semantic segmentation, instance segmentation and panoptical segmentation. An analysis is made of various areas of application of image segmentation. Next, classical segmentation methods are considered, their advantages, disadvantages and areas of application are identified. After that, modern segmentation methods based on deep learning are explored.

**Keywords:** image segmentation; convolutional neural networks; *SegNet*; *U-Net*; *DeepLab*.

---

### Введение

В связи с развитием в области искусственного интеллекта и инновациями в глубоком обучении и нейронных сетях, компьютерное зрение получило сильное развитие в последнее время. Сегментация является важной задачей, решение которой люди пытаются найти различными способами, в том числе с использованием нейронных сетей.

В рамках данной статьи проводится исследование задачи сегментации изображений, а именно рассматривается понятие сегментации изображений, видов и сфер ее применения. Автором проводится исследование традиционных методов сегментации и выявляются их преимущества и недостатки, а также осуществляется исследование современных архитектур нейронных сетей для сегментации изображений.

### Сегментация изображения

Сегментация изображения – это метод, при котором цифровое изображение разбивается на различные подгруппы, называемые сегментами изображения, что помогает уменьшить сложность изображения и упростить дальнейшую обработку или анализ изображения. Сегментация – это присвоение меток пикселям. Все

элементы изображения или пиксели, принадлежащие к одной и той же категории, имеют общую метку, назначенную им.

Сегментация изображений является расширением классификации изображений, где помимо классификации мы выполняем локализацию. Таким образом, сегментация изображения представляет собой надмножество классификации изображений, при этом модель точно определяет, где находится соответствующий объект, очерчивая его границы [1].

На рис. 1 представлены различные задачи компьютерного зрения.



Рисунок 1

### Типы задач сегментации изображений

Задачи сегментации изображения можно разделить на три группы в зависимости от количества и типа информации, которую они передают.

В то время как семантическая сегментация определяет широкую границу объектов, принадлежащих к определенному классу, сегментация экземпляра предоставляет карту сегментов для каждого объекта, который он просматривает на изображении, без какого-либо представления о классе, к которому принадлежит объект [2].

Паноптическая сегментация, безусловно, является наиболее информативной, поскольку она представляет собой сопряжение задач экземплярной и семантической сегментации. Паноптическая сегментация дает нам карты сегментов всех объектов любого конкретного класса, присутствующих на изображении.

Рассмотрим эти задачи более подробно.

#### 1. Семантическая сегментация.

Семантическая сегментация относится к классификации пикселей изображения по семантическим классам. Пиксели, принадлежащие к определенному классу, просто относятся к этому классу без учета другой информации или контекста.

Как и следовало ожидать, применение данного метода является нецелесообразным, когда на изображении тесно сгруппированы несколько экземпляров одного и того же класса. Изображение толпы на улице будет иметь модель семантической сегментации, предсказывающую, что вся область толпы принадлежит к классу «пешеход», таким образом, предоставляя очень мало подробных деталей или информации об изображении.

## 2. Сегментация экземпляра.

Модели сегментации экземпляров классифицируют пиксели по категориям на основе «экземпляров», а не классов.

Алгоритм сегментации экземпляров не знает к какому классу принадлежит классифицируемая область, но может разделить перекрывающиеся или очень похожие области объекта на основе их границ.

Если то же самое изображение толпы, о котором говорилось ранее, передается модели сегментации экземпляра, модель сможет отделить каждого человека от толпы, а также от окружающих объектов, но не сможет предсказать, что каждый регион/объект является экземпляром.

## 3. Паноптическая сегментация.

Паноптическая сегментация, самая последняя разработанная задача сегментации, может быть выражена как комбинация семантической сегментации и сегментации экземпляров, при которой каждый экземпляр объекта на изображении выделяется и предсказывается идентичность объекта.

Алгоритмы паноптической сегментации находят широкое применение в таких популярных задачах, как самоуправляемые автомобили, где необходимо захватить огромное количество информации о ближайшем окружении с помощью потока изображений.

На рис. 2 представлены задачи сегментации изображений.

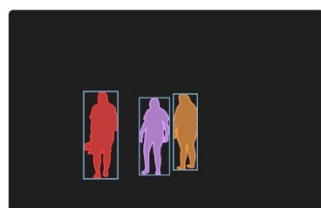
### Semantic Segmentation vs. Instance Segmentation vs. Panoptic Segmentation



Image



Semantic Segmentation



Instance Segmentation



Panoptic Segmentation

Рисунок 2

### Сферы применения сегментации изображений

Сегментация изображения является важной областью компьютерного зрения. Машины должны разделить визуальные данные на сегменты для обработки, специфичной для сегмента.

Таким образом, сегментация изображений находит свое применение в таких важных областях, как робототехника, медицинская визуализация, автономные транспортные средства и интеллектуальная видеоаналитика [3].

Помимо этих приложений, сегментация изображений также используется спутниками на аэрофотоснимках для сегментации дорог, зданий и деревьев.

Ниже приведены несколько наиболее популярных сфер применения сегментации изображений.

### 1. Медицинская визуализация.

Медицинская визуализация – важная область компьютерного зрения, которая фокусируется на диагностике заболеваний на основе визуальных данных, как в виде простых визуальных данных, так и в виде биомедицинских сканирований.

Сегментация играет важную роль в медицинской визуализации, поскольку она помогает врачам быстро и точно выявлять возможные злокачественные признаки на изображениях.

Используя сегментацию изображений, диагностику заболеваний можно не только ускорить, но и удешевить, что принесет пользу тысячам людей по всему миру.

- Рентгеновская сегментация.
- КТ сегментация органов.
- Сегментация стоматологического экземпляра.
- Сегментация клеток цифровой патологии.
- Аннотация к хирургическому видео.

### 2. Умные города.

Умные города часто имеют камеры видеонаблюдения для наблюдения в режиме реального времени за пешеходами, дорожным движением и преступностью. Этот мониторинг можно легко автоматизировать с помощью сегментации изображения.

Благодаря мониторингу на основе искусственного интеллекта о преступлениях можно сообщать быстрее, на место дорожно-транспортного происшествия можно немедленно вызвать скорую помощь, а автомобили с превышением скорости легко отследить.

Таким образом, использование сегментации изображений и мониторинга на основе ИИ может улучшить образ жизни людей, в части:

- Обнаружения пешеходов.
- Аналитики трафика.
- Распознавания номерного знака.
- Видеонаблюдения.

### 3. Самоуправляемые автомобили.

Самоуправляемые автомобили – одно из самых больших приложений сегментации изображений, от которого сильно зависит планирование маршрутов и движения.

Семантическая сегментация и сегментация экземпляров помогают этим транспортным средствам идентифицировать дорожные знаки и другие транспортные средства, тем самым обеспечивая беспрепятственную и плавную езду за счет:

- Семантической сегментации дорожного покрытия.
- Сегментации автомобилей и пешеходов.
- Обнаружения объектов в автомобиле (вещи, оставленные пассажирами).
- Обнаружения выбоин.

## **Традиционные методы сегментации изображений**

Первоначально сегментация изображений началась с цифровой обработки изображений в сочетании с алгоритмами оптимизации. Эти примитивные алгоритмы использовали такие методы, как выращивание областей и алгоритм змей [4], где они устанавливали начальные области, а алгоритм сравнивал значения пикселей, чтобы получить представление о карте сегментов.

Эти методы брали локальное представление о функциях изображения и фокусировались на локальных различиях и градиентах в пикселях.

Алгоритмы, которые использовали глобальное представление входного изображения, появились намного позже, когда среди классических методов обработки изображений были предложены такие методы, как адаптивная пороговая обработка, алгоритм Оцу и алгоритмы кластеризации [5].

- Методы на основе порога.

Пороговое определение – один из самых простых методов сегментации изображения, при котором устанавливается пороговое значение для разделения пикселей на два класса. Пиксели, значения которых превышают пороговое значение, устанавливаются равными 1, а пиксели, значения которых меньше порогового значения, устанавливаются равными 0.

Таким образом, изображение преобразуется в двоичную карту, что приводит к процессу, который часто называют бинаризацией. Пороговое значение изображения очень полезно, если разница в значениях пикселей между двумя целевыми классами очень велика, и легко выбрать среднее значение в качестве порога.

Пороговое значение часто используется для бинаризации изображения, чтобы можно было использовать дополнительные алгоритмы, такие как обнаружение контура и идентификация, которые работают только с бинарными изображениями [6].

- Сегментация по регионам.

Алгоритмы сегментации на основе областей работают, ища сходство между соседними пикселями и группируя их в общий класс.

Как правило, процедура сегментации начинается с того, что некоторые пиксели устанавливаются в качестве исходных пикселей, а алгоритм работает, обнаруживая непосредственные границы исходных пикселей и классифицируя их как похожие или несходные.

Затем рассматриваются непосредственные соседи и шаги повторяются до тех пор, пока все изображение не будет сегментировано. Примером подобного алгоритма является популярный алгоритм водораздела для сегментации, который работает, начиная с локальных максимумов карты евклидовых расстояний и растет при условии, что никакие два начальных числа не могут быть классифицированы как принадлежащие к одной и той же области или карте сегмента [7].

- Сегментация краев.

Сегментация краев, также называемая обнаружением краев, представляет собой задачу обнаружения краев на изображениях.

С точки зрения сегментации можно сказать, что обнаружение краев соответствует классификации пикселей изображения, которые являются краевыми пикселями, и соответственно выделению этих краевых пикселей в отдельный класс.

Обнаружение краев обычно выполняется с помощью специальных фильтров, которые дают края изображения после свертки. Эти фильтры рассчитываются с помощью специальных алгоритмов, которые оценивают градиенты изображения в координатах  $x$  и  $y$  пространственной плоскости.

- Сегментация на основе кластеризации.

Современные процедуры сегментации, которые зависят от методов обработки изображений, обычно используют алгоритмы кластеризации для сегментации.

Алгоритмы кластеризации работают лучше, чем их аналоги, и могут предоставлять достаточно качественные сегменты за небольшой промежуток времени. Популярными алгоритмами, такими как алгоритмы кластеризации  $K$ -средних, являются неконтролируемые алгоритмы, которые работают путем кластеризации пикселей с общими атрибутами вместе как принадлежащих определенному сегменту.

Кластеризация  $K$ -средних, в частности, учитывает все пиксели и группирует их в  $k$  классы. В отличие от методов наращивания регионов, методы на основе кластеризации не требуют исходной точки для начала сегментации [8].

### **Методы, основанные на глубоком обучении**

В настоящее время наилучшие результаты в области сегментации изображений показывают методы, основанные на машинном обучении.

В общем случае модели сегментации предоставляют карты сегментов в качестве выходных данных, соответствующие входным данным.

Эти карты сегментов часто являются  $n$ -канальными, где  $n$  – это количество классов, которые модель должна сегментировать. Каждый из этих  $n$ -каналов является бинарным по своей природе, при этом местоположения объектов «заполнены» единицами, а пустые области состоят из нулей (рис. 3) [9]. На рис. 3 показана сегментация изображения.

Нейронные сети, выполняющие сегментацию, обычно используют структуру кодировщик-декодировщик, в которой за кодировщиком следует узкое место, а декодировщик или уровни повышения дискретизации следуют непосредственно после узкого места (рис. 4).

Архитектуры кодировщик-декодировщик для семантической сегментации стали популярными с появлением такой архитектуры, как *SegNet* в 2015 г. [10].

*SegNet* предлагает использовать комбинацию блоков свертки и понижающей дискретизации, чтобы сформировать представление входных данных. Затем декодировщик реконструирует входную информацию, чтобы сформировать карту сегментов, выделяющую регионы на входе и группирующие их по классам.

Наконец, декодировщик имеет сигмовидную функцию активации в конце, которая сжимает выходные значения в диапазоне (0,1). На рис. 4 показана архитектура кодировщик-декодировщик.

*SegNet* сопровождался выпуском еще одной независимой работы по сегментации в то же время, *U-Net* [11], которая впервые использовала пропускные соединения в глубоком обучении как решение проблемы потери информации, наблюдаемой в слоях понижения дискретизации типичных сетей кодировщик-декодировщик.

Пропускные соединения (*Skip Connections*) – это соединения, которые идут от кодировщика напрямую к декодировщику, минуя узкое место [12].

## An overview of Semantic Image Segmentation

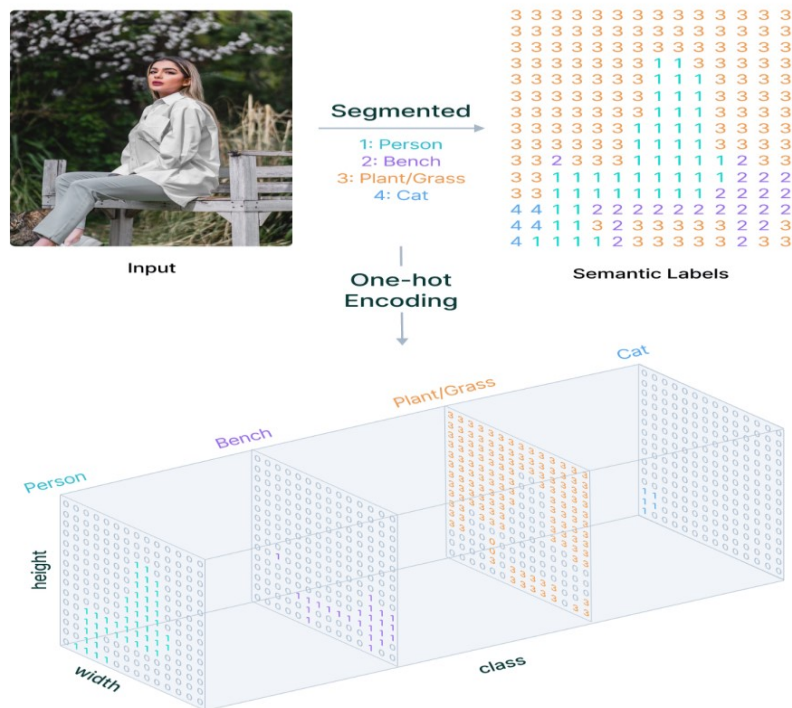


Рисунок 3

## Convolutional encoder-decoder

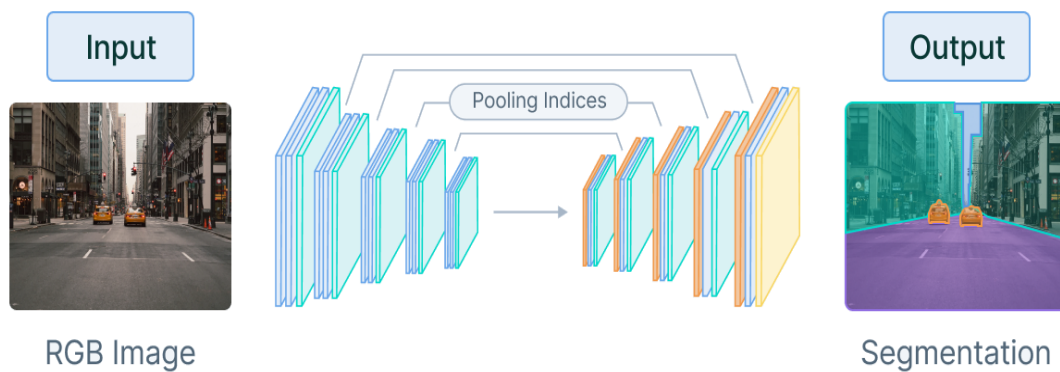


Рисунок 4

Другими словами, карты признаков на различных уровнях закодированных представлений фиксируются и объединяются в карты признаков в декодере. Это помогает уменьшить потерю данных за счет агрессивного объединения и

понижения частоты дискретизации, как это делается в блоках кодировщика архитектуры кодер-декодер.

*Skip Connections* пользуется большим успехом, особенно в области медицинской визуализации, поскольку *U-Net* предоставила самые современные результаты в области сегментации клеток для диагностики заболеваний (рис. 5). На рис. 5 изображена архитектура *U-Net*.

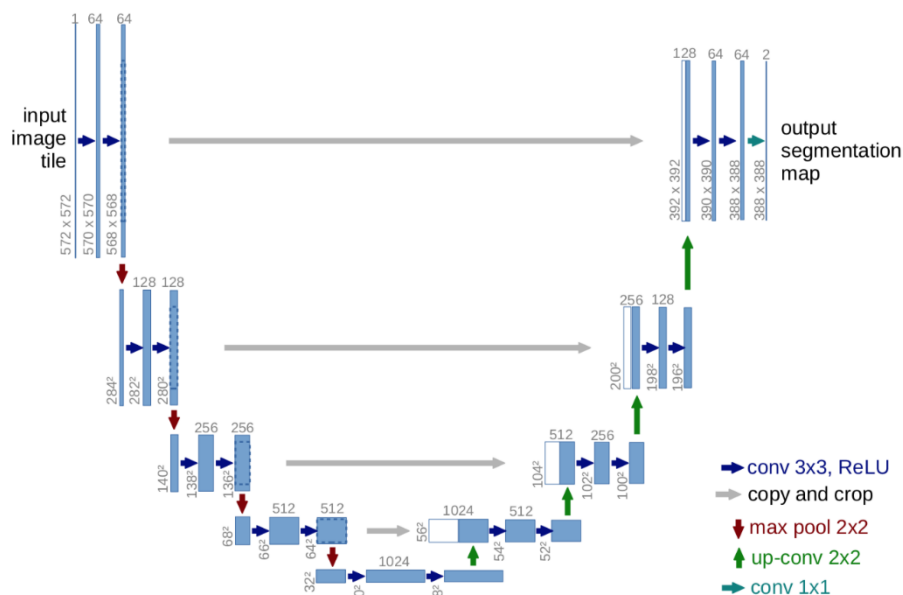


Рисунок 5

Вслед за *U-Net* вехой появилась архитектура *DeepLab*, предоставившая самые современные результаты по семантической сегментации. [13]

*DeepLab* использует сложные свертки, заменив простые операции объединения и предотвратив значительную потерю информации при даунсемплинге. Кроме того, реализовано многомасштабное извлечение признаков с помощью *Atrous Spatial Pyramid Pooling*, что помогает обнаруживать сегмент независимо от его размера [14].

Чтобы восстановить информацию о границах, одну из наиболее важных частей семантической сегментации, а также сегментации экземпляров, используется полностью связанные условные случайные поля (*CRF*).

Сочетание высокой точности локализации *CRF* и способности распознавания сверточных нейронных сетей (*CNN*) привело к тому, что *DeepLab* предоставляет высокоточные карты сегментов, значительно превосходящие по точности такие методы, как *FCN* [15] и *SegNet*.

## Литература

1. URL [https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Сегментация\\_изображений](https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Сегментация_изображений) (дата обращения – март 2022 г.).
2. URL <https://habr.com/ru/company/samsung/blog/508342/> (дата обращения – март 2022 г.).
3. URL <https://vc.ru/ml/166105-kompyuternoe-zrenie-zadachi-oblasti-primeneniya-perspektivy> (дата обращения – март 2022 г.).
4. Исрафилов Х.С., Исследование методов бинаризации изображений, 2017. – С. 8.



5. URL <http://home.iitj.ac.in/~manpreet.bedi/btp/documents/sar.pdf> (дата обращения – март 2022 г.).
6. URL [https://ru.bmstu.wiki/Пороговые\\_методы\\_\(Сегментация\)](https://ru.bmstu.wiki/Пороговые_методы_(Сегментация)) (дата обращения – март 2022 г.).
7. URL [https://ru.bmstu.wiki/Метод\\_водоразделов\\_\(Сегментация\)](https://ru.bmstu.wiki/Метод_водоразделов_(Сегментация)) (дата обращения – март 2022 г.).
8. URL <https://towardsdatascience.com/understanding-k-means-clustering-in-machine-learning-6a6e67336aa1> (дата обращения – март 2022 г.).
9. URL <https://www.v7labs.com/blog/image-segmentation-guide> (дата обращения – март 2022 г.).
10. Vijay Badrinarayanan, Alex Kendall, SegNet: A Deep Convolutional Encoder-Decoder Architecture for Image Segmentation, 2016. – С 14.
11. Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation, 2015. – С. 8.
12. URL <https://ichi.pro/ru/obzor-u-net-resnet-vaznost-soedinenij-s-dlinnym-i-korotkim-propuskom-segmentacia-biomedicinskih-izobrazenij-225122864725827> (дата обращения – март 2022 г.).
13. Liang-Chieh Chen, George Papandreou, DeepLab: Semantic Image Segmentation with Deep Convolutional Nets, Atrous Convolution, and Fully Connected CRFs, 2017. – С. 14.
14. XuhangLiana, YanweiPang, Cascaded hierarchical atrous spatial pyramid pooling module for semantic segmentation, 2020.
15. Jonathan Long, Evan Shelhamer, Fully Convolutional Networks for Semantic, 2015. – С. 10.

## **АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА ОБЛАЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ**

*А.И. Воронцов, Московский финансово-промышленный университет «Синергия»,  
160297@mail.ru;*

*А.А. Бусенков, Национальный исследовательский университет «Высшая школа  
экономики», albus.rank@yandex.ru;*

*О.Д. Куприков, Московский технический университет связи и информатики,  
kod808@yandex.ru.*

### **УДК 004.77:658**

**Аннотация.** Поскольку в последние годы облачные вычисления набирают обороты, с их развитием растет потребность в инструментах управления и цифрового мониторинга облачной инфраструктурой. Эти инструменты помогают эффективно управлять частными, общедоступными и гибридными облачными средами. Программные средства помогают облегчить доступ к программным и аппаратным ресурсам, вычислительной мощности и доступу к хранилищам. Инструменты управления и мониторинга позволяют оперировать мультиоблачной платформой из одного места. Большинство организаций выбирают платформу управления облаками для оптимизации использования облаков и управления общими затратами на них. Все доступные инструменты облачного мониторинга помогают в сборе данных, но используют разные подходы, предоставляя разные

функциональные возможности и имея разную ценовую политику. В статье проведен анализ данных инструментов для выявления их плюсов и минусов.

**Ключевые слова:** управление; облако; инструмент; мониторинг; платформа; среда; вычисление; затрата; оптимизация.

## ANALYSIS OF VARIOUS CLOUD INFRASTRUCTURE MANAGEMENT AND MONITORING TOOLS

*Anton Vorontsov, Moscow Financial and Industrial University «Synergy»;*

*Alexey Busenkov, Higher school of Economics national research University;*

*Oleg Kuprikov, Moscow Technical University of Communications and Informatics.*

**Annotation.** Since cloud computing has been gaining momentum in recent years, therefore, with their development, the need for management tools and digital monitoring of cloud infrastructure is growing. These tools help you effectively manage private, public, and hybrid cloud environments. Software tools help to facilitate access to software and hardware resources, computing power and access to storage. Management and monitoring tools allow you to operate a multi-cloud platform from one place. Most organizations choose a cloud management platform to optimize the use of clouds and manage their overall costs. All available cloud monitoring tools help in data collection, but they use different approaches, providing different functionality and having different pricing policies, this article will analyze these tools to identify their pros and cons.

**Keywords:** management; cloud; tool; monitoring; platform; environment; calculation; cost; optimization.

---

### Введение

Цифровизация затронула все направления, а не только те, которые и раньше использовали цифровые технологии [1].

Облака и облачные вычисления уже давно фигурируют в статьях о развитии бизнеса и ИТ-инфраструктуры, считаясь закономерным развитием технологий и интернета. Все крупные города обеспечены широкополосным скоростным интернет-соединением. Вариант перевода своих серверов в облачное пространство вместо их содержания может являться для бизнеса грамотным шагом сократить свои расходы [2].

Также существует несколько этапов скачивания файлов из облачного хранилища:

- 1) проверка условия наличия ключа для дешифрования файлов;
- 2) загрузка окна выбора файла в облачном хранилище для дешифрования;
- 3) скачивание зашифрованного файла из облачного хранилища;
- 4) дешифрование файла;
- 5) завершение работы модуля скачивания и дешифрования [3].

В настоящее время на рынке существует целый ряд инструментов управления и мониторинга облачной инфраструктурой, которые могут помочь пользователям в управлении и мониторинге облачных приложений. Инструменты очень отличаются друг от друга функционалом и возможностями. Таким образом, нелегко выбрать тот, который может оказаться наилучшим для конкретного пользователя.

### **RackWare**

*RackWare* – один из лучших инструментов управления облачной инфраструктурой. Он предлагает гибридную платформу управления облаком, которая обеспечивает гибкость для ИТ-пользователей различных предприятий. Мобильность и эластичность являются двумя основными компонентами *RackWare*. Платформа *RackWare* специально разработана для управления рабочими нагрузками сложных приложений и автоматизации движений. Он эффективен в снижении стоимости ИТ-решений, а также в сокращении расходов на облако. Это полезный инструмент для облачной миграции, аварийного восстановления и других компьютерных операций в физической и виртуальной облачной среде.

### **Apptio**

*Apptio* – еще один инструмент управления облаком, который помогает оптимизировать расходы облачной среды. Благодаря использованию нескольких инструментов *software-as-a-service (SaaS)*, *Apptio* предоставляет доступ ко многим инструментальным панелям и инструментам. Это помогает в мониторинге различных ИТ-ресурсов в сложной облачной среде. *Apptio* предоставляет информацию о поставщиках, управление облачными затратами и управление ИТ-финансами. *Apptio* – это инструмент, специализирующийся на технологиях управления бизнесом.

### **Snow Software**

*Snow Software* является одним из популярных инструментов управления облаком, который помогает эффективно управлять облачными ресурсами. Программная платформа широко используется организациями и предлагает вариант «*snow for cloud resource*» для эффективного управления. Инструмент управления предлагает решение для отслеживания потребления, обнаружения облака и инвентаризации. *Snow Software* предлагает подробную информацию о приложениях *SaaS* и ресурсах *IaaS*. Программное обеспечение также предоставляет ИТ-специалистам возможность просматривать как локальные, так и облачные ресурсы в одном месте.

### **IBM Cloud Orchestrator**

*IBM Cloud Orchestrator* обеспечивает управление для частных, общедоступных и облачных сред. Платформа позволяет предоставлять, настраивать, интегрировать, а также добавлять управление службами. Использование инструментов, основанное на стратегических решениях, помогает автоматизировать предоставление облачных служб.

Платформа управления облаком сокращает время предоставления, а также увеличивает и ускоряет предоставление услуг. Платформа предлагает интерфейс самообслуживания для мониторинга, управления и защиты облачных сред в течении нескольких минут. Это обеспечивает автоматизацию рабочих нагрузок, настраиваемых вручную, то есть подверженных ошибкам. Настраиваемые и расширенные функциональные возможности помогают упростить управление облачными службами.

### **OneOps**

*OneOps* – это платформа управления облаками с открытым исходным кодом. Он был выпущен в 2016 г. розничным гигантом США *Walmart* для общего управления облака. Он может эффективно функционировать во всех популярных

опциях публичного облака. Платформа позволяет пользователям просматривать все приложения в облачных средах. Это помогает осуществлять мониторинг, ремонт, а также масштабирование различных сетей. *OneOps* также позволяет перемещать приложения из одной облачной среды в другую для повышения производительности или сокращения затрат.

### **Metriqly**

*Metriqly* является одним из лучших инструментов управления облаком для сокращения затрат. Это помогает организациям контролировать использование облаков и интегрировать инфраструктуру и приложения. Это также помогает в мониторинге общих расходов публичного облака. Платформа предлагает отличные вебинары, учебные пособия и онлайн-поддержку для расширенного управления облаком.

*Metriqly* является одним из инструментов управления облаком, которые идеально подходят для современного бизнеса. Гибкая панель мониторинга *Metriqly* позволяет пользователям добавлять определенный мониторинг по своему выбору. Он предлагает три плана, которые включают мониторинг машинного обучения, оптимизацию затрат *AWS*, а также комплекс затрат и мониторинга. План мониторинга машинного обучения помогает выявить аномалии среды публичного облака.

### **DataDog**

*DataDog* – один из лучших инструментов управления облаком, который предлагает услуги мониторинга для управления затратами на облако, а также использование облака.

Он идеально подходит для использования в гибридных облачных средах. Программное обеспечение для управления облаком способно собирать показатели из более чем 200 компаний. Платформа позволяет легко создавать читаемые данные для хранения и использования в облаке. Простая панель данных *DataDog* помогает отображать точные данные в реальном времени. Простое перетаскивание необходимых показателей помогает пользователям отслеживать все, что они хотят.

### **DivvyCloud**

*DivvyCloud* – это один из инструментов управления облаком, который фокусируется на совместимости, безопасности и управлении облаком. Интеллектуальные системы платформы помогают в реальном времени получать информацию о развёртывании облачных сред и предлагают пользователям программные средства управления для принятия мер. *DivvyCloud* предлагает пользователям возможность работать с крупными облачными провайдерами, такими как *Google*, *AWS* и *Azure*. Платформы обеспечивают анализ расходов на облачные вычисления и применяют стратегические решения для управления облачными расходами. Это обеспечивает оптимальное соответствие всем облачным стандартам и правилам.

### **HP Helion Cloud Suite**

*HP Helion Cloud Suite* – это еще одна платформа управления облаком с открытым исходным кодом, которая предлагает управление службами, размещенными в публичном, частном и управляемом облаке. Это помогает сократить затраты и упростить работу всей инфраструктуры. Централизованная

панель мониторинга *HP Helion Cloud Suite* помогает контролировать ресурсы различных бизнес-инфраструктур в рамках всей организации.

Платформа обеспечивает повышение производительности, соответствие нормативам, доступность и защиту данных для предприятий. *HPE Helion* может работать как на мультиоблачной платформе, так и на гибридной облачной платформе. Он также помогает автоматизировать выполнение задач вручную, управлять производительностью, повышать эффективность, модернизировать предоставление *IT*-услуг и повышать безопасность.

### **VMC**

*VMC* – это широко известный лучший инструмент управления облаком для сокращения затрат. «*Truesight capacity optimization*» – это облачная служба управления затратами, которая помогает обеспечить оптимизацию и эффективность затрат. Он предлагает более быстрые *IT*-услуги и надежные облачные услуги. Это один из инструментов управления облаком, который обеспечивает лучший контроль и обзор для пользователей, чтобы оптимизировать использование ресурсов, повышать производительность и сокращать расходы. Панель инструментов программного обеспечения *VMC* предлагает отчет, который помогает пользователям отслеживать транзакции и расходы.

Благодаря всемирному признанию, этот сертифицированный профессионал в области облачных вычислений всегда выделяется из общей массы.

### **Cisco CloudCenter**

*Cisco CloudCenter* является одной из лучших программ для управления облаком. Это инструмент управления несколькими облаками, который помогает в управлении несколькими центрами обработки данных, как в общедоступных, так и в частных облачных средах. Использование *Cisco CloudCenter* помогает пользователям выбирать наиболее подходящую облачную среду в зависимости от производительности и цены инструментов.

### **Cloudyn**

*Cloudyn* – один из широко используемых инструментов оптимизации облачных вычислений. Программное обеспечение *Cloudyn* помогает в мониторинге различных облачных ресурсов и предлагает практические рекомендации по оптимизации использования облачных сред. Предлагает решение для оптимизации и мониторинга нескольких облаков. Это один из инструментов управления облаком, который поддерживает *Google*, *Azure* и *AWS Cloud*, обеспечивая полную подотчетность и полную видимость. Программная платформа также предлагает облачные тренды для пользователей, чтобы помочь бизнес-организациям не платить больше. Вся необходимая информация пользователей доступна через оповещения по электронной почте и панель инструментов *Cloudyn*.

### **Cloudability**

*Cloudability* является одной из лучших программ для управления облаком. Программное обеспечение предлагает управление затратами облачных вычислений на основе данных. Оно использует подробные показатели и предлагает бизнес-организациям информацию об их расходах в облаке. Программное обеспечение помогает в мониторинге использования бизнеса в облаке. Оно использует подробные показатели и предоставляет бизнес-организациям информацию о расходах на облако. Программное обеспечение также предлагает

ежедневные отчеты по электронной почте, чтобы помочь бизнес-организациям получать информацию о своих расходах в облаке.

### **HPE Hybrid Cloud Management**

Гибридное облачное управление *HPE* является одним из популярных инструментов оптимизации облачных вычислений. Инструмент предлагает решения для управления, основанные на разделениях, для сред с несколькими облаками и гибридных облачных сред. Инструменты помогают повысить быстродействие и эффективность, а также помогают повысить гибкость ИТ. Инструмент управления облаком позволяет пользователям повысить окупаемость инвестиций за счет надлежащего управления.

### **Cloud Management Suite**

Известно, что пакет управления облаком предлагает расширенное и прогнозируемое управление *IT*-ресурсами внутри и за пределами вашей сети. Вы можете получить к нему доступ и использовать его через веб-браузер, поэтому нет необходимости его скачивать. Его управление исправлениями позволяет поддерживать актуальность настольных компьютеров, ноутбуков и удаленных пользователей и управлять ими с помощью последних обновлений в *Microsoft*, а также программного обеспечения сторонних производителей. Пакет облачного управления обеспечивает более высокую безопасность, благодаря двухфакторной аутентификации [3].

### **Mango Office**

*Mango Office* – это набор облачных инструментов, для работы с клиентами, который применяют *Call*-центры. В настоящее время он включает в себя виртуальную *ATC*, *CRM*-систему и центр обработки вызовов. Виртуальная *ATC* – это удобный телефон для бизнеса, который не требует проводных стационарных офисных *ATC* [4].

### **Заключение**

Индустрия облачных вычислений быстро растет и развивается со временем, давая большое преимущество бизнесу [2]. Инструменты управления и мониторинга облачной инфраструктурой помогают в мониторинге различных приложений в облачной среде и обеспечивают оптимизацию и повышение производительности. Автоматизация и управление повторяющимися ручными задачами – это еще одна особенность инструментов управления. Эти инструменты также позволяют легко настраивать и предоставляют пользователям гибкие возможности для эффективного управления. Управление затратами является важным аспектом облачных платформ управления.

Оптимизация облака является конечной целью платформы его управления. С помощью облачных инструментов управления должны увеличиться производительность и эффективность работы организаций. Таким образом, чтобы иметь успешную карьеру в качестве профессионала в сфере облачных вычислений, важно знать об инструментах управления облаком, их плюсах и минусах. Также специалистам в данной области необходимо пройти облачную сертификацию и ознакомиться с учебными курсами по сертификации облачных вычислений.

## Литература

1. Зюзин В.Д. Технологии в современном маркетинге // Научный электронный журнал Меридиан, 2020. – № 11 (45). – С. 66-68.
2. Зюзин В.Д. Облачные технологии с точки зрения бизнеса // Научный электронный журнал Меридиан, 2020. – № 5 (39). – С. 30-32.
3. Бусенков А.А., Багажков Д.И. Разработка алгоритма и программная реализация средства защиты персональных данных в облачных хранилищах // Инновации и инвестиции, 2021. – № 12. – С. 264-271.
4. Иванова О.В., Иванов П.В., Зюзин В.Д. Анализ бизнес-инструментов для оптимизации процессов учета обращений клиентов. Труды международной научно-технической конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы 2020». 2020. Секция «Связь и бизнес». – С. 695-701.
5. Курбанов З.М. Облачные технологии: обзор и применение // Вестник науки и образования, 2019. – № 4-1 (58). – С. 55-60.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛА ОТКРЫТЫХ ПРОГРАММНЫХ ДАННЫХ (ODA) СТАНДАРТА RDS

**В.В. Мошков**, НОЦ «ТИОС» Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [setvit97@mail.ru](mailto:setvit97@mail.ru).

### УДК 621.396.1

**Аннотация.** Многоцелевой стандарт, предназначенный для передачи информационных сообщений (*Radio Data System, RDS*), был принят в 1990 г. и закрепился в странах, использующих *FM*-радиовещание в качестве стандарта, позволяющего передавать текстовые данные параллельно с основным сигналом *FM*-вещания. Не смотря на определившийся функционал, стандарт продолжает развиваться и использоваться не только по своему основному направлению. В рамках статьи рассмотрено использование функционала открытых программных данных (*Open Data Applications, ODA*), позволяющих передавать данные, заранее не определённые стандартом, в числе доступных функций стандарта *RDS*. Эти функции открывают возможность использования потенциала существующей инфраструктуры радиовещания для применения в качестве системы оповещения о чрезвычайных ситуациях, составной части систем «умного города», составной части навигационной системы и тд.

**Ключевые слова:** радиосвязь; *FM*; *FM*-радиовещание; *RDS*; *ODA*; умный город.

## RESEARCH OF THE USE OF THE OPEN PROGRAM DATA (ODA) FUNCTIONAL OF THE RDS STANDARD

**V. Moshkov**, REC «TIOS» St. Petersburg state university of telecommunications prof. M.A. Bonch-Bruevich.

**Annotation.** A multi-purpose standard designed for the transmission of information messages (*Radio Data System, RDS*) was adopted in 1990 and has become entrenched in countries using *FM* radio broadcasting as a standard that allows text data to be transmitted in parallel with the main *FM* broadcast signal. Despite the defined

functional the standard continues to develop and be used not only in its main direction. So, within the framework of the article the use of the functional of Open Data Applications (*ODA*) will be considered, which allows transmitting data not previously defined by the standard among the available functions of the *RDS* standard. These functions open up the possibility of using the potential of the existing broadcasting infrastructure for use as an emergency notification system, an integral part of smart city systems, an integral part of a navigation system, etc.

**Keywords:** radio communication; *FM*; *FM*-broadcasting; *RDS*; *ODA*; smart city.

## Введение

Стандарт *RDS* (*Radio Data System*) – это многоцелевой стандарт, предназначенный для передачи информационных сообщений по каналам ЧМ-радиовещания в диапазоне УКВ. Нашёл наиболее широкое применение в автомобильных магнитолах/радиоприёмниках для отображения на их дисплеях сопутствующей радиопередачам информации, передаваемой радиостанциями. В начале 1990-х Европейский вещательный союз принял рекомендацию о системе передачи данных *RDS* радиовещательными станциями, работающими в диапазоне *FM* (65-108 МГц). Таким образом, первая версия стандарта *EN 50067* была опубликована Европейским комитетом электротехнической стандартизации в 1990 г. [1].

*RDS* является усовершенствованной версией информационной радиослужбы для водителей – *ARI* (нем. *Autofahrer Rundfunk Information*). Канал *RDS* является цифровым, данные передаются на поднесущей 57 кГц, являющейся гармоникой пилот-сигнала (19 кГц). Так как радиоданные передаются в цифровом формате, канал *RDS* занимает узкую полосу (4,8 кГц) в сравнении с другими составляющими *FM*-сигнала (рис. 1). На рис. 1 представлена структура *FM* сигнала.

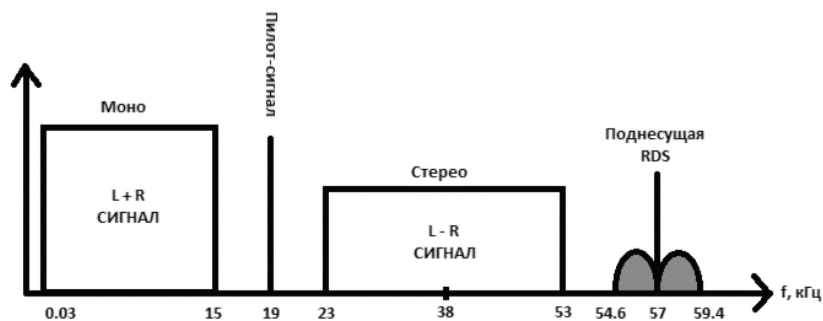


Рисунок 1

Стандарт *RDS* дает вещателям выбор, какие виды информации из полного перечня возможных передавать в эфир, а какие нет. Например, радиостанция может передавать дату и время для автоматической настройки часов на радиоприемниках или не использовать эту функцию. Для того, чтобы уместить разные виды информации в групповой структуре данных *RDS*, в стандарте вводятся разные типы групп. Всего существует 16 различных типов групп. Дополнительно каждая группа может иметь версию А или В. Таким образом, всего доступно 32 комбинации из типа и версии группы, имеющие нумерацию от 0 до 15, т.е. группы 0А, 0В, 1А, 1В, 2А, ..., 15А, 15В, каждая из которых зарезервирована для передачи определенных видов информации. Например, группа 4А передает данные о дате и времени, а группа 8А – данные о дорожной обстановке для автомобильных навигаторов [2].



Полный перечень видов передаваемой информации для всех групп приведен в табл. 3 стандарта [3].

Одной из указанных групп, позволяющих передавать данные, является функция *ODA* (*Open Data Applications*), позволяющая программам данных, заранее не определённых стандартом, передаваться в числе названных групп при передаче сигнала *RDS*. Изначально, формат *ODA* был заложен в стандарте в качестве функции, позволяющей гибко расширять *RDS* для еще не определенных приложений.

В последней итерации стандарта *RDS* [3] сделан особый акцент на расширении объёма передачи данных для использования *ODA*. Считается, что *ODA* позволит разрабатывать и внедрять новые приложения в все еще доступные группы данных с регистрацией идентификации приложения (*AID*) и использованием службы регистрации *ODA* на форуме *RDS* или *NAB* [4]. Более подробно опции использования *ODA* будут рассмотрены в следующем разделе «Исследование функции *ODA* стандарта *RDS*». Используя предпочтительно дополнительные верхние поднесущие для *RDS*, функция *ODA* предлагает множество вариантов разработки, позволяющих передавать больше метаданных и изображений для улучшения восприятия слушателем *FM*-приемников, например, с использованием графического дисплея. Обращает на себя внимание тот факт, что пропускная способность передачи данных *RDS* довольно ограничена, особенно на базовой поднесущей в 57 кГц. На каждой из поднесущих система может разместить только 11,4 групп данных в секунду. На базовой поднесущей 57 кГц это соответствует только 673 используемым информационным битам в секунду. При этом учитывается, что каждое информационное слово содержит 16 битов на блок и что группа данных имеет пять адресных битов, которые используются для идентификации типа группы. С *RDS2*, являющимся продолжением стандарта *RDS*, на верхних поднесущих имеется больше доступной емкости данных, поскольку те функции *RDS*, которые используются для автоматической настройки, используются только на базовой поднесущей.

Таким образом, для любой услуги может существовать несколько различных приложений данных, используемых в *ODA*, в зависимости от доступной пропускной способности. *ODA* могут передаваться постоянно или только при необходимости (например, приложение, которое обеспечивает оповещение в случае экстремальных погодных условий и т.д.). На базовой поднесущей 57 кГц выделенная группа обозначается использованием группы типа 3A, которая используется для передачи приемнику 16-битного идентификационного кода приложения данных *AID* в соответствии с регистрационными данными в *Open Data Applications Directory*, как и указано в стандарте *RDS IEC 62106-3* [5].

### **Исследование функции *ODA* стандарта *RDS***

В 1993 г. был основан *RDS Forum*, который главным образом осуществляет задачи контактной сети для обмена опытом в отношении использования и правильного внедрения технологии *RDS*. С 1999 г. *RDS Forum* имеет прямой контакт с Международной организацией по стандартизации и в том числе выполняет функции не только поддержания работы системы *RDS* в соответствии с первоначальным замыслом, но и ее модернизацию, сохранение полной обратной совместимости с очень большим количеством существующих приемников *RDS*, чтобы обеспечить новые функциональные возможности, доступные для реализации в новых поколениях приемников *RDS*. Функционирование форума продолжается и по сей день, и одной из функций, которую выполняет данный

форум является регистрацией различных приложений данных, передаваемых по группе *ODA*. Согласно последнему документу [6] были зарегистрированы 68 вариаций приложений данных, передаваемых по *ODA* (54 на Европейской территории и 14 на территории США).

В ходе исследовательской работы был произведён поиск информации и функционала всех зарегистрированных приложений. Далее будет представлен аналитический обзор основных приложений. Формат обзора приложений, о которых имеется информация будет выполнен в следующем виде: название приложения (*Application Name*); дата регистрации приложения; параметры *ODA* (*ODA groups, AID, Groupe Type*).

Рассмотрим основные зарегистрированные приложения:

1) *RASANT*; 1998-01-20; параметры *ODA*: 1.5, 1, A.

*Radio Aided Satellite Navigation Technique (RASaNT)* – технология спутниковой навигации с поддержкой радио. Альтернативный вариант навигационной системы конца 1990-х гг. [7]. Обеспечивает работу службы *GPS* в режиме реального времени, используя *RDS* в качестве дополнительного канала передачи данных.

Принцип работы *RASaNT* заключается в следующем: работа *GPS* в реальном времени основана на базовой станции *GPS* (рис. 2). Приемник *GPS*, размещенный в определённом месте, способен вычислять расстояния до различных спутников и сравнивать их с измеренными расстояниями. Вычисленные различия указывают на поправки дальности действия (*PRCs, Pseudo Range Corrections*). Эти различия и другая дополнительная информация определяются непрерывно и сохраняются в сообщениях *RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services)*. Технология *RASaNT* позволяет обрабатывать и передавать полный спектр сообщений через *ODA RDS* (рис. 3). На опорной станции определяются стандартизированные сообщения *RTCM*, сохраняющие эту информацию в виде обозначенных данных. Далее данные передаются циклически с помощью *RDS*, и приёмник выделяет из всего потока данных *RDS* необходимую информацию, которая передается на интерфейс *GPS*-приемника, после чего происходит последующая коррекция месторасположения. На рис. 2 показан принцип работы системы *RASaNT*.

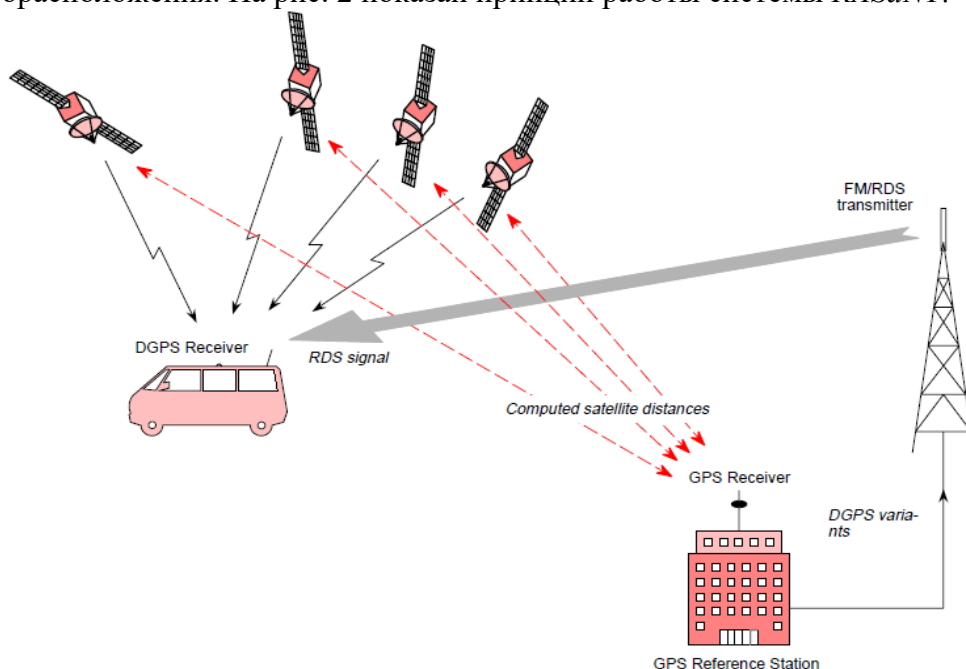


Рисунок 2

На рис. 3 представлены виды сообщений, передаваемых через *ODA*.

Message type	Function
Type 1	Differential GPS corrections
Type 2	Delta differential GPS corrections
Type 3	Reference Station parameters
Type 5	Constellation health
Type 6	Null frame
Type 7	Beacon almanacs
Type 9	Partial satellite set differential corrections
Type 16	Special message

Рисунок 3

2) *Cross referencing DAB within RDS; 1998-12-07; параметры ODA: 2, 2, A.*

В данном приложении выполнена реализация функционала, позволяющего при помощи *RDS* переключать приём между двумя стандартами *DAB* и *FM* в зависимости от качества принимаемого сигнала. Поскольку *DAB* обеспечивает лучшее качество звука, он является предпочтительным выбором для прослушивания там, где это возможно. Функция перекрестной ссылки *DAB* определяет, как передавать частоты *DAB* в формате *RDS*, чтобы обеспечить быстрый и эффективный способ для комбинированного приемника *RDS/DAB* и получить доступ к альтернативным источникам программ при передаче *DAB*. При реализации данного приложения используется группа *RDS* типа А в 37 бит. Один бит используется для флага *E/S* для определения данных, остальные 36 бит используются для указания частот, режимов или оказываемых услуг (*PTY, LSN* и т.д.). Данная информация позволяет тюнеру определять расположение *DAB*, текущую службу *RDS* на *DAB*, список других служб *DAB* [8].

3) *RadioText+ / RT+; 2005-01-07; параметры ODA: 0.2, 6, A.*

*RT+* был разработан для того, чтобы позволять пользователю получать дополнительные преимущества от службы радиотекста *RDS*. Данная функция позволяет приемникам *FM/RDS* определять радиотекст – распознавать обозначенные объекты, делать эти объекты управляемыми пользователем и, таким образом, предлагать пользователю прямой доступ к определенным элементам текста сообщения. Таким элементом могут, например, быть связанные с программой метаданные, такие как название и исполнитель воспроизводимой в данный момент песни, или это могут быть заголовки новостей. Данная функция предоставляет пользователю дополнительную информацию при прослушивании аналогового *FM*-радио. Элементы также могут содержать дополнительные служебные сообщения или информацию о радиостанции, такую как номер телефона, веб-адрес и др. [9].

4) *Enhanced early warning system; 2007-01-19; параметры ODA: 2, 2-60, A.*

Многоцелевая система раннего предупреждения *FM-RDS* была разработана немецкой компанией *2WCOM*. Система была внедрена в Индонезии в 2008 г. в качестве составной части предупреждающей системы возникновения цунами. В качестве приемных устройств выступают бытовые радиоприёмники и все доступные радиоприёмники с функцией *RDS*. Данные приёмники, в случае получения определённого вида сигнала (указанного в *ODA*), переключаются на необходимый канал и находятся в режиме ожидания. Тот же принцип используется

в автомобильных радиоприемниках, когда они получают сигнал трафика для переключения на определённую программу. В случае предупреждения, инициированного системой *BMG* (название системы оповещения), транслируется сигнал тревоги, после чего обычная программа прерывается. На дисплее приемника отображается текстовая информация в режиме реального времени. На рис. 4 показана структура работы системы оповещения *BMG*.

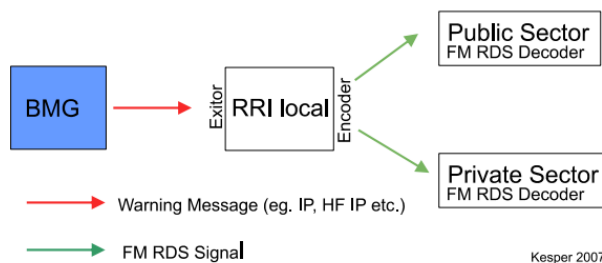


Рисунок 4

На рис. 5 представлен обзор того, как работает технология оповещения по каналу *ODA RDS*. После отправки раннего предупреждения, например, по *IP*, оно будет получено в местном распределительном центре, закодированном в формате *FM-RDS* и затем передано дальше. После приема сообщение может отображаться на различных носителях – от электронных вывесок до автомобильных радиоприемников [10].

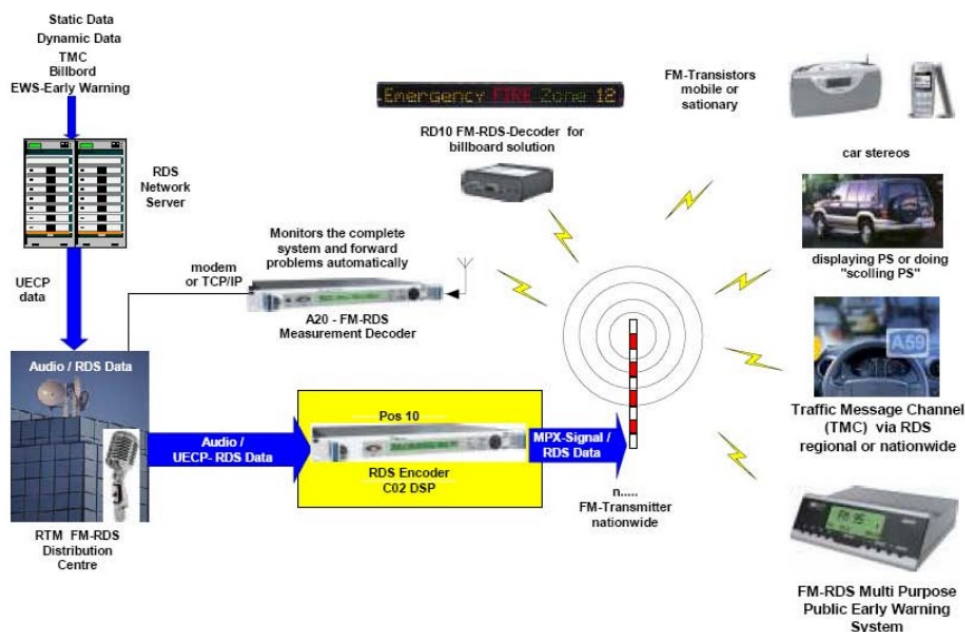


Рисунок 5

5) *Hybradio RDS-Net*; 2014-09-22; параметры *ODA*: 3, 6, А.

Идея проекта заключалась в реализации интерактивного визуального радио. Среди возможных вариантов обсуждались такие функции как: включение предыдущей программы, следующей программы и *EPG*, информация о погоде, дорожном движении и информация о чрезвычайных событиях. Комбинация этих метаданных, полученных через интернет и обработанных приемником, представляла собой формат гибридного радио. Главная идея заключалась в том,

чтобы получить соглашение об открытом *API*, по крайней мере, для наиболее используемой операционной системы (*Android*), а затем распространить эту концепцию на другие важные операционные системы. Однако, концепция не получила поддержку, в данный момент не используется [11].

6) *RDS-Light*; 2016-12-03; параметры *ODA*: 0.6, 2, A.

Система реализации городского освещения. Проект реализован в формате умного города по структуре «один-ко-всем». Через *RDS* на разработанные блоки *RDS-LIGHT* подаётся команда по каналу *ODA*. Решение для удаленного управления общественным освещением позволяет, помимо снижения счета за электроэнергию, упрощать эксплуатацию установки и улучшает обслуживание. Все команды на разработанные блоки подаются посредством существующей радиосети по каналам *RDS*, а в обратном направлении данные передаются посредством стандарта *LoRa* (рис. 6) [12].

На рис. 6 представлена структура работы городского освещения на базе блоков *RDS-LIGHT*.

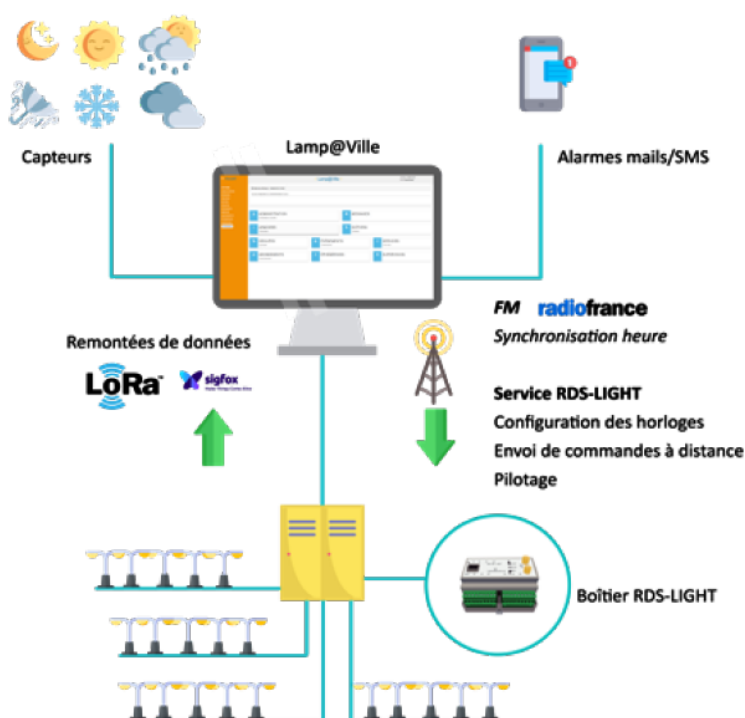


Рисунок 6

7) *RFT/RFT+*: *Station logo*; 2019-05-20; *open, open, C*.

Реализация формата передачи изображения и/или слайд-шоу через канал *ODA RDS2*. Аналогичным образом данная функция реализована в стандартах цифрового радио *DAB* и *DRM*. Компании *Radio France* и *Cameon* продемонстрировали в Нанте (Франция) реализацию спецификации передачи файлов *RFT*. Они использовали кодер *RDS2* от *Worldcast Systems*. В ходе демонстрации была представлена передача обложки музыки и логотипа станции с использованием файлов размером до 20 КБ. Время, необходимое для приема файлов, было примерно в два раза больше по сравнению с *DAB*, но все же приемлемо для улучшения прослушивания *FM*-радио (рис. 7) [13]. Также, демонстрация передачи слайд-шоу была представлена в данном видео [14]. На рис. 7 показаны работы *RFT/RFT+*.



Рисунок 7

8) *iTunes Tagging*; 2008-04-24; параметры ODA: 0.5, 8.6, A.

Технология «*iTunes Tagging*» предоставляет радиослушателям, имеющим *iPod*, способ покупки песен, которые они слышат по радио. Пометка *iTunes* основана на возможностях передачи данных системы *HD Radio*, которые позволяют вещателям отправлять уникальный цифровой идентификатор получателям вместе с каждой песней, а также информацию о названии песни и исполнителе, которую слушатели могут видеть на дисплее приемника [15].

9) *NAVTEQ Traffic Plus*; 2007-02-15; параметры ODA: occasional, 4, A.

Глобальный сервис *NAVTEQ Traffic* реализовал в 2007 г. систему, предоставляющую информацию о дорожном движении при помощи *RDS*. С 2011 г. сервис был доступен в России. *NAVTEQ* получает данные из широкого круга источников, включая одну из крупнейших мировых баз коммерческих и потребительских данных, оператора крупнейшей фиксированной сети датчиков, базу событий, составленную на основе данных, полученных от таких органов, как полиция, аварийно-спасательные службы и дорожные организации, а также миллиарды данных, собранных за предшествующие годы. Технология используется для сбора, обработки и передачи информации о движении [16].

10) *UMC - Utility Message Channel*; 2009-02-27; параметры ODA: open, open, A.

Технология *RDS-UMC (Utility Message Channel)* электронного радио предлагает проверенную платформу, позволяющую наземному *FM* вещанию играть значительную роль в повышении глобальной энергоэффективности за счет обеспечения баланса нагрузки на сеть и общей эффективности, особенно интеграции возобновляемых источников энергии. Пример развертывания технологии *RDS-UMC* в действии с несколькими состояниями и несколькими утилитами доступен здесь [17]. Данная ссылка содержит запись эфирного объявления о государственной службе (*PSA*), которое *KINK-FM* транслировало в январе 2017 г.

### Заключение

Таким образом, в ходе работы были продемонстрированы десять различных приложений данных ODA. Данные функции были отобраны таким образом, чтобы схожие функции не повторялись. Если исходить из общего списка [6], то наибольшее количество схожих функций, реализуемых через ODA, является применением *RDS* в качестве одной из составных частей системы оповещения о чрезвычайных ситуациях. Таких приложений было зарегистрировано 11 в

различных странах (Индонезия, Германия, Швеция и т.д.). Все аналогичные системы показывали свою высокую эффективность за счёт простоты работы и наличия инфраструктуры, которая используется в постоянном режиме. Часть зарегистрированных приложений имели локальный характер, были реализованы для передачи дополнительных данных при *FM*-радиовещании. Среди наиболее актуальных, стоит выделить систему городского освещения, реализованную в одном из городов Франции. Несмотря на главный недостаток передачи данных через *RDS* (малый объём передаваемых данных), реализация составной части функционала для умного города является наиболее перспективной. Передача служебных сообщений, объём данных которых значительно ниже пропускной способности, наиболее подходящее решение для *ODA*, при учёте, что инфраструктура для построения передачи информации по каналу «вниз» от условного центра к исполняемым объектам, уже существует (используется структура *FM*-радиосвязи).

### Литература

1. RDS (Radio Data System). URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Radio\\_Data\\_System](https://ru.wikipedia.org/wiki/Radio_Data_System) (дата обращения 2022-02-25).
2. Мышьянов С.В., Юраков Д.М. Анализ использования RDS функционала FM-радиостанциями Санкт-Петербурга // Актуальные проблемы радио- и кинотехнологий: материалы V Международной научно-технической конференции, посвященной 140-летию со дня рождения выдающегося физика и создателя первой русской усилительной радиолампы Н.Д. Папалекси. В 2 частях, Санкт-Петербург, 24-25 ноября 2020. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения, 2021. – С. 106-112.
3. EN 50067. Specification of the radio data system (RDS) for VHF/FM sound broadcasting in the frequency range from 87,5 to 108,0 MHz. 1998.
4. RDS Forum. URL: <https://www.rds.org.uk/2010/Overview.html> (дата обращения 2022-03-03).
5. Bakken M. An ISO/IEC 81346-inspired domain specific language to extract time series data for analytics //2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII). – IEEE, 2022. – С. 202-209.
6. Open Data Registration (Annex L of RDS Technical Specification R14/020\_2). – URL: <https://www.rds.org.uk/2010/Usage-of-ODA.htm> (дата обращения 2022-03-10).
7. Raven P. et al. RASANT Radio Aided Satellite Navigation Technique, 1996.
8. Hoeg W., Lauterbach T. (ed.). Digital audio broadcasting: principles and applications of DAB, DAB+ and DMB. – John Wiley & Sons, 2009.
9. Quelle H.C., Kusche T. RadioText Plus.
10. Kesper A. Warning dissemination technologies for tsunami early warning in local communities //German-Indonesian Cooperation for Tsunami Early Warning System, 2007.
11. RDS Forum, hybrid radio. URL: <https://www.rds.org.uk/2010/2013-Forum-Meeting.htm> (дата обращения 2022-03-22).
12. URL: [https://axis-electronique.com/wp-content/uploads/2020/12/LUX-308\\_FLASH\\_TOPLUX\\_Biyotee-quand-la-radio-e%CC%81claire-la-ville.pdf](https://axis-electronique.com/wp-content/uploads/2020/12/LUX-308_FLASH_TOPLUX_Biyotee-quand-la-radio-e%CC%81claire-la-ville.pdf) (дата обращения 2022-03-23). RDS-LIGHT.
13. RDS2 milestones. – URL: <https://www.rds.org.uk/2010/RDS2Milestones.htm> (дата обращения 2022-03-23).

14. URL: <https://www.rds.org.uk/2010/videos/RDS2%20on%20air%20with%20Euradio%20-%20v3.3.mp4> (дата обращения 2022-03-23). RDS2 milestones, VIDEO.
15. RDS Tagging. URL <https://www.nab.org/xert/scitech/pdfs/rd102008.pdf>.
16. NAVTEQ Traffic. URL: [https://static.garmincdn.com/pumac/HD\\_Traffic\\_EN.htm](https://static.garmincdn.com/pumac/HD_Traffic_EN.htm) (дата обращения 2022-03-23).
17. NAVTEQ Traffic. – URL: <http://www.kink.fm/energy> (дата обращения 2022-03-24).