

# **DSPA:**

## **Вопросы применения цифровой обработки сигналов**

**№3**

**2022**



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Абрамов В.А., Попов О.Б., Чернышева Т.В., Макарина Д.А.</b> <b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ УЧАСТКОВ</b> <b>НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ В КАНАЛЕ СВЯЗИ</b>	<b>4</b>
<b>Ахромейко Д.С., Журавлев А.Д., Сафонов И.А., Можаяева А.И., Lee Streeter</b> <b>АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СТАНДАРТОВ КОДИРОВАНИЯ</b> <b>ПРИ ПОТОКОВОЙ ВИДЕОПЕРЕДАЧИ</b>	<b>10</b>
<b>Косичкина Т.П., Косичкина С.Р., Шубина М.В.</b> <b>ОБЗОР МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ЗОНДИРУЮЩИХ</b> <b>СИГНАЛОВ ДЛЯ РАДАРА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ АНТЕННЫ</b>	<b>19</b>
<b>Менибаев М.Р., Воронов В.И.</b> <b>ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ</b> <b>СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ БЫТОВОГО МУСОРА</b>	<b>25</b>
<b>Плотников П.С., Неронов Ф.А., Маклачкова В.В.</b> <b>АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН</b>	<b>33</b>
<b>Филатова Е.Е., Панкратов Д.Ю.</b> <b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ В СИСТЕМЕ NOMA С РАЗНЫМ ЧИСЛОМ</b> <b>СТАНЦИЙ. ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ NOMA</b>	<b>39</b>
<b>Яковлева Т.В., Минина И.Л.</b> <b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ QR-КОДОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ</b> <b>ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЧТОВОЙ СВЯЗИ</b>	<b>48</b>

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ УЧАСТКОВ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ В КАНАЛЕ СВЯЗИ**

**Абрамов Валентин Александрович,**

*Московский Технический Университет Связи и Информатики (МТУСИ), доцент, к.т.н.,  
Москва, Россия*  
[vabramov44@mail.ru](mailto:vabramov44@mail.ru)

**Попов Олег Борисович,**

*Московский Технический Университет Связи и Информатики (МТУСИ), профессор, к.т.н.,  
Москва, Россия*  
[olegp45@yandex.ru](mailto:olegp45@yandex.ru)

**Чернышева Татьяна Васильевна,**

*Московский Технический Университет Связи и Информатики (МТУСИ), доцент, к.т.н.,  
Москва, Россия*  
[krba2012@yandex.ru](mailto:krba2012@yandex.ru)

**Макарина Диана Александровна,**

*Московский Технический Университет Связи и Информатики (МТУСИ), аспирант, Москва, Россия*  
[makarina.diana1995@yandex.ru](mailto:makarina.diana1995@yandex.ru)

### **Аннотация**

*Рассматриваются преимущества комплексного представления сигнала, позволяющего выделять важные модуляционные параметры – «атаки» и «спады» элементов огибающей звукового сигнала. Показываются результаты экспериментальных исследований акустических сигналов на участках нестационарности, которые позволяют оценивать качество этих сигналов. Выясняется, что специальная обработка звуковых сигналов способствует увеличению крутизн огибающих на участках нестационарности. Показывается, что сигналы, прошедшие предварительную динамическую обработку в корректоре звуковых сигналов, в меньшей степени подвержены искажениям канала.*

**Ключевые слова:** *Звуковые сигналы, комплексное представление, модуляционные параметры, участки нестационарности, корректор звуковых сигналов, экспериментальная проверка распределения крутизн огибающей.*

### **Введение**

В настоящее время методы представления звуковых сигналов во временной и частотной областях и используемых при оценке качества звучания, а также при различных обработках и компактном представлении этих сигналов, достигли своих предельных возможностей. Одним из выходов из данного положения является использование методов, связанных с комплексным представлением сигнала, которые позволяют выделять такие модуляционные параметры звуковых сигналов как гильбертовская огибающая и мгновенная частота, на основе которых можно осуществлять высокоточную оценку и качественную обработку этих сигналов. Экспериментальная проверка предложенных методов показала их высокую эффективность при оценках как качества звуковых сигналов, так и качество каналов передачи этих сигналов.

### **Результаты исследований**

На основе комплексного представления звуковых сигналов было предложено разработать способы измерения их параметров [1,2,3], особенно участков нестационарности этих сигналов [4]. Способ [4] основан на выделении гильбертовской амплитудной огибающей, из предварительно сформированного комплексного сигнала. После этого из гильбертовской амплитудной огибающей, в свою очередь, выделяются участки нестационарности, которые содержат такие информативные параметры, как «атаки» и «спады» элементов звукового сигнала.

Измерения данных параметров позволяют с большой точностью оценить качество акустических сигналов, так как именно участки нестационарности содержат наибольшее количество информации и их искажения при передаче и обработках существенно снижают качество этих акустических сигналов [5,6,12]. Данные измерения позволяют затем проводить мероприятия по уменьшению искажений участков нестационарности в акустических сигналах и тем самым повышать их качество [7,8].

Экспериментальную проверку эффективности использования данных параметров было предложено осуществлялась при помощи компьютера с программой «корректор звуковых сигналов» (КЗС), реализованной на базе использования комплексного представления сигнала [9]. При этом кроме программного обеспечения КЗС во вспомогательных целях использовалась также программные обеспечения «ESTIM» и «Комплекс» [10, 11]. Для экспериментальной проверки использовался канал передачи с полосой частот 10 кГц. При этом в качестве звуковых сигналов, используемых при испытаниях, применялись речевые сигналы, а также различные музыкальные сигналы. Сама экспериментальная проверка осуществлялась с использованием разработанной на кафедре ТиЗВ МТУСИ методики контроля качества сигнала звукового вещания (СЗВ), а также на основе прослушиваний в виде субъективно-статистических испытаний (ССИ), которые производились в Акустическом центре МТУСИ.

На рис. с 1 по 4 показаны статистики огибающей на участках нестационарности сигналов звукового вещания в виде значений крутизн этой огибающей. На рисунках с 1 по 3 показаны нормированные статистические частоты ( $w$ ) нормированных значений крутизн огибающей звукового сигнала  $S_d$ . При этом использовались сигналы с разными видами обработок и с разной величиной уменьшения избыточности в этих сигналах.

На упомянутых рисунках имеются следующие числовые обозначения: 1 – спады исходного звукового сигнала; 2 – спады звукового сигнала, прошедшего цифровой канал связи со скоростью 64 кбит/с; 3 – спады сигнала, прошедшего цифровой канал связи со скоростью 32 кбит/с; 4 – атаки исходного звукового сигнала; 5 – атаки звукового сигнала, прошедшего цифровой канал связи со скоростью 64 кбит/с; 6 – атаки звукового сигнала, прошедшего цифровой канал связи со скоростью 32 кбит/с.

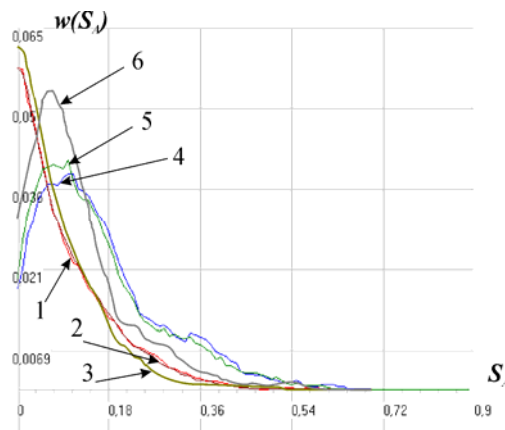


Рис. 1. Нормированные статистические частоты нормированных значений крутизн огибающей СЗВ (Н)

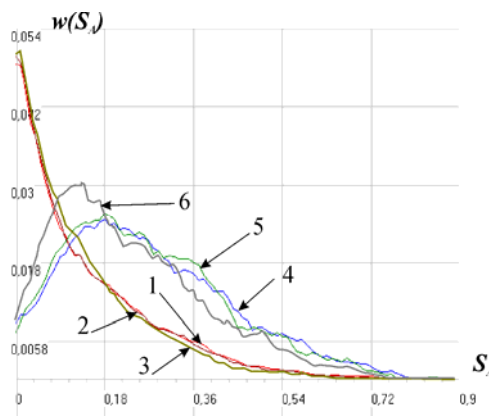
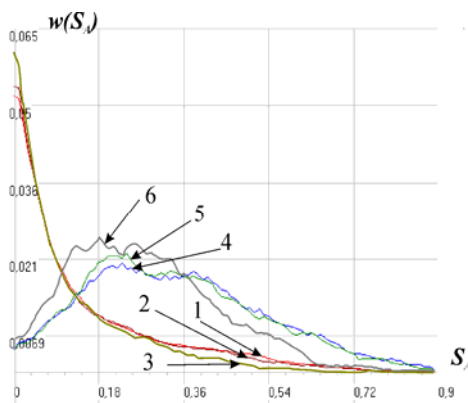


Рис. 2. Нормированные статистические частоты нормированных же крутизн огибающей СЗВ на выходе КЗС



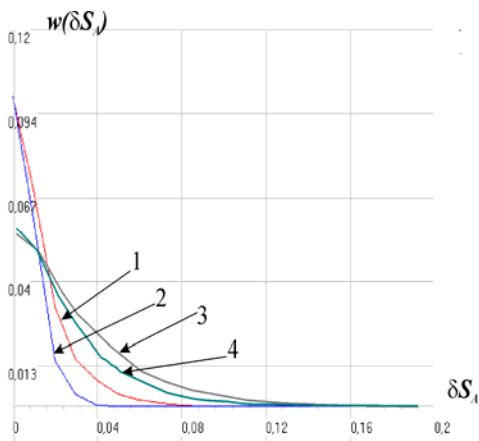
**Рис. 3.** Нормированные статистические частоты нормированных значений крутизн огибающей СЗВ (H)

На рисунке 1 показаны распределения для звуковых сигналов, не затронутых дополнительной обработкой. На рисунке 2 представлены распределения для звуковых сигналов, прошедших специальную обработку с применением классической схемы автоматического регулятора уровня (АРУР).

На рисунке 3 показаны распределения для звуковых сигналов, прошедших специальную обработку с применением программного обеспечения КЗС.

Анализ рисунков показывает, что специальная обработка сигналов способствует увеличению крутизны огибающих на участках нестационарности. Кроме того, имеют место существенные изменения крутизны огибающих сигнала звукового вещания на выходе канала связи, содержащего устройства устранения избыточности.

Пример распределения относительных крутизн гильбертовской огибающей, не подвергшейся обработке в виде устранения избыточности, показан на рисунке 4.



**Рис. 4.** Нормированные статистические частоты относительных крутизн огибающей СЗВ (H)

Порядковые номера 1,2,3,4 на рисунке 4 обозначают, соответственно: – относительные изменения крутизны атак звукового сигнала на выходе цифрового тракта, работающего со скоростью 64 кбит/с; – относительные изменения крутизны атак звукового сигнала на выходе цифрового тракта, работающего со скоростью 32 кбит/с; – относительные изменения крутизны спадов звукового сигнала на выходе цифрового тракта, работающего со скоростью 64 кбит/с; – относительные изменения крутизны спадов звукового сигнала на выходе цифрового тракта, работающего со скоростью 32 кбит/с.

Следует заметить, что распределения крутизн атак и спадов для звуковых сигналов, обработанных устройством АРУР, оказываются аналогичными ранее приведенным распределениям. Характерно, что распределения, показанные на рисунке 4, связаны с отображением изменения формы звукового сигнала. При этом, чем больше дисперсия относительных крутизн  $\delta S_A$ , тем большему деградирующему изменению подвергается форма звукового сигнала.

Статистика распределений положительных и отрицательных значений крутизн гильбертовской огибающей звуковых сигналов на интервалах нестационарности для случаев без обработки и с обработками этих сигналов, приведена в таблице 1.

В таблице 1 обозначены: **среднее**- средние значения, **СКО** – среднеквадратические отклонения; **медиана** – медианные значения; **ИАОС** – интегральное абсолютное отклонение статистик.

Если обратить внимание на параметры ИАОС в отношении положительных и отрицательных крутиз амплитудной огибающей звуковых сигналов на интервалах нестационарности, можно заметить, что в случае предварительной динамической обработки сигналов, имеет место меньшее деградационное изменение данных сигналов.

Таблица 1

Зависимость параметров интервалов нестационарности от типа обработки

Параметры	Тип сжатия звукового сигнала					
	Нет	MPEG 64k	MPEG 32k	Нет	MPEG 64k	MPEG 32k
	Положительные крутизны			Отрицательные крутизны		
<b>Звуковой сигнал без обработки (Н)</b>						
Среднее*	43,3	42,6	38,6	80,2	76,7	63,4
СКО*	58,4	57,1	50,9	92,5	89,0	74,1
Медиана*	0,02	0,02	0,02	0,18	0,17	0,15
ИАОС	-	0,23	0,28	-	0,48	0,66
<b>Звуковой сигнал с динамической обработкой АРУР (Кл)</b>						
Среднее	15,1	14,7	13,9	31,4	30,8	27,4
СКО	21,2	20,5	19,3	35,7	34,8	31,4
Медиана	0,003	0,004	0,004	0,04	0,04	0,04
ИАОС	-	0,15	0,18	-	0,33	0,41
<b>Звуковой сигнал с динамической обработкой КЗС</b>						
Среднее	15,9	15,1	11,8	39,1	38,2	31,7
СКО	23,8	22,7	17,6	43,4	42,2	35,3
Медиана	0,003	0,003	0,003	0,05	0,05	0,06
ИАОС	-	0,14	0,23	-	0,33	0,48

\*- данные приведены в интервалах квантования на интервал дискретизации.

В таблице 2 – показаны параметры статистик относительных изменений положительных и отрицательных крутиз огибающей звуковых сигналов для случаев без обработки и с обработками этих сигналов.

Таблица 2

Изменение статистических параметров при компактном представлении сигнала

Параметры	Звукового сигнала Тип сжатия			
	MPEG 64k	MPEG 32k	MPEG 64k	MPEG 32k
	Положительные крутизны		Отрицательные крутизны	
<b>Звуковой сигнал без обработки (Н)</b>				
Среднее	0,0135	0,0424	0,00802	0,0276
СКО	0,0198	0,0876	0,0113	0,038
Медиана	5,78E-6	1,73E-5	2,48E-5	4,95E-5
<b>Звуковой сигнал с динамической обработкой АРУР (Кл)</b>				
Среднее	0,0147	0,0414	0,0102	0,0293
СКО	0,0214	0,0799	0,014	0,0532
Медиана	3,89E-6	1,17E-5	1,48E-5	2,96E-5
<b>Звуковой сигнал с динамической обработкой КЗС</b>				
Среднее	0,00783	0,0379	0,00529	0,0276
СКО	0,0115	0,0521	0,00812	0,0369
Медиана	3,26E-6	9,78E-6	0	2,51E-5

Из приведенных в таблицах 1 и 2 данных следует, что звуковой сигнал, подвергшийся предварительной динамической обработке, оказывается в меньшей степени подвержен искажениям при про-

хождении по каналу связи. При этом, среднеквадратические отклонения распределений крутизн огибающей, оказываются примерно, на 40% ниже для положительных крутизн и на 30% ниже – для отрицательных крутизн по сравнению с необработанным сигналом.

Результаты экспериментального исследования участков нестационарности в звуковых сигналах в виде атак и спадов элементов сигнала могут найти применение в существующих и разрабатываемых аналоговых и цифровых каналах передачи, а также при различных видах обработок информационных сигналов, при формировании высококачественных речевых и музыкальных программ. Кроме того, результаты исследования могут быть использованы для оценки негативных и положительных воздействий участков нестационарности в звуковых сигналах на слушателей. Основываясь на подобных измерениях можно осуществлять мероприятия по повышению качества информационных звуковых телерадиовещательных сигналов, а также по снижению негативных воздействий данных сигналов на аудиторию. В свою очередь, оценки негативных воздействий параметров нестационарности в звуковых информационных сигналах на слушателей и осуществление на основе этих оценок некоторых защитных мероприятий, позволяет снизить потери на восстановление здоровья и работоспособности большого количества людей, потребляющих эту информацию.

### Заключение

1. На основе комплексного представления акустических сигналов предложено измерять участки нестационарности этих сигналов, которые содержат наиболее важные параметры в виде нарастания передних фронтов элементов сигналов или «атак», а также спадов.

2. Измерения параметров акустических сигналов на участках нестационарности позволяют с большой точностью оценивать качество этих сигналов, так как данные участки содержат наибольшее количество смысловой и эмоциональной информации и их искажения при передаче и обработках существенно снижают качество и информативность этих сигналов.

3. Экспериментальная проверка осуществлялась при помощи программного обеспечения КЗС, а также программных обеспечений «ESTIM» и «Комплекс», реализованных на основе комплексного представления сигнала, что позволяет определять и обрабатывать энергетические параметры, параметры формы гильбертовской амплитудной огибающей, а также спектральные параметры звуковых сигналов.

4. Экспериментальные исследования показали, что специальная обработка звуковых сигналов способствует увеличению крутизн огибающих на участках нестационарности и, кроме того, имеют место существенные изменения крутизн огибающих СЗВ после прохождения этим сигналом канала связи с уменьшением избыточности.

5. Проведенные исследования последствий прохождения СЗВ через цифровой тракт со скоростями передачи 64 и 32 кбит/с., свидетельствуют о деградации качества сигналов в результате специальной обработки классическим АРУР, причем деградация тем выше, чем эффективнее степень сжатия сигналов, однако алгоритмы, реализованные при помощи программного обеспечения КЗС, позволяют провести обработку, которая даже после изменений, вносимых каналом, обеспечивает высокое качество сигнала.

6. Исследования параметров огибающей сигнала звукового вещания на интервалах нестационарности: атаках и спадах звуковых объектов показали, что сигналы, прошедшие предварительную динамическую обработку при помощи программного обеспечения КЗС, в меньшей степени подвержены искажениям канала.

### Литература

1. Патент RU 2458340 С2. Опубликовано: 10.08.2012 БИ №22 Способ измерения мгновенных и средних значений абсолютной и относительной мощности акустических сигналов и устройство для его осуществления. Авторы: Абрамов В.А., Попов О.Б., Рихтер С.Г.

2. Патент RU 2573248 С2. Опубликовано: 20.01.2016. БИ №2. Способ измерения спектра информационных акустических сигналов телерадиовещания и устройство для его осуществления. Абрамов В.А., Попов О.Б.

3. Патент RU 2756934 С1. Опубликовано: 07.10.2021 БИ № 28. Способ и устройство измерения спектра информационных акустических сигналов с компенсацией искажений. Авторы: Абрамов В.А., Попов О.Б., Власюк И.В., Балобанов А.В.

4. Патент RU 2731339 С1. Опубликовано 01.09.2020 БИ № 25 «Способ и устройство измерения мощности и крутизны нарастания участков нестационарности акустических сигналов». Авторы: Абрамов В.А., Попов О.Б., Тактакишвили В.Г.



5. *Тактакишвили В.Г., Попов О.Б., Абрамов В.А., Борисов А.А.* Методы компактного представления, оценки и обработки звуковых сигналов на основе их комплексного представления // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 2. С. 11-17.
6. *Абрамов В.А., Попов О.Б., Рихтер С.Г.* Аудиопроекторная обработка сигналов цифрового вещания и ее последствия // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. 2016. №6. с.17-20.
7. Патент RU 2691122 С1. Опубликовано 11.06.2019 БИ №17 «Способ и устройство компандирования звуковых вещательных сигналов» Авторы: Абрамов В.А., Попов О.Б., Орлов В.Г.
8. Патент RU 2731602С1. Опубликовано 04.09.2020 БИ № 25 «Способ и устройство компандирования с предсказанием звуковых вещательных сигналов» Авторы: Абрамов В.А., Попов О.Б.
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2014614408. Дата гос. Регистрации 24.04.2014 Корректор звукового сигнала КЗС. Авторы: Попов О.Б., Абрамов В.А., Литвин С.А., Касьянов А.А., Ождихин Г.М. Заявка № 2014611471 от 27.11.2013.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU №2013616645. Дата гос. Регистрации 15.07.2013. Анализ параметров сигналов звукового вещания «ESTIM». Авторы: Абрамов В.А., Ождихин Г.М., Попов О.Б., Черников К.В., Малов А.В.
11. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № RU 2019667523. Дата гос. Регистрации 24.12.2019. Комплексное представление сигналов ПО «Комплекс» Авторы: Попов О.Б., Абрамов В.А., Чернышева Т.В., Овчинников А.А., Тактакишвили В.Г.
12. *Абрамов В.А., Попов О.Б., Борисов А.А., Черников К.В.* Статистика звукового сигнала, представленного комплексными модулирующими функциями // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 6. С. 29-32.

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СТАНДАРТОВ КОДИРОВАНИЯ ПРИ ПОТОКОВОЙ ВИДЕОПЕРЕДАЧИ

**Ахромейко Дмитрий Сергеевич,**

*Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия*  
[Akhromeyko1337@gmail.com](mailto:Akhromeyko1337@gmail.com)

**Журавлев Антон Денисович,**

*Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия*  
[anton01072001@gmail.com](mailto:anton01072001@gmail.com)

**Сафонов Илья Алексеевич,**

*Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия*  
[ilya.safonov.2000@gmail.com](mailto:ilya.safonov.2000@gmail.com)

**Можаева Анастасия Ивановна,**

*Университет Вайкато, Новая Зеландия;*  
*Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия*  
[am476@students.waikato.ac.nz](mailto:am476@students.waikato.ac.nz)

**Lee Streeter,**

*Университет Вайкато, Новая Зеландия*  
[lee.streeter@waikato.ac.nz](mailto:lee.streeter@waikato.ac.nz)

### Аннотация

*Современные методы сжатия. В общем, методы сжатия изображений можно сгруппировать в два основных класса: сжатие без потерь и сжатие с потерями. Сжатие изображений без потерь является обратимым методом, который может восстановить всю исходную информацию об изображении из сжатых данных. Однако методы без потерь обычно создают файлы большего размера, чем методы сжатия изображений с потерями. Методы с потерями обеспечивают большее сжатие за счет уменьшения информации об изображении и данных, передаваемых по нему. Однако не принципиальная информация для восприятия зрительной системой человека удаляется или уменьшается, и это влияет на качество изображения. Эта работа будет сосредоточена на методах сжатия изображений с потерями. Далее она объяснит сжатие на основе преобразования с потерями и архитектуры сжатия JPEG, JPEG2000, MPEG 4, H.265, H.266 в деталях. Внимание также будет уделено артефактам, вызванным этими методами сжатия.*

**Ключевые слова:** технологии кодирования видео, субъективное тестирование, база данных видео, HEVC, VVC, AVI

### I. Базовая технология сжатия видео

Кодирование видео – это процесс сжатия и распаковки цифрового видеосигнала.

Цифровое видео – это представление естественной визуальной сцены, выбранной в пространстве и времени.

Кодировщик. Согласно Ричардсону [1], видеокодер (рис. 1) состоит из трех основных функциональных единиц: временной модели, пространственной модели и энтропийного кодировщика.

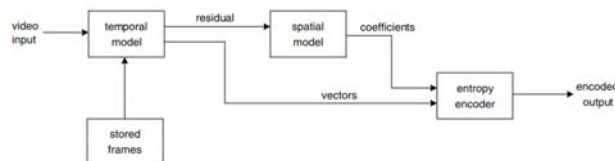


Рис. 1. Блок-схема видеокодера, Ричардсон [1]

Временная модель. Входом во временную модель является несжатая видеопоследовательность. Целью временной модели является уменьшение избыточности между передаваемыми кадрами путем формирования прогнозируемого кадра и вычитания его из текущего кадра. Простейшим методом временного прогнозирования является использование предыдущего кадра в качестве предиктора для текущего кадра. Очевидная проблема с этим простым предсказанием заключается в том, что в остаточном кадре остается много энергии. Лучшее предсказание может быть сформировано путем компенсации движения между двумя кадрами. Этот метод широко применяется на практике, который компенсирует движение прямоугольных участков текущего кадра. Сравнение блока  $M \times N$  в текущем кадре с некоторыми или всеми возможными областями  $M \times N$  в области поиска и поиск области, которая дает «наилучшее» соответствие. Этот процесс поиска наилучшего соответствия известен как оценка движения. Выбранная область-кандидат становится предиктором для текущего блока  $M \times N$  и вычитается из текущего блока с образованием остаточного блока  $M \times N$ . Остаточный блок кодируется и передается, а смещение между текущим блоком и положением области-кандидата также передается. Блочная компенсация движения вычислительно поддается обработке, она хорошо сочетается с прямоугольными видеокадрами и с блочными преобразованиями изображения.

Одной из основных концепций сжатия изображений является концепция макроблока. При сжатии кадров цветное пространство RGB преобразуется в YCbCr. Блок  $8 \times 8$  сгруппирован в макроблоки. Группы макроблоков представляют собой четыре соседних блока в плоскости компонента яркости Y (матрица пикселей  $16 \times 16$  элементов) и два, соответствующих как расположению блока, так и цветовой плоскости Cb и Cr (рис. 2). Таким образом, кадр делится на независимые блоки, которые несут полную информацию о части изображения.

Оценка движения макроблока состоит из поиска области  $16 \times 16$  пикселей в системе отсчета, аналогичной текущему макроблоку. Область поиска в системе отсчета имеет центр в середине положения текущего макроблока. Найденный блок размером  $16 \times 16$  пикселей, который имеет наименьшее расхождение с текущим макроблоком, выбирается в качестве «подходящего». Лучший макроблок в системе отсчета вычитается из текущего блока, а их разность, называемая остаточным макроблоком, кодируется и передается вместе с вектором движения.

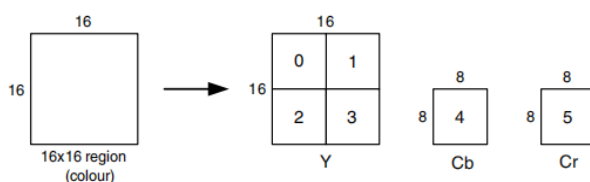


Рис. 2. Макроблок (4:2:0), Ричардсон [1]

В некоторых случаях лучшее предсказание компенсации движения может быть построено на основе интерполированных положений образцов в системе отсчета. Субпиксельная оценка и компенсация движения используют промежуточные позиции пикселей в поиске вместе с целыми позициями. Рисунок 3 иллюстрирует оценку движения с точностью до четверти пикселя. На первом этапе наилучшее соответствие текущего макроблока ищется для целочисленной выборочной решетки (окружностей). Затем кодировщик ищет полупиксельные позиции сразу после найденной позиции (квадраты), чтобы улучшить соответствие, а затем, при необходимости, ищет в четвертьпиксельных шагах (треугольниками), чтобы найти еще лучшее соответствие.

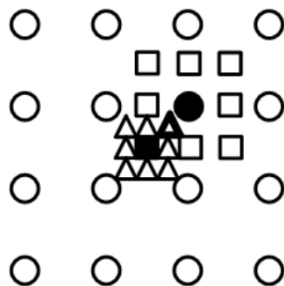


Рис. 3. Оценка движения целочисленного, полупиксельного и четвертьпиксельного

**Пространственная модель.** Пространственная модель использует сходства между соседними образцами в остаточном кадре для уменьшения пространственной избыточности. Преобразование преобразует выборки в область, где они представлены коэффициентами преобразования. Коэффициенты квантуются для удаления незначительных значений, которые обеспечивают более компактное представление остаточной рамки. Выход пространственной модели представляет собой набор квантованных коэффициентов преобразования.

**Энтропийный энкодер.** Параметры временной модели (векторы движения) и пространственной модели (коэффициенты) сжимаются энтропийным энкодером.

Недостатки данного энкодера:

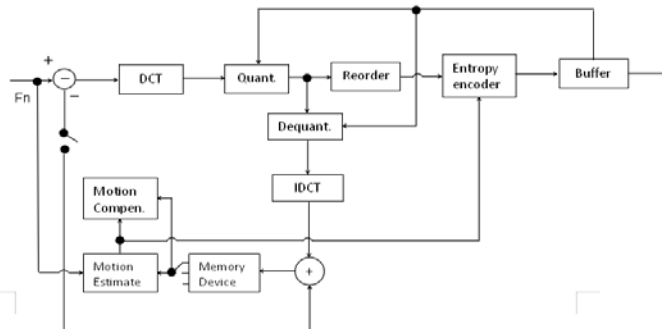
- Реальные объекты редко имеют четкие прямоугольные границы.
- Объект часто перемещает целое число позиций пикселей между кадрами
- Многие виды движений трудно компенсировать с помощью блочных методов.
- Даже в энкодерах эффективных алгоритмов, таких как MPEG-4 и H.264, существует проблема некорректного нахождения векторов движения. Пример таких ошибок можно увидеть на рисунке 4.



**Рис. 4.** Пример ошибочно найденных векторов движения

*Модель Видеокодека.*

Блок-схема видеокodeка (рис. 5). В схеме можно выделить два основных сигнальных пути: кодирование и реконструкция.



**Рис. 5.** Блок-схема модели видеокodeка

**Поток кодирования.** Входной кадр  $F_n$  является входным для кодировщика. Текущая входная рамка сравнивается с системой отсчета, которую можно принять за ранее закодированную рамку. Несколько предыдущих закодированных кадров хранятся в блоке памяти – запоминающем устройстве. Функция оценки движения определяет макроблок системы отсчета. Смещение текущего макроблока относительно макроблока в системе отсчета фиксируется в виде вектора движения. Затем функция компенсации движения строит систему прогнозирования на основе найденного вектора движения и системы отсчета. Далее кадр прогнозирования вычитается из текущего кадра. Их отличие называется остаточным каркасом. Остаточный кадр преобразуется блоком с помощью дискретного косинусного преобразования, затем каждый блок квантуется.

Затем для коэффициентов преобразования блоков выполняется переупорядочивание и результат вместе с векторами движения, поступающими с выхода блока оценки движения, кодируется энтропийным энкодером. Далее сигнал подается на вход буферного запоминающего устройства, которое оценивает поток видеоданных. Кодек является адаптивным, поскольку буферное устройство управляет потоком данных: в зависимости от размера битового потока оно управляет количеством уровней квантования. На выходе буферного устройства получается сжатый битовый поток.

Реконструкция данных. Для каждого квантованного макроблока применяется деквантизация и обратное косинусное преобразование. Кадр прогнозирования (кадр с компенсацией движения) добавляется к полученному остаточному кадру, в результате чего мы получаем реконструированный кадр, который записывается в запоминающее устройство. Поскольку процесс квантования необратим, он вносит искажения, а реконструируемый кадр не соответствует текущему. Реконструкция необходима для того, чтобы кодировщик использовал ту же систему отсчета, что и в декодере, и в этом случае декодер не будет перемещать ошибки от изображения к изображению.

## II. Стандартный формат Motion-JPEG

Motion-JPEG (M-JPEG) является простейшим алгоритмом сжатия видео. Каждый кадр сжимается независимо от алгоритма JPEG. Этот метод обеспечивает высокоскоростной доступ к произвольным кадрам как в прямом, так и в обратном порядке. Типичные операции JPEG поддерживаются на аппаратном уровне большинством видеокарт, а данные формы позволяют легко обрабатывать большие объемы данных для редактирования фильмов. Самостоятельное сжатие отдельного кадра позволяет применять разные эффекты, не опасаясь, что взаимные эффекты соседнего кадра внесут дополнительные искажения в пленку.

### *Стандартный визуальный формат MPEG-4, H.264.*

Визуальные стандарты H.264 и MPEG-4 имеют несколько общих черт. Оба стандарта предполагают модель кодека, которая использует блочную компенсацию движения, преобразование, квантование и энтропийное кодирование. В MPEG-4 Visual и H.264 предсказание формируется из одного или нескольких предыдущих или будущих кадров и улучшается путем компенсации различий между кадрами. Общая схема устранения пространственной статистической зависимости для стандартов MPEG-4 Visual и H.264 определяет процесс сжатия одного кадра видеопотока и совпадает с процедурой сжатия статического полноцветного изображения с использованием стандарта JPEG.

### *Стандартное высокоэффективное кодирование видео (H.265).*

Высокоэффективное кодирование видео (HEVC) является совместным видеопроектom VCEG и MPEG. HEVC был разработан для решения двух ключевых проблем H.264: увеличение разрешения видео и более широкое использование архитектур параллельной обработки. Согласно G. J. Sullivan et al. [2], HEVC имеет некоторые новые функции, такие как структура квадратного дерева блока кодирования, адаптивное смещение выборки, расширенное прогнозирование векторов движения и т. Д. В H.265 кадр разделен на блоки дерева кодирования, которые могут использовать большую блочную структуру до  $64 \times 64$  пикселя. Блок можно непрерывно разделить на блоки кодирования с помощью синтаксиса quadtree блока кодирования. Таким образом, H.265 может адаптироваться к кодированию видео высокого разрешения. В межкадровом прогнозировании используется расширенное предсказание вектора движения H.265, включая вывод нескольких наиболее вероятных кандидатов на основе данных из соседнего блока прогнозирования и эталонной картины. Также может использоваться режим слияния для кодирования векторов движения, позволяющий наследовать векторы движения из временно или пространственно смежных блоков прогнозирования. Нелинейное отображение амплитуд вводится в цикл прогнозирования между изображениями после фильтра деблокировки. Его цель состоит в том, чтобы лучше реконструировать исходные амплитуды сигнала с помощью таблицы поиска, которая описывается несколькими дополнительными параметрами, которые могут быть определены анализом гистограммы на стороне энкодера. Основываясь на новых технологиях, H.265 / HEVC удваивает степень сжатия по сравнению с H.264 при том же уровне визуального качества.

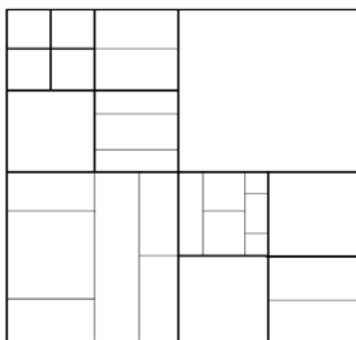
*Стандарт H.266.*

6 Jul 2020 Fraunhofer HHI «представляет новое современное состояние в глобальном кодировании видео: H.266 / Versatile Video Coding». По словам Chen et al. [3], основной целью Versatile Video Coding (VVC) является значительное улучшение производительности сжатия по сравнению с существующим стандартом HEVC. Основываясь на стандарте HEVC, VVC усовершенствовала существующие технологии, но также добавила новые инструменты кодирования:

**Разбиение.** VVC имеет блочную гибридную архитектуру кодирования, сочетающую в себе межобразное и внутриобразное прогнозирование и преобразование кодирования с энтропийным кодированием. Максимально допустимый размер блока luma в блоке дерева кодирования указан как  $128 \times 128$  (хотя максимальный размер блоков преобразования luma составляет  $64 \times 64$ ). В то время как HEVC поддерживает блокировку только с использованием четырех деревьев, VVC использует сложные и разнообразные режимы секционирования. Согласно Wiecekowsk et al. [4], Quadtree было заменено Quadtree plus двоичная древовидная структура. Двоичное дерево Quadtree plus расширяет разделение на четыре части, разделяя на двоичное дерево в вертикальном или горизонтальном направлении, чтобы обеспечить более гибкое разбиение видео.

Затем эта структура квадродерства плюс двоичное дерево была расширена дополнительным тройным разделением, которое разделяет блок на три выровненных блока, причем центральный блок в два раза больше, чем внешние блоки. Как и двоичное расщепление, тройное расщепление дерева поддерживается как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Существует четыре типа расщепления в многотипной древовидной структуре: вертикальное двоичное расщепление, горизонтальное двоичное расщепление, вертикальное троичное расщепление и горизонтальное троичное расщепление. Решение о том, следует ли кодировать область изображения с помощью межобразного (временного) или внутриобразного (пространственного) прогнозирования, принимается на уровне единицы кодирования листа. В древовидной структуре кодирования блок может иметь квадратную или прямоугольную форму.

В Versatile Video Coding максимальный поддерживаемый размер преобразования luma составляет  $64 \times 64$ , а максимальный поддерживаемый размер преобразования цветности —  $32 \times 32$ . В тестовой модели схема дерева кодирования поддерживает возможность для luma и chroma иметь отдельную структуру блочного дерева. Примеры секционирования показаны на рисунке 6.



**Рис. 6.** Примеры разделения, Chen et al. [3]

Согласно Wiecekowsk et al. [5], тестовая модель Versatile Video Coding: Quadtree plus двоичное дерево вводит двоичное разделение, которое делит текущую единицу кодирования на две подкодированные единицы одинакового размера, либо по горизонтали, либо по вертикали вдоль середины. Обобщенное двоичное разделение расширяет эту концепцию, позволяя перемещать границу разделения перпендикулярно направлению разделения. Тестовая модель Versatile Video Coding (Quadtree plus двоичное дерево), показанная на рисунке 7.

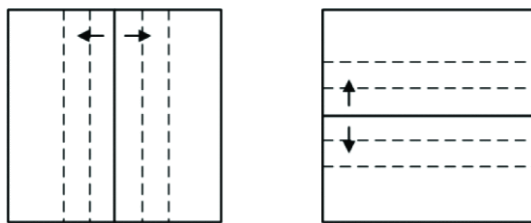


Рис. 7. Универсальная тестовая модель кодирования видео: Quadtree плюс двоичное дерево, Wieckowski et al. [5]

Интра-прогнозирование. Для захвата произвольных направлений краев, представленных в естественном видео, число направленных внутренних режимов в тестовой модели увеличено с 33, как используется в HEVC, до 65. В тестовой модели несколько обычных угловых режимов внутреннего прогнозирования адаптивно заменяются широкоугольными режимами внутреннего прогнозирования для неквадратных блоков. Следовательно, фильтр низкочастотных эталонных образцов и боковое сглаживание применяются к широкоугольному прогнозированию. Эталонные образцы для широкоугольного внутривидеопрогнозирования показаны на рисунке 8.

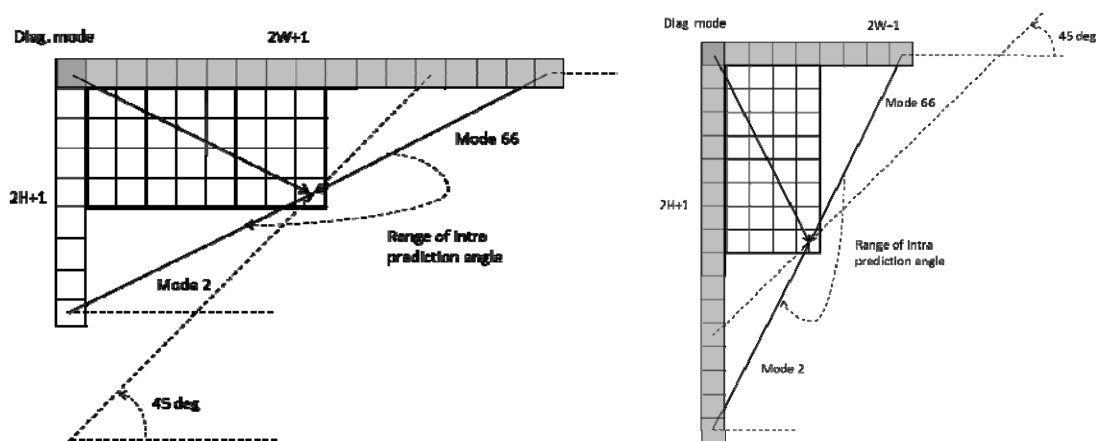


Рис. 8. Эталонные образцы для широкоугольного интра-прогнозирования, Chen et al. [3]

По словам Филиппова и Руфицкого [6], еще одно из заметных изменений, внесенных тестом Versatile Video Coding по сравнению с HEVC, заключается в том, что прогнозируемые образцы компонентов luma получают с помощью интерполяции фильтра с четырьмя касаниями, в то время как HEVC использует линейную (2-tap) фильтрацию. Универсальное кодирование видео определяет два типа фильтров с 4 касаниями, так что прогнозирование блока выполняется с помощью фильтра, который выбирается для заданной формы блока на основе индекса режима внутреннего прогнозирования и количества образцов, содержащихся в блоке. Интерполяционная фильтрация для хрома-компонента выполняется в Versatile Video Coding с тем же линейным фильтром с 2 касаниями, что и в HEVC. Многие механизмы внутривидеопрогнозирования тесно связаны с новой структурой кодирования, основанной на многотиповом дереве, и демонстрируют с ним синергетический эффект.

Интер прогноз. Как показано в [3], тестовая модель включает в себя несколько новых и усовершенствованных инструментов кодирования между предсказаниями, перечисленных ниже:

- Расширенное прогнозирование слияния
- Режим слияния с различиями векторов движения
- Предсказание с компенсацией аффинного движения (применяется блочное предсказание компенсации движения аффинного преобразования).
- Предсказание временных векторов движения на основе подблоков.
- Адаптивное разрешение векторов движения.
- Хранение поля движения: хранение образцов 1/16 люма и сжатие поля движения 8x8.
- Уточнение вектора бокового движения декодера.
- Прогнозирование треугольного разбиения.
- Комбинированное меж- и интра-прогнозирование.

**Квантование.** Универсальное кодирование видео использует кодирование видео с квантованием шпалер. Векторное квантование может дать лучшую производительность искажения скорости, чем скалярное квантование. Универсальное кодирование видео использует схему кодирования преобразований, которая использует специальную форму квантования шпалер, версию векторного квантования низкой сложности.

**Энтропийное кодирование.** В Versatile Video Coding содержатся следующие существенные изменения по сравнению с дизайном в HEVC:

- Механизм адаптивного двоичного арифметического кодирования Core
- Кодирование коэффициента преобразования с четырьмя проходами в подблоке.
- Контекстное моделирование коэффициентов преобразования.

**Внутриконтурные фильтры.** В тестовой модели всего три внутрицикловых фильтра. Помимо фильтра деблокировки и адаптивного смещения образца (двухконтурные фильтры в HEVC), в тестовой модели применяется адаптивный петлевой фильтр с адаптацией фильтра на основе блоков. Применяется адаптивный петлевой фильтр с двумя формами алмазного фильтра. Форма бриллианта  $7 \times 7$  применяется для компонента luma, а форма бриллианта  $5 \times 5$  применяется для хроматических компонентов.

**360-градусные инструменты кодирования видео.** Горизонтальная огибающая компенсация движения была принята в тестовой модели для улучшения визуального качества 360-видео, закодированного в равнопрямоугольном формате проекции.

В [6] авторы представляют субъективное сравнение, а также объективное измерение между новейшим универсальным кодированием видео с помощью инструментов кодирования тестовой модели и известным HEVC с использованием версии эталонного программного обеспечения (HM-16.2). В результате инструменты кодирования тестовой модели позволяют значительно улучшить качество различных видеопоследовательностей, используемых в эксперименте. Однако для лучшего понимания Versatile Video Coding требуется больше экспериментов с другими метриками и независимыми исследователями.

*Другие методы сжатия с потерями.*

WebP, созданный Google в 2012 году, основан на видеокодеке VP8, в котором прогностическое кодирование является важной функцией. Наряду с WebP, видеоформат AVIF, основанный на разработке Google VP9, набирает популярность в веб-сообществе и поддерживается большинством компаний, включая Google, Mozilla, Microsoft и даже Apple. Преимущества, предлагаемые VP9, широко используются Google и YouTube для улучшения своих видеосервисов. В качестве кодека для производственного использования VP9 значительно превосходит H.264, в то время как он также является сильным конкурентом H.265. Формат сжатия видео AV1, разработанный в конце 2018 года, включает в себя множество новых инструментов сжатия, высокоуровневый синтаксис и функции распараллеливания, предназначенные для конкретных случаев использования. Согласно [7], некоторые аспекты, которые AV1 кодирует техникой:

- Кодирование раздела блока. VP9 использует четырехстороннее дерево разделов, начиная с уровня  $64 \times 64$  до уровня  $4 \times 4$ , с некоторыми дополнительными ограничениями для блоков ниже  $8 \times 8$  были в блоке  $8 \times 8$ , все подблоки должны иметь одинаковую систему отсчета. AV1 увеличивает самый большой блок кодирования до  $128 \times 128$ .
- Внутреннее прогнозирование. VP9 поддерживает 10 режимов внутреннего прогнозирования, включая восемь режимов направления, соответствующих углам от 45 до 207 градусов, и два ненаправленных предиктора.
- Интер прогноз. Компенсация движения является важным модулем в кодировании видео. В VP9 допускается до двух ссылок, среди трех потенциальных систем отсчета, тогда предиктор либо управляет блочной компенсацией поступательного движения, либо усредняет два таких прогноза, если сигнализируются две ссылки. AV1 имеет более мощный интеркодер, который в значительной степени расширяет пул систем отсчета и векторов движения.
- Энтропийное кодирование. VP9 использовал древовидный неадаптивный двоичный арифметический кодировщик для кодирования всех синтаксических элементов.

### III. Дискуссия

Из-за растущего интереса к производительности AV1 было предпринято много усилий для проведения сравнения производительности AV1 и других основных кодировщиков других форматов. Ссылки [8] утверждают, что AV1 работает лучше, чем H.265 по метрике PSNR. Другие работы, на-



пример [9], утверждают о гораздо худшей производительности AV1. В статье [7] представлены сравнения команд разработчиков. Использование H.265, а также H.264 требует лицензионных сборов, поэтому практически невозможно использовать их в бесплатных решениях с открытым исходным кодом. Сумма роялти еще более значима для компаний, занимающихся бизнесом по предоставлению услуг по предоставлению видео по запросу, и систем с большим количеством видео для хранения и передачи, таких как Google от YouTube и Netflix. Все это создает спрос на бесплатные кодеки, такие как Google VP9, VP10, которые предназначены для обеспечения конкурентоспособной эффективности сжатия бесплатно.

В последнее время сжатие изображений нейронной сети стало популярной темой. Как показали Birman and et al. [10], основное отличие: исходное изображение трансформируется в пространство объекта и преобразуется обратно в реконструированное изображение. Различия между исходным изображением и реконструированным изображением используются в качестве функции потерь для обучения нейронных сетей. Развитие исследований в области кодирования видео на основе нейронных сетей сосредоточено на двух разных направлениях: (1) улучшение существующих видеокодеков путем создания лучших прогнозов, которые включены в одну и ту же структуру кодека, и (2) целостные сквозные схемы сжатия изображения/видео. Целостные методы, предлагаемые для сжатия видео, сильно отличаются друг от друга и используют существенно разные подходы. Единственный способ сравнить их – посмотреть на их результаты. До сих пор ни один из предложенных методов не привел к прорыву, который бы оправдал полностью изученную структуру сжатия видео. Учитывая состояние исследований в этой области, пока рано определять наиболее перспективное направление или сравнивать предложенные алгоритмы по общепринятым критериям.

Потоковое видео продолжает занимать растущую долю пропускной способности Интернета, и ожидается, что к 2022 году 82% интернет-трафика будет составлять видео [1]. В связи со взрывным ростом видеотрафика усовершенствования технологий кодирования видео имеют решающее значение для компаний, работающих с потоковым видео в ближайшие годы.

Таблица 2

Краткое изложение различий между H.265, H.266, WebP и Сжатие на нейронной сети

Сравнение	H.265 (HEVC)	H.266 (VVC)	WebP	Сжатие на нейронной сети
Блок преобразования	64 × 64	128 × 128	128 × 128	128 × 128
Фильтрация	линейная (2-tap) фильтрация	интерполяции фильтра с четырьмя касаниями	-	-
число направленных внутренних режимов в тестовой модели	33	65	-	-
Применение	Получил широкое применение в сетях распространения потокового видео, на спутниковых платформах, а также при записи Blu-ray дисков.	позволяет работать с видео во всех разрешениях – от SD до 8K, поддерживается видео с высоким динамическим диапазоном	широко используются Google и YouTube для улучшения своих видеосервисов	Используется в качестве функции потерь обучения нейронных сетей
Патент	MPEG LA	Joint Video Experts Team (JVET)	Google	Galaxy IP Source, LLC
ROI (Зоны интереса)	Да	Да	Нет	Нет

На современном этапе развития технологий системы кодирования видео показывают качественные и полностью удовлетворительные результаты. Важнейшие инструменты, необходимые для решения проблем качества видео в потоковом видео, таких как создание кодеков с использованием целого или частичного машинного обучения – это базы данных соответствующего разнообразного видеоконтента и искажений, помеченные адекватным количеством субъективных данных. Однако, согласно [5], текущие базы данных оценки качества видео (VQA) содержат только небольшое количество видеопоследовательностей с небольшим разнообразием контента, таким образом, предлагая ограниченную поддержку для разработки и оценки методов кодирования с использованием глубокого обучения эффективно и справедливо.

Кроме того, эти базы данных были в основном предназначены для включения только искусственно искаженных видеопоследовательностей для имитации потери качества при сжатии, передаче и других частях конвейера обработки и распределения видео. Еще одним немаловажным фактом является производительность создания базы или другими словами оптимизация сбора субъективных оценок.

Как описано выше самая большая проблема сейчас при создании кодеков, использующих машинное обучение, это нехватка данных, или, другими словами, масштабных баз данных. При привлечении людей к тестам, необходимо четко создать путь проведения тестов, который будет учитывать максимально возможное количество обработок артефактов при минимальном числе экспериментов.

### Литература

1. *Richardson I.E. G.* H.264 and MPEG-4 Video Compression: Video Coding for Next-generation Multimedia, Chichester, England: John Wiley & Sons, 2003.
2. *Sullivan G. J., Jens O., Han W.-J., Wiegand T.* Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol.: 22, pp. 1649-1668, 2012.
3. *Chen J., Liu S., Kim S.* Algorithm description for Versatile Video Coding and Test Model 5 (VTM 5) // 14th Meeting: Geneva, 19-27 Mar. 2019.
4. *Wieckowski, J. Ma, Schwarz H, Marpe D., Wiegand T.* Fast partitioning decision strategies for the upcoming Versatile Video Coding (VVC) standard // 2019 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Taipei, Taiwan, 22-25 Sept. 2019, DOI: 10.1109/ICIP.2019.8803533
5. *Wieckowski, J. Ma, George V., Schwarz H., Marpe D., Wiegand T.* Generalized binary splits: A versatile partitioning scheme for block-based hybrid video coding // 2019 Picture Coding Symposium (PCS), Ningbo, China, 12-15 Nov. 2019, DOI: 10.1109/PCS48520.2019.8954564
6. *Filippov A., Ruffitskiy V.* Recent Advances in Intra Prediction for the Emerging H.266/VVC Video Coding Standard // 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), Novosibirsk, Russia, 21-27 Oct. 2019, DOI: 10.1109/SIBIRCON48586.2019.8958416.
7. *Chen Y., Mukherjee D., Han J., Grange A., Xu Y., Parker S., Chen C., Su H., Joshi U., Ching-Han C., Wang Y., Wilkins P., Bankoski J., Trudeau L., Egge N., Valin J., Davies T., Midtskogen S., Norkin A.* An Overview of An Overview of Coding Tools in AV1: the First Video Codec from the Alliance for Open Media // Signal and Information Processing, vol: 9, pp. 1-15, 2020.
8. *Akyazi P., Ebrahimi T.* Comparison of compression efficiency between hevc/h.265, vp9 and av1 based on subjective quality assessments // 2018 Tenth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX), May 2018, DOI:10.1109/QoMEX.2018.8463294.
9. *Guo L., Cock J., Aaron A.* Compression performance comparison of x264, x265, libvpx and aomenc for on-demand adaptive streaming applications // 2018 Picture Coding Symposium (PCS), San Francisco, USA, 24-27 June 2018, DOI: 10.1109/PCS.2018.8456302.
10. *Birman R., Segal Y., Hadar O.* Multimedia Tools and Applications Overview of Research in the field of Video Compression using Deep Neural Networks // Multimedia Tools and Applications, vol.: 79, pp. 11699-11722, 2020.

## ОБЗОР МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ЗОНДИРУЮЩИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ РАДАРА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ АНТЕННЫ

**Косичкина Татьяна Павловна,**

*МТУСИ, зав. кафедрой, к.т.н., доц., Москва, Россия*

[t.p.kosichkina@mtuci.ru](mailto:t.p.kosichkina@mtuci.ru)

**Косичкина София Романовна,**

*МТУСИ, аспирант, Москва, Россия*

[sofkos@yandex.ru](mailto:sofkos@yandex.ru)

**Шубина Мария Валерьевна,**

*МТУСИ, старший преподаватель, Москва, Россия*

[m.v.shubina@mtuci.ru](mailto:m.v.shubina@mtuci.ru)

### **Аннотация**

*Рассматриваются особенности радиолокационных сигналов, предназначенных для радаров с синтезированной апертурой. Анализируются алгоритмы формирования и обработки таких сигналов. Сравниваются методы цифрового формирования различных типов зондирующих сигналов, приводятся структурные схемы формирователей.*

**Ключевые слова:** *Радиолокационные сигналы, методы формирования радиолокационных сигналов, вычислительная сложность, фазокодоманипулированные сигналы, сигналы с линейной частотной модуляцией, полифазные сигналы.*

### **Введение**

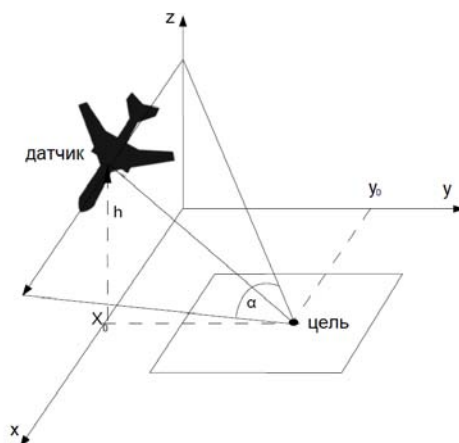
Радиолокационные станции (радары) с синтезированной апертурой (РСА) широко используются в задачах дистанционного зондирования земли, в частности для наблюдения за погодой, обнаружения лесных пожаров, картографирования с высоким разрешением и т.п., а также для обнаружения наземных целей. Особенность РЛС этого типа состоит в том, что получаемое радиолокационное изображение является двумерным, благодаря тому, что используется дополнительная информация, получаемая при движении датчика относительно цели.

Традиционно для получения радиолокационных изображений с высоким разрешением в РСА в качестве зондирующих сигналов использовались сигналы с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) [1]. Их формирование осуществлялось с помощью аналоговых методов, а обработка могла вестись как аналоговыми, так и цифровыми методами, в том числе с помощью устройств оптической обработки [2].

В настоящее время успехи в области цифровой обработки сигналов выдвигают новые требования к зондирующим сигналам. В том числе возникает необходимость поиска новых видов сигналов и способов их формирования для достижения высоких показателей разрешения в азимутальном направлении. В данной работе рассматриваются различные виды зондирующих сигналов сложной формы с повышенной разрешающей способности и сравнивается сложность их формирования и обработки.

### **Особенности обработки сигналов в радарх с синтезированной апертурой**

Радиолокационные станции с синтезированной апертурой (РСА) для получения двумерных изображений с высоким разрешением используют относительное движение между целью и датчиком, который обычно размещается на платформе (рис. 1). Основная концепция РСА заключается в использовании специализированной обработки сигналов для получения большей длины (апертуры) антенны. Радары с синтезированной апертурой имеют высокое разрешение по дальности и азимуту за счет сжатия импульсов, например, с помощью согласованной фильтрации.



**Рис. 1.** Схема формирования сигнала в радаре с синтезированной апертурой

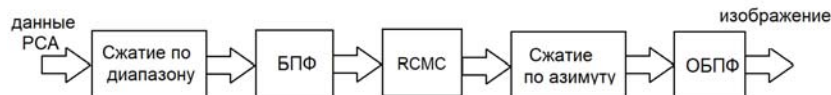
При движении относительно цели радар передает сигналы в сторону цели и принимает отраженный сигнал, который затем сохраняется в массиве необработанных данных. Необработанный сигнал на выходе РСА представляет из себя двумерный массив, данные которого по одной стороне относят к направлению дальности, а по другой – к азимутальному направлению. Разрешение по дальности определяется зондирующим импульсом, тогда как разрешение по азимуту определяется движением платформы.

Широко известно, что разрешение по дальности улучшается с уменьшением ширины зондирующего импульса, а отношение сигнал/шум увеличивается с увеличением ширины импульса. Это противоречие обычно решают с помощью применения сложных сигналов и последующего сжатия импульсов.

Как правило, разрешение радара по азимуту зависит от ширины луча, так как если две цели расположены в зоне одного и того же луча, то они трудноразличимы. В радаре с синтезированной апертурой в азимутальном направлении также производится сжатие импульса, поскольку отраженный сигнал вследствие движения платформы приобретает дополнительную модуляцию [3].

Двумерная обработка сигнала преобразует энергию точечной цели в точки на выходном изображении РСА [4]. После сжатия импульсов изображение формируется с помощью двумерной обработки либо в пространственной области, либо в частотной области. Применение обработки в частотной области увеличивает быстродействие, так как операция свертки при этом заменяется операцией умножения. Для перехода в частотную область данные РСА подвергаются преобразованию Фурье.

Известно множество алгоритмов обработки, среди которых наибольшей известностью обладает алгоритм дальнего Доплера, который считается наиболее простым и точным алгоритмом (рис.2). Он включает в себя сжатие по диапазону, азимутальное БПФ, коррекцию миграции ячейки дальности (RCMC), азимутальное сжатие и азимутальное ОБПФ. Сжатие по диапазону, в свою очередь, включает: выполнение преобразования Фурье с последующим применением согласованной фильтрации, т. е. умножения полученных данных на обращенное во времени комплексное сопряжение шаблона сигнала, а затем обратное преобразование Фурье.



**Рис. 2.** Алгоритм обработки сигналов РСА

Задачи различения и разрешения могут усложняться априорно неизвестным доплеровским смещением несущей частоты из-за относительного движения РЛС и цели, что также затрудняет обработку сигналов в реальном масштабе времени из-за наличия дополнительных доплеровских каналов обработки.

Целью выполнения азимутального БПФ является преобразование сигнала со сжатием по дальности в область доплеровского смещения. Из-за движения платформы наклонная дальность полета цели меняется; следовательно, точечная цель может быть видна в ячейках с разным разрешением. Алгоритм RCMC - это алгоритм интерполяции, который исправляет миграцию ячейки. Для точечных целей, которые находятся в одном интервале дальности, но разделены по азимуту, при преобразовании в область доплеровского измерения дальности энергия каждой из этих целей совмещается.

Следующим этапом является сжатие по азимуту, которое, как и сжатие по диапазону, включает применение согласованной фильтрации к скорректированному сигналу. После применения согласованного фильтра выполняется обратное преобразование Фурье для преобразования сигнала обратно во временную область как по дальности, так и по азимуту. На выходе получается изображение РСА.

В зависимости от типа передаваемого сигнала могут использоваться различные методы уменьшения боковых лепестков. В основном, существует два способа уменьшения боковых лепестков: первая заключается в разработке фильтра, непосредственно реализующего сжатие импульсов и подавление боковых лепестков одновременно; другой заключается в добавлении фильтра уменьшения боковых лепестков после согласованного фильтра [5].

### **Методы формирования сигналов для радаров с синтезированной апертурой**

Качество работы радиолокационной системы целиком определяется типом излучаемых сигналов. При этом желательно иметь высокое разрешение по дальности при сохранении адекватной средней передаваемой мощности. Потенциально возможные характеристики работы системы достигаются при излучении сложных сигналов с внутримпульсной модуляцией, в которых импульсы внутренне модулируются по частоте или фазе. В литературе существуют три основных формы сложных сигналов, а именно, сигналы с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ), фазокодоманипулированные сигналы (ФКМ) и сигналы с нелинейной частотной модуляцией.

При использовании ЛЧМ радар работает непрерывно, и частотная модуляция передаваемого сигнала используется для измерения расстояния до рассеивающего объекта.

Пассивный метод формирования [2] использует формирующий фильтр с квадратичной фазочастотной характеристикой (ФЧХ), такую характеристику можно реализовать с помощью фильтра на ПАВ. Сигнал формируется на промежуточной частоте. Достоинство фильтрового метода формирования - простота. К недостаткам относятся малый уровень сигнала из-за пассивного метода и затухания в линии задержки на ПАВ (до 10 дБ), поэтому после формирования требуется дополнительное усиление.

Для сжатия диапазона при обработке ЛЧМ сигналов часто применяется метод вычитания быстро меняющейся азимутальной фазы (дерампинг) [6] для упрощения снижения частоты дискретизации. Однако такой метод работает правильно только в случае, линейного изменения частоты сигнала. Наличие нелинейностей в сигнале ухудшает разрешающую способность по дальности при использовании метода уменьшения амплитуды, поскольку нелинейности распределяют энергию цели по разным частотам. Эта проблема фактически ограничивала использование ЛЧМ-систем высокого разрешения приложениями малого радиуса действия, особенно при использовании дешевых компонентных решений.

В литературе ФКМ сигналы сгруппированы в две категории:

- сигналы с двухфазным кодированием, которые имеют два возможных фазовых состояния: 0 и  $\pi$  (или уровни сигнала  $\pm 1$ );
- сигналы с многофазным кодированием, которые имеют более двух фазовых состояний. Это случай многофазных кодов Баркера, Фрэнка, кодов Задова-Чу и др.

Коды Баркера широко используются в радиолокационных приложениях. Для любой длины  $M$  автокорреляционная функция кода Баркера имеет равные боковые лепестки и четко определенный пик на своем главном лепестке. Пиковое отношение боковых лепестков к главным лепесткам равно  $1/M$ . К сожалению, максимальная четная длина кода Баркера равна 4, а максимальная нечетная длина равна 13, что не позволяет получить приемлемого разрешения.

Из-за ограничения длины кодов Баркера были предложены многофазные коды Баркера для получения отношения пикового бокового лепестка к главному лепестку аналогично кодам Баркера с большим  $M$ . Эти коды могут быть получены с помощью различных методов поиска. Таким образом, фазы многофазных кодов Баркера либо не ограничены, либо ограничены корнем  $P$ -й степени из еди-

ницы, так что допустимое приращение фазы равно  $P$ , где  $P$  является целым числом больше 2. Известны многофазные коды Баркера с длиной более 60 [7].

В [8] для задачи различения сигналов предлагается использовать ФКМ сигналы, кодированные ансамблями ортогональных функций. Данные сигналы синтезируются на основе базиса Виленкина-Крестенсона (ВК). Данные сигналы названы авторами полифазными когерентными дополнительными сигналами (КДС). Однако, как отмечают сами авторы, такие сигналы имеют нулевую зону автокорреляции только при полном согласовании фильтра с сигналом.

Рассмотрим методы формирования перечисленных сигналов с точки зрения вычислительной сложности. Известны цифровые способы формирования ЛЧМ-сигналов, например, с помощью ПЗУ [2] (рис.3). На рисунке применяются следующие обозначения: ФАФ – формирователь адресов фаз, ПЗУ – программируемое запоминающее устройство. Значения выборок амплитуд и фаз хранятся в программируемом запоминающем устройстве. В квадратурных каналах вычисляются значения косинусов и синусов фаз, и производится умножение на выборки амплитуд. Далее производится цифро-аналоговое преобразование. Фазы вычисляются по формуле:  $\phi_n = B\{0,5 - n/N\}$ , где  $B$  – база сигнала,  $N$  – число отсчетов фазы,  $N = (2 \div 3)B$ .

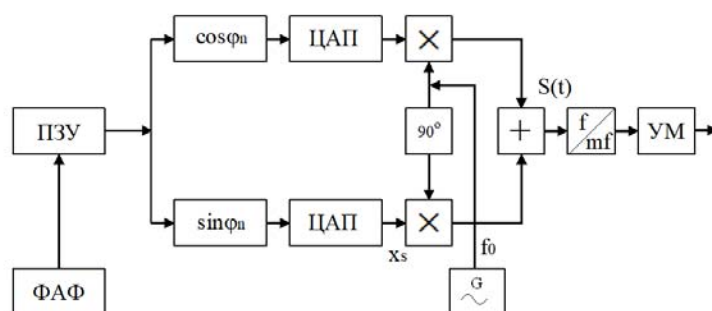


Рис. 3. Схема цифрового формирователя ЛЧМ-сигнала [2]

При таком способе формирования незначительно возрастают боковые пики автокорреляции. При умножении частот появляются комбинационные частоты, поэтому  $N$  выбирают так, чтобы их уровень был минимальным. В данном способе формирования вместо ПЗУ можно использовать регистры, в которых содержится текущее значение частоты и фазы [2]. Достоинством цифрового формирователя ЛЧМ-сигнала является высокая точность формирования. Вычислительная сложность данного метода невелика, она состоит только в считывании отсчетов из памяти и преобразование их в квадратуры. Однако имеется ограничение на быстродействие: число выборок фазы должно быть достаточно велико, примерно равным  $N = nB$ , где  $n \geq 3$ . При этом возрастает также необходимый объем ПЗУ.

Формирование полифазных последовательностей рассмотрим на примере формирования последовательностей Задова-Чу. К настоящему времени известно несколько методов формирования последовательности Задова-Чу, в том числе: табличный метод, квадратурный метод, метод скачкообразной перестройки частоты, метод временных задержек и т.д.

Если длина последовательности равна  $N$ , то для генерации исходной последовательности требуется  $2N$  умножений и для выполнения операции ДПФ требуется порядка  $N \log_2(N)$  умножений.

Вычислительная сложность формирователя может быть уменьшена с использованием алгоритма, предложенного в [9]. Его особенность в том, что, во-первых, пропускается операция ДПФ, при помощи непосредственной генерации последовательности в частотной области, которая также является последовательностью Задова-Чу, но с другими параметрами. Во-вторых, для генерации последовательности или во временной, или в частотной области, вместо обычной квадратично-экспоненциальной формулы используется рекурсивная формула. В-третьих, чтобы выполнить расширение или усечение последовательности, вычисление по рекурсивной формуле останавливаются раньше или позже, чем период последовательности. Таким образом, можно избежать операций копирования памяти и передачи в память, которые в противном случае были бы необходимы для операции расширения. В-четвертых, циклический сдвиг конечной последовательности во временной области выполняется как линейное изменение фазы в частотной области. Этот метод не требует допол-

нительных операций инициализации содержимого регистра в случае использования рекурсивного метода формирования.

Структурная схема формирователя приведена на рисунке 4.

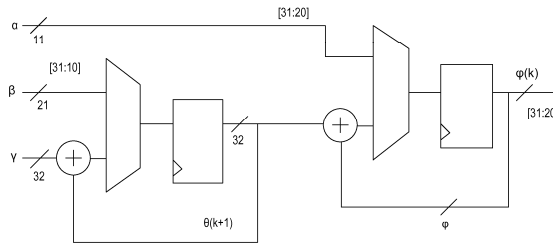
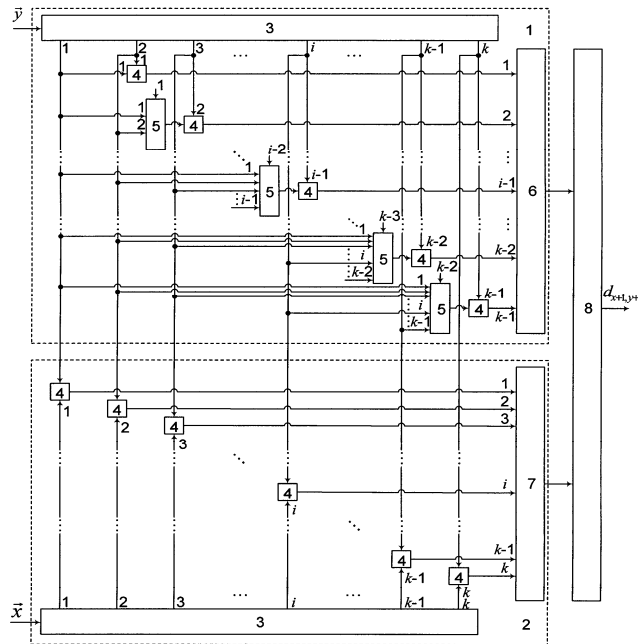


Рис. 4. Формирователь полифазных последовательностей Задова-Чу [9]

В работе [10] было проведено исследование, которое показало, что в зависимости от формата представления чисел может возникать небольшое, без резких выбросов, увеличение боковых лепестков автокорреляционной функции. Также в этой работе было уделено внимание формированию синусоидального сигнала методом CORDIC. Вычислялась ошибка формирования последовательности Задова-Чу с применением алгоритма CORDIC и исследовалась зависимость этой ошибки от числа итераций. Было показано, что уже при числе итераций, равном 8, можно получить достаточно высокую точность формирования. Зависимость максимальной величины боковых лепестков периодической автокорреляционной функции от числа итераций и длины последовательности  $N$  показала, что с увеличением длины последовательности ослабевает влияние числа итераций алгоритма CORDIC на величину боковых лепестков автокорреляционной функции. То есть даже при небольшом числе итераций можно получить низкий уровень боковых лепестков.

Когерентные дополнительные сигналы, согласно [11], формируются с помощью блока формирования первой строки матрицы D-кода, блока формирования матрицы ВК-Кронекера регистров, умножителей, электронных ключей и сумматоров по модулю 2 (рис. 5).

Как несложно понять из приведенной схемы, при длине последовательности  $N$ , данный формирователь будет производить  $(N-1)N$  операций умножения, и операцию сложения по модулю 2. Для формирования бифазного сигнала можно использовать матрицу Уолша-Адамара, как частный случай матрицы ВК.



1 – блок формирования первой строки матрицы D-кода, 2 – блок формирования матрицы ВК-Кронекера, 3 – регистр, 4 – умножитель, 5 – электронный ключ, 6, 7, 8 – сумматоры по модулю  $p$

Рис. 5. Схема формирователя КДС [11]

### Заключение

Радары с синтезированной апертурой все чаще применяются в различных сферах. Проектирование таких систем невозможно без поиска новых методов синтеза широкополосных сигналов, основанных, в частности, на использовании кодовых двоичных последовательностей со специфическими корреляционными свойствами. При этом наряду с задачей исследования теоретических аспектов существования новых семейств сигналов, важна также и проработка технологических вопросов их практического генерирования и обработки.

Сложность формирования идеального ЛЧМ сигнала состоит в сложности формирования идеального пилообразного импульса.

Полифазные сигналы обладают высокой помехоустойчивостью, структурной скрытностью и относительно малым уровнем боковых лепестков автокорреляционной функции. Однако для обработки таких сигналов необходимо затрачивать большее количество алгебраических операций сложения и умножения из-за наличия реальной и мнимой частей отсчетов сигнала, что приводит к увеличению времени обработки.

Проще всего формируется ФКМ сигнал, для его формирования в последние годы предложены новые эффективные методы с небольшими вычислительными затратами.

### Литература

1. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы. Пер. с англ. / под ред. В. С. Кельзона. М.: Советское радио, 1971. 568 с.
2. Сперанский В.С. Радиолокация, радиолокационные системы и устройства. М.: Брис-М, 2011. 252 с.
3. Curlander J.C., McDonough R.N. Synthetic Aperture Radar. Systems and Signal Processing. John Wiley, 1991. 333 p.
4. Synthetic Aperture Radar (SAR) Implementation on a TMS320C6678 Multicore DSP. URL: <https://www.ti.com/lit/wp/spry276/spry276.pdf> (дата обращения 12.01.2022).
5. Metwally, Ibrahim & Elbardawiny, Abd & Ahmed, Fathy & Fahim, Hazem. (2019). A generic analytical formula for range side-lobes cancellation filters in pulse compression phase coded waveforms. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 610. 012030. 10.1088/1757-899X/610/1/012030.
6. Gromek, Damian & Samczynski, Piotr & Misiurewicz, Jacek & Malanowski, Mateusz & Kulpa, Krzysztof & Gromek, Artur & Gados, Andrzej & Jarzebska, A. & Smolarczyk, Maciej. (2013). New high resolution SAR modes for an airborne maritime patrol radar – Implementation and results. International Journal of Electronics and Telecommunications. 59. 1-4. 10.1109/SPS.2013.6623571.
7. M. A. Richards, J. A. Scheer, and W. A. Holm. Principles of modern radar, Vol. I: Advanced techniques. SciTech Publishing, 2010.
8. Баскаков А.И., Ипанов Р.Н., Комаров А.А. Фазокодоманипулированные радиолокационные сигналы для точного определения дальности и скорости малоразмерных космических объектов // Журнал радиоэлектроники. 2018. № 12. С. 2.
9. Peter Gaal. «Efficient zadoff-chu sequence generation», WO 2011127007 A1, 2011 г.
10. Шубина, М. В., Косичкина Т. П. Исследование вопросов точности формирования последовательности Задова-Чу // Телекоммуникации и информационные технологии. 2019. Т. 6. № 2. С. 29-34.
11. Патент № 2670773 С1 Российская Федерация, МПК G06F 1/02, H04J 13/10. Способ формирования множества ансамблей р-ичных D-кодов : № 2017133154 : заявл. 22.09.2017 : опубл. 25.10.2018 / Р. Н. Ипанов.



## ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ БЫТОВОГО МУСОРА

**Менибаев Максим Радмирович,**

*Московский Технический Университет Связи и Информатики, магистрант, Москва, Россия,*  
[menibaevmaksim@mail.ru](mailto:menibaevmaksim@mail.ru)

**Воронов Вячеслав Игоревич,**

*Московский технический университет связи и информатики, к.т.н., доцент, Москва, Россия,*  
[vorvi@mail.ru](mailto:vorvi@mail.ru)

### **Аннотация**

*В статье описывается процесс проектирования и реализации нейронной сети, осуществляющей распознавание бытового мусора. В работе описывается процесс подготовки необходимого набора данных, процесс обучения и тестирования нейронной сети, путем подбора оптимальных параметров количества эпох и скорости обучения, анализ полученных результатов работы сети.*

**Ключевые слова:** *Нейронные сети, машинное обучение, интеллектуальный анализ данных, распознавание объектов, сортировка мусора*

### **Введение**

Машинное обучение является важным компонентом науки о данных, которая сейчас развивается стремительными темпами. С помощью статистических методов алгоритмы обучаются классифицировать данные, строить прогнозы и выделять важные моменты в ходе проектов по сбору и анализу данных. От этих выкладок зависит дальнейшее принятие решений в отношении приложений и предприятий, а в идеале они должны положительно сказаться на основных показателях роста.

В современном мире модели машинного обучения используются при распознавании речи, жестов, поиске объектов на изображении, медицинской и технической диагностике, при создании модулей рекомендаций для покупателей, автоматизации биржевой торговли и во многих других сферах [1].

Повсеместное применение технологий машинного обучения, как ни что иное говорит о ее актуальности, и, следовательно, об актуальности данной работы. Исследование в этом направлении проводятся и на кафедре ИСУиА МТУСИ [2, 3, 4].

Внедрение машинного обучения в области сортировки отходов является передовым и развивающимся методом. Об этом говорит большое число объемных и информативных исследований, выполненных зарубежными коллегами [5, 6, 7], а также реально существующие компании, реализующие данный метод. Среди них можно выделить следующие:

*AMP Robotics:* Компания создает полностью автоматизированные комплексы сортировки мусора. Два ее главных продукта - AMP Cortex (робот-паук) и AMP Neuron (система искусственного интеллекта для классификации отходов). На данный момент точность распознавания составляет 98%, что является крайне высоким показателем [8].

*Cambridge Consultants:* Компания разработала бак, использующий технологию компьютерного зрения и методы МО. Мусор помещается на специальную панель, после чего несколько секунд сканируется системой, после чего необходимое для утилизации отверстие загорается зеленым цветом. Основная задача – помочь пользователю разделить перерабатываемые и не перерабатываемые отходы, т.к. это не так просто как кажется. Например, бумажный стаканчик для кофе может содержать тонкий слой пластика, из-за чего его нельзя будет переработать [9].

Можно сделать вывод, что использование методов ИАД в сфере сортировки мусора может положительно повлиять на производительность соответствующих предприятий. Так как на данный момент процесс сортировки в основном выполняется людьми вручную, внедрение машинного обучения позволит в значительной степени сохранить человеческие ресурсы и кроме того повысить точность распознавания мусора.

Проанализировав предметную область, можно сформировать ряд задач, при выполнении которых можно будет добиться поставленной цели, а именно: проектирование и реализация нейронной сети, подготовка соответствующего набора данных, а также обучение и тестирование сети.

### Обзор современных архитектур нейронных сетей

Среди передовых архитектур можно выделить следующие:

*AlexNet*: Сеть AlexNet обучена на наборе данных ImageNet с 15 миллионами изображений с высоким разрешением. Она имеет несколько сверточных слоев и глубже, чем искусственная нейронная сеть LeNet [10].

*Overfeat*: Эта архитектура нейронных сетей исследует три известные задачи машинного зрения: классификацию, локализацию и обнаружение, используя единую структуру. Она обучает модели всем трем задачам одновременно для повышения точности. Является модификацией AlexNet [11].

*GoogleNet Inception*: Архитектура Inception Neural Networks имеет три сверточных слоя. Каждый слой имеет фильтры разного размера для параллельного обучения.

Сверточный слой небольшого размера фильтра обрабатывает небольшую информационную область. Большой размер фильтра захватывает большую единицу информации. Архитектура GoogleNet состоит из начальных блоков, которые имеют сверточные слои 1x1, 3x3, 5x5, за которыми следует максимальное объединение 3x3 с дополнением (чтобы выходные данные были той же формы, что и входные данные) на предыдущем слое, после чего следует конкатенация их выходных данных [12].

*MobileNets*: Сеть MobileNets использует разделяемые по глубине свертки для создания облегченных глубоких нейронных сетей. Применяются в моделях с малой задержкой, которые используются для таких приложений, как роботы, беспилотные автомобили и т. д. Она считается наилучшей для мобильных устройств, откуда следует название - MobileNets.

Вместо одного большого фильтра у MobileNet есть два фильтра: Каждый проходит по одному каналу за раз, чтобы определить, как связаны все пиксели в канале. Другой просматривает все каналы одновременно, чтобы увидеть, как один пиксель связан с каждым другим пикселем, который следует за ним [13].

### Описание обучающего набора данных

Обучающий набор или датасет (от англ. Data – данные и set – располагать) – это набор структурированных данных, используемых для обучения нейронной сети. Также существует проверочный набор (или набор перекрестной проверки) он требуется из-за того, что в процессе обучения сеть может слишком сильно подстроиться под данные, на которых обучается. В результате такая модель не сможет работать с данными отличными от обучающего набора. Это явление называется переобучением, чтобы избежать этого нужен проверочный набор, на котором контролируется, как модель предсказывает и тестовый набор, который используется для проверки работоспособности нейронной сети. Тестовый набор используется только один раз, когда сеть полностью обучена, для финальной оценки. Обычно на проверочный набор выделяется 25% данных и на тестовый 25% остальные данные используются для обучения [14].

Обучающий набор можно создать самостоятельно, но ввиду большого объема работы можно использовать готовый, созданный заранее набор данных. Такие наборы размещаются в открытом доступе и создаются специалистами для специалистов, а также энтузиастов нейросетевого моделирования.

Ниже перечислены некоторые из ресурсов, предоставляющих сформированные наборы обучающих данных:

1. Google Dataset Search. Позволяет по ключевому слову искать датасеты по всей Сети. Сервис похож на аналогичный Google Scholar, используемый для поиска научных статей. Все датасеты, размещенные на нем имеют полное описание, то есть известны их размеры, дата создания и ссылки на статьи, в которых они были задействованы [15].

2. Kaggle. Площадка позволяет получить первичные навыки в области, изучить сложные темы, участвовать в соревнованиях по машинному обучению, а также обсудить интересующие вопросы на форуме. Кроме того, на сервисе представлено большое количество обучающих наборов, в том числе крайне редких, например, база оценок качества автомобильных покрышек [16].

3. UCI Machine Learning Repository. Один из старейших и крупнейших источников датасетов в Сети (Первый архив был создан в 1987 году). Для загрузки баз не требуется регистрация, а новые данные может добавить любой пользователь, что является как плюсом, так и минусом. Основными являются данные по медицине, социологии и физике [17].

4. VisualData. Сервис поиска датасетов для компьютерного зрения. Данные разделены по категориям и популярности [18].

5. Data.Gov. Сервис общедоступных данных из США. Содержит более 200 000 наборов данных, охватывающих все, от изменения климата до преступности. Он имеет несколько удобный поиск, в том числе возможность детализации по географическому региону, типу организации и формату файла [19].

Мы будем использовать датасет, являющийся комбинацией данных, расположенных в открытом доступе. Он состоит из изображений основных категорий бытовых отходов, а именно: стекло, металл, пластик, картон, бумага и несортируемые отходы (огрызок яблока, пакетик чая и т.д).

Всего было использовано 2527 изображений из них:

Стекло – 501, металл – 410, пластик – 482, картон – 403, бумага – 594, несортируемые отходы – 137.

На рисунке 1 представлены несколько элементов из обучающего набора.



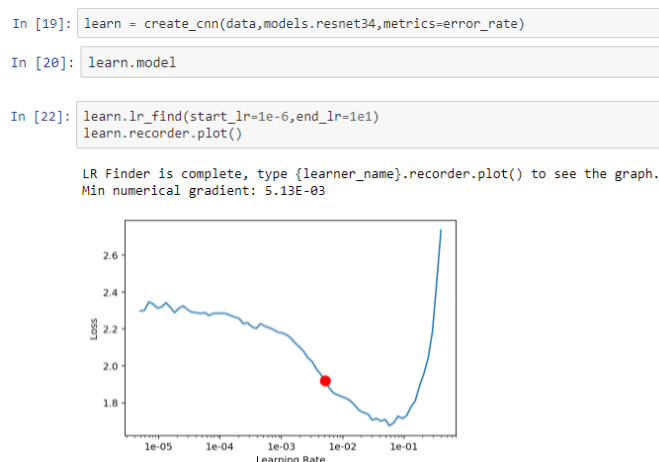
Рис. 1. Несколько элементов из обучающего набора

### Обучение и тестирование НС

Краткое описание алгоритма работы разрабатываемой сети выглядит следующим образом: Сначала изображения из датасета разделяются по папкам с обучающими, проверочными и тестовыми данными (в соотношении 50-25-25), а затем внутри каждой из них сортируются по папкам, соответствующим материалу мусора, изображенного на фотографии. Затем происходит их свертка и оптимизация. Полученные изображения поступают на вход нейронной сети, она извлекает из них некоторые признаки и производит оценку полученных результатов. После чего делает вывод о принадлежности объекта на фотографии к тому или иному классу.

Для решения задачи распознавания мусора будем использовать предварительно обученную нейронную сеть ResNet34. ResNet34 - это 34-х слойная сверточная нейронная сеть, которую можно использовать в качестве современной модели классификации изображений. Это модель, которая была предварительно обучена на наборе данных ImageNet, который содержит более 100 000 изображений в 200 различных классах. Однако она отличается от традиционных нейронных сетей тем, что берет остатки с каждого слоя и использует их в последующих связанных слоях (аналогично остаточным нейронным сетям, используемым для предсказания текста).

Программный код для импорта нейронной сети и поиска оптимальной скорости обучения при помощи метода градиентного спуска представлен на рисунке 2.



**Рис. 2.** Импорт сети и поиск скорости обучения. График зависимости функции стоимости от скорости обучения

Средство поиска скорости обучения предлагает использовать скорость обучения 5.13e-03.

Обучим сеть используя вычисленное значение скорости, а также разное количество эпох. Результаты исследования представлены в таблице 1.

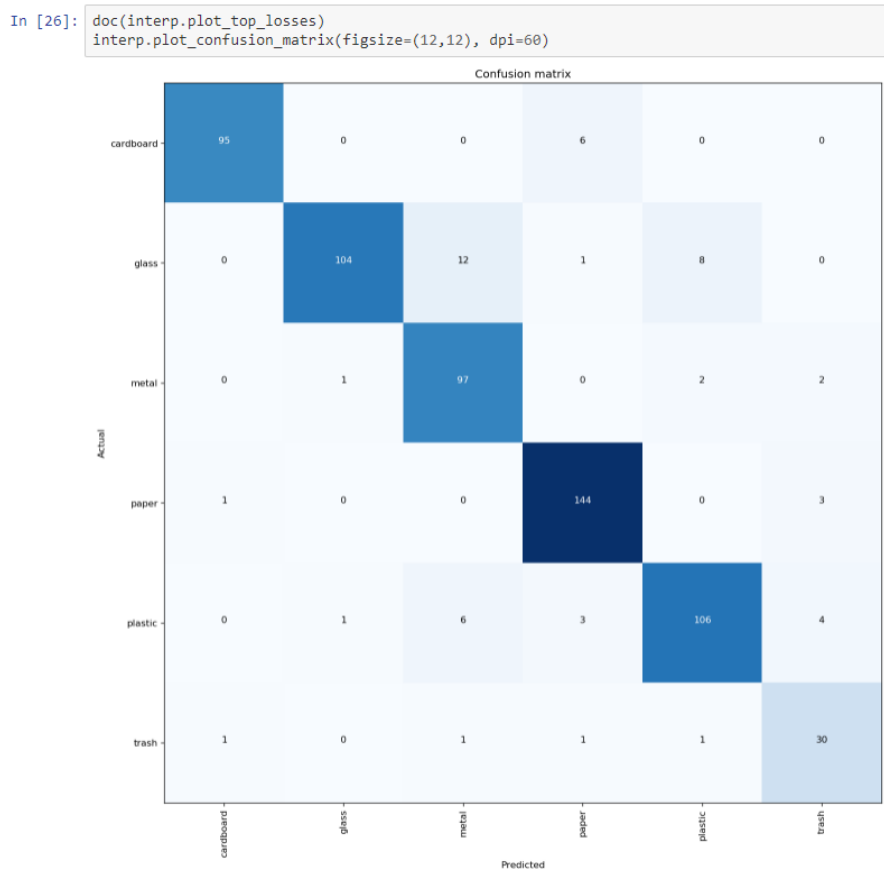
Таблица 1

Зависимость количества ошибок от числа эпох

Число эпох	Ошибка обучения	Ошибка проверки	Ошибка тренировки
1	1.422490	0.761797	0.247619
2	0.885877	0.511399	0.179365
3	0.708581	0.399528	0.131746
4	0.631002	0.613640	0.206349
5	0.654630	0.580892	0.200000
6	0.659428	0.520196	0.165079
7	0.605400	0.496592	0.192063
8	0.563043	0.474075	0.161905
9	0.567712	0.362857	0.126984
10	0.469160	0.405082	0.138095
11	0.388375	0.368657	0.114286
12	0.371042	0.378168	0.128571
13	0.343517	0.327387	0.109524
14	0.332915	0.256822	0.084127
15	0.289463	0.244275	0.093651
16	0.207786	0.234321	0.082540
17	0.189554	0.224217	0.082540
18	0.209886	0.220370	0.085714
19	0.191042	0.209464	0.076190
20	0.196607	0.221571	0.085714

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что при числе эпох равном 19 ошибки являются минимальными, а затем начинают увеличиваться. Ошибка тренировки составляет всего 7.6%, т.е. крайне небольшая.

Далее построим матрицу ошибок, чтобы сравнить реальные значения с прогнозами нейронной сети (на обучающем наборе). Данное действие показано на рисунке 3.



**Рис. 3.** Построение матрицы ошибок на обучающем наборе

В матрице ошибок столбцами являются предсказания сети, а строками фактические значения материала. После анализа данной матрицы можно сделать вывод о том, что разработанная нейронная сеть чаще всего путает стекло с металлом и стекло с пластиком. Хотя количество данных ошибок незначительно, относительно числа правильных предсказаний, но его можно уменьшить, поработав над качеством фотографий и положением предметов на нем.

### Исследование полученных результатов

Произведем проверку обученной сети на тестовом наборе. После необходимых действий сравним первые пять предсказанных и настоящих значений. Выполнение соответствующих команд представлено на рисунке 4.

```

Ввод [36]: ## предсказанное значение
print(yhat[0:5])
## фактическое значение
print(y[0:5])

['glass', 'glass', 'paper', 'cardboard', 'paper']
['glass', 'glass', 'paper', 'cardboard', 'paper']

Ввод [37]: learn.data.test_ds[0][0]

Out[37]: 

```

**Рис. 4.** Пять значений, предсказанных сетью и истинных

Первые пять прогнозов верны, это хорошо, но для получения полной картины есть смысл снова построить матрицу ошибок. Что и показано на рисунке 5.

```

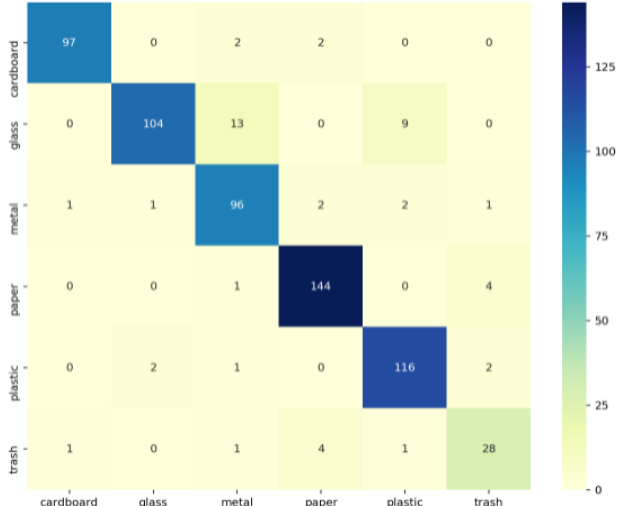
Ввод [38]: cm = confusion_matrix(y,yhat)
print(cm)

[[ 97  0  2  2  0  0]
 [ 0 104 13  0  9  0]
 [ 1  1  96  2  2  1]
 [ 0  0  1 144  0  4]
 [ 0  2  1  0 116  2]
 [ 1  0  1  4  1 28]]

Ввод [39]: df_cm = pd.DataFrame(cm,waste_types,waste_types)
plt.figure(figsize=(10,8))
sns.heatmap(df_cm,annot=True,fmt="d",cmap="YlGnBu")

Out[39]: <matplotlib.axes._subplots.AxesSubplot at 0x7fc143c973c8>

```



	cardboard	glass	metal	paper	plastic	trash
cardboard	97	0	2	2	0	0
glass	0	104	13	0	9	0
metal	1	1	96	2	2	1
paper	0	0	1	144	0	4
plastic	0	2	1	0	116	2
trash	1	0	1	4	1	28

**Рис. 5.** Построение матрицы ошибок на тренировочном наборе

В результате разработанная НС также как и при работе с обучающим набором больше всего путает стекло с металлом и стекло с пластиком. В остальном она отлично выполняет задачу распознавания мусора по фотографии.

Произведем оценку точности распознавания сети при работе с тестовым набором. Данная процедура изображена на рисунке 6.

```

Ввод [48]: correct = 0

           for r in range(len(cm)):
             for c in range(len(cm)):
               if (r==c):
                 correct += cm[r,c]

Ввод [49]: accuracy = correct/sum(sum(cm))
           accuracy

Out[49]: 0.9212598425196851
    
```

**Рис. 6.** Вычисление точности предсказания сети

Анализируя полученный результат можно сделать вывод, что точность работы нейронной сети составляет 92.12%. Такое высокое значение можно объяснить крайне сложной структурой самой нейронной сети, однако его можно улучшить, поработав над качеством фотографий и расположением предметов на них.

### Заключение

Технологии искусственного интеллекта позволяют автоматизировать процесс сортировки мусора, добиваясь при этом высочайшей точности распознавания. Использование подготовленных сетей и готовых наборов данных позволяет существенно ускорить разработку необходимого решения, а возможность глубокого анализа результатов предсказания помогает корректировать данные и вносить правильные изменения в проект.

Проблема сортировки и переработки мусора имеет колоссальную важность. Автоматизация сортировки мусора позволяет создавать высокопроизводительные предприятия с использованием минимального количества работников. Точность распознавания разработанной нейронной сети составила 92.1%, что является отличным показателем, однако ее можно улучшить, поработав над качеством обучающего набора.

Современные нейронные сети обладают обширным и удобным в использовании инструментарием для качественной настройки их работы. В ходе исследования мы использовали некоторые из них, такие как: инструмент поиска оптимальной скорости обучения, а также инструмент построения матрицы ошибок. Их применение реализуется при помощи минимального количества программного кода, а результатом является удобная для восприятия визуальная информация, что напрямую влияет на качество создаваемого программного продукта.

### Литература

1. Бишоп К. М. Распознавание образов и машинное обучение. М.: Вильямс, 2020. 960 с.
2. Иванов А.В., Воронов В.И. Применение алгоритма машинного обучения для разработки автоматизированной системы интеллектуального управления стендом проверки авиационных генераторов // Сборник трудов XV Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества», 2021, С. 308-311.
3. Пестерев И.Е., Воронов В.И. Применение нейронных сетей для распознавания личностных качеств человека // Сборник трудов XV Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества», 2021, С. 327-330.
4. Жаров И.А., Воронов В.И., Воронова Л.И., Быков А.Д., Вовик А.Г., Усачев В.А. Программа для идентификации изображения в программном комплексе нейросетевого распознавания лица. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020612466, 25.02.2020. Заявка № 2020611422 от 11.02.2020.
5. Dubey, S., Singh, P., Yadav, P., & Singh, K. K. (2020). Household Waste Management System Using IoT and Machine Learning. *Procedia Computer Science*, 167, 1950–1959. doi:10.1016/j.procs.2020.03.222.
6. Shaikh F., Kazi N., Khan F., & Thakur Z. (2020). Waste Profiling and Analysis using Machine Learning. *ICIRCA 2020*, DOI: 10.1109/ICIRCA48905.2020.9183035.
7. Alim Al Ayub Ahmed & ABM Asadullah (2020). Artificial Intelligence and Machine Learning in Waste Management and Recycling. *Engineering International*, Volume 8, No. 1. ISSN 2409-3629.
8. AMP Robotics. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.amprobotics.com/technology-overview> (дата обращения 04.01.2022).

9. Cambridge Consultants. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cambridgeconsultants.com/home> (дата обращения 04.01.2022).
10. AlexNet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://pytorch.org/hub/pytorch\\_vision\\_alexnet/](https://pytorch.org/hub/pytorch_vision_alexnet/) (дата обращения 07.01.2022).
11. Overfeat [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://towardsdatascience.com/overfeat-review-1312-6229-4fd925f3739f> (дата обращения 07.01.2022).
12. GoogleNet Inception [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/google/inception/blob/master/inception.ipynb> (дата обращения 07.01.2022).
13. MobileNet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ai.googleblog.com/2018/04/mobilenetv2-next-generation-of-on.html> (дата обращения 07.01.2022).
14. Барсегян А. А., Куприянов М. С., Стенаненко В. В., Холод И. И. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP. 2-е изд., перераб. и доп. М.: БХВ-Петербург, 2017. 372 с.
15. Google Dataset Search [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://datasetsearch.research.google.com/> (дата обращения 10.01.2022).
16. Kaggle [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kaggle.com/datasets> (дата обращения 10.01.2022).
17. UCI Machine Learning Repository [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets.php> (дата обращения 10.01.2022).
18. VisualData [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://visualdata.io/discovery> (дата обращения 10.01.2022).
19. Data.Gov [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://catalog.data.gov/dataset> (дата обращения 10.01.2022).



## АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН

**Плотников Павел Сергеевич,**

*Московский технический университет связи и информатики, студент группы БСУ1801,  
Москва, Россия*  
[anndpowec@mail.ru](mailto:anndpowec@mail.ru)

**Неронов Фёдор Александрович,**

*Московский технический университет связи и информатики, студент группы БСУ1801,  
Москва, Россия*  
[fedor20000201@gmail.com](mailto:fedor20000201@gmail.com)

**Маклачкова Виктория Валентиновна,**

*Московский технический университет связи и информатики, ст. преп. кафедры СИТус,  
Москва, Россия,*  
[v.v.maklachkova@mtuci.ru](mailto:v.v.maklachkova@mtuci.ru)

### **Аннотация**

*В статье рассматривается технология блокчейн с позиции оценки защищенности данной технологии. Дается анализ основных уязвимостей технологии, которыми зачастую пользуются злоумышленники, и последствия таких атак. Описываются возможные меры реагирования на уязвимости для минимизации вероятности наступления негативных рисков.*

**Ключевые слова:** *Блокчейн, уязвимости блокчейна, транзакции, шифрование, квантовые технологии, квантовые вычисления, персональные данные.*

### **Введение**

Цифровые технологии сегодня во всем мире определяют дальнейшее развитие экономики и общества в целом. Становление цифровой экономики — одно из приоритетных направлений для большинства развитых стран — экономических лидеров. С целью решения задачи по обеспечению ускоренного внедрения цифровых технологий в экономике и социальной сфере в Российской Федерации сформирована национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», одним из направлений которой является реализация федерального проекта «Цифровые технологии» [1,2]. Согласно проекту одним из стратегических инструментов цифровой экономики является развитие технологии систем распределенного реестра.

Технология блокчейн (блокчейн) - частный случай систем распределенного реестра, наиболее динамично развивающаяся технология. Блокчейн отстаивает свои позиции в финансовой, банковской сферах, в области страхования, логистики, IT-индустрии и т.д. [8,9,10]. По мнению экспертов технология блокчейн может изменить привычное понимание о государственном регулировании и повысить доверие населения к госуправлению, а также решить проблему отсутствия доверия в бизнесе обеспечением высокой информационной защищенности. Но динамичное развитие современных IT-технологий создает технические возможности взломов и нарушения целостности информационной системы. Блокчейн не стал исключением. Развитие и распространение технологии привлекло к ней внимание киберпреступников, ищущих уязвимости данной системы и стремящихся к получению выгоды.

### **Технология блокчейн**

Технология блокчейн является одним из видов более широкого класса технологий хранения и синхронизации данных – распределенного реестра (англ. DLT – Distributed Ledger Technology). Ключевое свойство всего класса технологий распределенного реестра – отсутствие централизованного управления. Каждый узел распределенной системы (состоящий из сопутствующего программного обеспечения и собственно реестра) делает записи в своей версии реестра независимо от других узлов и синхронизируется с ними в рамках одноранговой сети [10,13]. Особенностью блокчейна, как вида распределенного реестра, является то, что записи соединяются в инкрементальную цепочку блоков с

использованием криптографических алгоритмов, отсюда и его название (англ. blockchain, цепочка блоков) [3].

В целях обеспечения безопасности системы и предотвращения её взлома и внешних кибератак, вся циркулирующая в сети информация зашифровывается, что позволяет достичь определенной надежности системы.

Технология блокчейн используется в разных областях под большим многообразием задач. Помимо проведения классических транзакций, она нашла применения в других операциях.

1. Управление идентификационной информацией – данный сервис позволяет создавать цифровой идентификатор личностей. Благодаря такому применению технологии у пользователя появляется возможность хранить свои личные данные (документ, удостоверяющий личность, права, свидетельства) и обмениваться ими. Пройдя один раз процесс идентификации личности, возможно авторизоваться в сети без повторного дублирования информации.

2. Защита авторского права – сервис позволяет закрепить авторское право в разных сферах за определенным пользователем. Помимо подтверждения авторского права, есть возможность его передачи покупателю.

3. Смарт-контракты – сервис, позволяющий заключать контракты на блокчейне [8]. Такое применения технологии имеет следующие преимущества:

– гарантия перевода средств, так как контракт выполняется только тогда, когда обе стороны выполняют все условия договора;

– нет необходимости в третьей стороне для заключения договора, так как все действия происходят автоматически (с двумя сторонами).

4. Электронное голосование – блокчейн позволяет проводить максимально прозрачные голосования, результат и этапы которых может проверить любой избиратель. Для голосования пользователю необходимо пройти только авторизацию. Любой участник сможет проверить голос других избирателей.

5. Анонимная передача сообщений – сегодня есть большое количество сервисов, позволяющих обмениваться сообщениями анонимно. Принцип работы схож с предыдущими операциями. Пользователю необходимо авторизоваться в системе и выделить, кто именно получает доступ к сообщениям.

Высокая защита технологии блокчейн позволяет использовать её в различных областях. Сочетание свойств распределенного реестра с блочной структурой данных позволяет технологии эффективно реализовывать два основных аспекта информационной безопасности – целостность и доступность данных.

### **Принцип шифрования в технологии блокчейн**

Все данные в блокчейне шифруются с использованием криптографических алгоритмов. Суть алгоритма заключается в том, что поступающая информация, будь то текст или отдельные предложения, зашифровывается в недоступный для чтения потенциальным участником текст. Его невозможно распознать или провести какую-либо определенную аналогию и вскрыть алгоритм. Применение шифрования обеспечивает ряд преимуществ системы:

- Защищенность – зашифрованные данные записываются у нескольких участников. Сама технология блокчейн не позволяет изменить или удалить информацию, поэтому зафиксированная информация является конечной. При необходимости внести определенные изменения все данные сверяются со всеми пользователями, что позволяет предотвратить подмену или изменения данных.

- Прозрачность – каждый пользователь может проверить информацию и удостовериться в корректности данных.

- Децентрализация – в блокчейне нет понятия общая база данных. Вся информация содержится у каждого участника.

- Конфиденциальность – все данные в блокчейне зашифрованы. Данное преимущество заключается в том, что любой участник имеет два ключа. Открытый и закрытый ключ. Для отправки данных пользователь получает открытый ключ. Для вскрытия (расшифровки) используется закрытый ключ с уникальным кодом. Именно с помощью него можно расшифровать информацию.

Технология блокчейн использует алгоритмы асимметричного шифрования – RSA (Rivest-Shamir-Adleman) и ECC (Elliptic Curve Cryptography).

Система RSA была разработана в 1977 году. Ее авторы – Рон Ривест, Ади Шамир и Леонард Адлеман. Эта криптографическая система основана на задаче целочисленной факторизации: можно легко найти произведение двух больших простых чисел, но гораздо сложнее факторизовать это произведение и найти исходные числа [4].

Эллиптическая криптография (ECC) базируется на задаче дискретного логарифмирования в контексте эллиптических кривых над конечными полями (полями Галуа). Главным преимуществом ECC перед другими алгоритмами шифрования с открытым ключом является меньшая длина ключа при том же уровне безопасности, что и, к примеру, в RSA. ECC лежит в основе таких значимых алгоритмов, как ECDH (для обмена ключами) и ECDSA (для цифровых подписей) [4].

Асимметричное шифрование имеет два существенных недостатка: конечное время обеспечения секретности и незащитность перед лицом злоумышленника с достаточно большими вычислительными ресурсами, неучтенными разработчиками [5].

### Анализ взломов технологии блокчейн

Компанией SlowMist Hacked, которая собирает информацию о раскрытых атаках, направленных на блокчейн-проекты, представлена статистика, содержащая информацию о количестве взломов с 2018 по 2021 год (табл. 1), а также подробная статистика атак и потери денег за 2021 год (табл. 2) [6].

Таблица 1

События взлома, связанные с блокчейном, за период с 2018 по 2021 г.

Год	Количество атак
2018	83
2019	134
2020	123
2021	238

Таблица 2

События взлома связанные с блокчейном и деньги, потерянные из-за блокчейн-хакеров в 2021 г

Цель взлома	Количество атак	Потерянные деньги, долл.
Blockchain	8	0,00
Обмен	14	5 248 449 864,00
Кошелек	3	22 650,00
ETH Экосистема	66	1 352 766 480,30
BSC Экосистема	46	658 016 587,00
Tron Экосистема	0	0,00
EOS Экосистема	3	16 767 492,00
Polygon Экосистема	10	57 074 208,00
NECO Экосистема	3	64 533,00
Другие	85	2 559 650 771,00

Согласно данным в таблицах, количество атак с 2018 по 2021 гг. увеличилось почти вдвое. Сумма потери денежных средств в системе блокчейна превысила миллиард долларов. Это плохая тенденция, принимая во внимание переход всё большей части бизнеса на технологию блокчейн. Опираясь на приведенную статистику, можно констатировать, что технология блокчейн не совершенна и имеет ряд определенных уязвимостей, подрывающих целостность системы.

### Уязвимости технологии блокчейн

Рассмотрим основные уязвимости технологии блокчейн.

*1. Двойные траты.* В блокчейн-сети есть возможность двойных трат. Обычно, каждая транзакция уникальна, что не допускает возможности повторного использования одной и той же денежной операции. Такая уязвимость появляется в связи с несовершенством кода сети и длительностью времени подтверждения транзакций. Пользователи фиксируют только подтвержденные транзакции. Когда

пользователь совершает транзакцию, проходит определенное количество времени, прежде чем транзакция подтвердится. За этот промежуток времени пользователь может произвести целых две транзакции, используя одну и ту же денежную операцию. При этом только одна из них подтвердится.

2. *Криминальная активность.* Любой пользователь может сгенерировать несколько адресов для хранения транзакций и их проведения. Это приводит к увеличению числа мошенников, которые используют второй адрес для незаконных действий.

3. *Анонимность транзакций.* В блокчейне возможно отследить операции пользователя и узнать информацию о пользователе. В ряде блокчейнов есть встроенные механизмы, которые позволяют скрыть подобного рода информацию. Но таких механизмов довольно мало. В основном большинство транзакций возможно отследить и таким образом узнать о крипто-активах пользователя, чем и пользуются злоумышленники.

4. *Уязвимость «51%».* Суть данной уязвимости в том, что любой пользователь (или коалиция пользователей) блокчейна может завладеть 51% мощности всей сети и таким образом нарушить контроль системы. Такой пользователь с легкостью сможет изменять порядок следования транзакций, вторгаться в процесс подтверждения транзакций и т.д. Иными словами, участник, владеющий 51% мощности, сможет полностью взять под контроль блокчейн-сеть.

Развитие квантовых вычислений в будущем также создаст дополнительную угрозу технологии блокчейн. Как говорилось выше, блокчейн работает с использованием пары связанных ключей шифрования (открытого и закрытого). Эта связь характеризуется множителями числа, являющегося произведением двух простых чисел. Поскольку эти числа громадны, то взломать код с помощью традиционного компьютера практически невозможно. Производительность же квантовых компьютеров позволит злоумышленникам расшифровывать ключи и использовать чужие данные в своих целях. Кроме того, высокая скорость обработки данных даст возможность быстро подменять данные и изменять транзакции, так как квантовым компьютерам достаточно того времени, которое отводится на подтверждение транзакции.

Следствием наличия уязвимостей в технологии блокчейн, помимо кражи денежных средств, может быть и увеличение риска утечки конфиденциальных данных, в том числе и персональных, которыми могут воспользоваться злоумышленники [11,12, 14-18]. Поэтому для минимизации риска возникновения возможных негативных последствий необходимо принимать меры реагирования на уязвимости технологии.

### **Возможные меры реагирования на уязвимости технологии блокчейн**

Приведенные выше уязвимости ставят под вопрос степень надежности блокчейна. Конечно, полностью решить данный вопрос невозможно в связи с быстроразвивающейся IT-сферой, но есть возможность минимизировать вероятность взлома и нарушения целостности системы. Рассмотрим по каждой уязвимости меры, которые можно предпринять для минимизации рисков наступления негативных событий и их последствий.

1. Двойные траты – каждая транзакция требует определенное время для её подтверждения. На данную операцию уходит до 10 минут. Возможным решением такой проблемы является одобрение денежных операций, которые не прошли полное подтверждение (произошло несколько подтверждений). Конечно, при увеличении количества подтверждений сделка становится безопаснее, но теряется время, за которое мошенник может произвести «Двойные траты».

2. Криминальная активность – решение такой уязвимости довольно простое. Необходимо регулировать количество создаваемых адресов для хранения и проведения транзакций, а именно обеспечить невозможность создания больше одного адреса на одного пользователя.

3. Анонимность транзакций – не во всех блокчейн-системах присутствует механизм, позволяющий совершать транзакции анонимно. Для решения такой проблемы необходимо глобальное внедрение технологий, позволяющих проводить все операции анонимно.

4. Уязвимость «51%» – данная проблема несет в себе одну из главных опасностей, поскольку любой пользователь может завладеть большей частью мощности сети и «задавать» свои правила в системе. Единственным решением такой проблемы является либо централизация системы, либо увеличение количества пользователей (майнеров). Централизация системы позволит производить контроль всего блокчейна. Такой способ позволит блокировать майнеров, пытающихся завладеть большей частью мощности системы или установить определенный максимум владения мощностью. Но централизация не совсем совершенный вариант. Помимо вариантов её обхода, такая система сделает

из блокчейна обычную технологию. Основной плюс блокчейна – децентрализация, что позволяет достичь безопасности и относительной независимости от одного человека. Поэтому в сложившейся ситуации наиболее правильным вариантом будет привлечение новых пользователей. При появлении новых майнеров, количество владения каждого участника сети уменьшается, что позволит предотвратить захват системы.

Квантовые вычисления – технология, которая поставит под вопрос защищенность блокчейна в целом. Единственным решением такой проблемы является использование в самом блокчейне квантовых технологий, а именно квантового шифрования. Квантовая криптография – метод, основанный на квантовой механике. В отличие от обычных видов шифрования, использующих математические методы, квантовое шифрование более защищено. В основе квантовой криптографии используется распределение ключей. При этом у пользователей сети генерируются одинаковые ключи. Шифрование обеспечивает защиту системы от перекопирования или разделения ключа. При попытке сделать данные манипуляции ключ разрушается и никакой информации злоумышленник не получает.

Обратимся к данным об объеме инвестиций в квантовые вычисления (таблица 3) [7].

Таблица 3

Объем мирового рынка квантовых вычислений

Год	Инвестиции, млн долларов США
2018	138
2019	211
2020	675
2021	>800

Как видно из таблицы 3 объем инвестиций в квантовые технологии стабильно увеличивается из года в год. Причем самый активный рост наблюдается с 2020 г., что, скорее всего, связано с пандемией COVID-19. Эксперты ожидают, что ежегодно квантовые вычисления будут создавать стоимость до 850 млрд долларов США [7], что, несомненно, говорит о заинтересованности в дальнейшем развитии данной технологии. А это, в свою очередь, приведет к увеличению уязвимостей блокчейна.

### Заключение

Технология блокчейн привлекает потребителей высокой защищенностью системы, благодаря чему она нашла применение в различных сферах экономики. Тем не менее, она имеет ряд существенных уязвимостей, которые используются в настоящее время для совершения киберпреступлений. В совокупности такие уязвимости нарушают целостность системы и ставят под вопрос её безопасность. Если с большинством из них возможно справиться путем модернизации кода или введения определенного контроля, то уязвимость самой архитектуры системы является наиболее глобальной проблемой. Чтобы не нарушить основную суть блокчейна и не сделать из неё централизованную систему, необходимо правильно скорректировать принцип работы блокчейна и изменить механизмы системы. Сама технология нуждается в постоянном развитии и подстраивании под современное программное обеспечение.

### Литература

1. Цифровые технологии, 30 апреля 2021, [Электронный ресурс] URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/878/> (дата обращения 19.01.2022).
2. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «системы распределенного реестра» 2019, с. 2-3, 12. [Электронный ресурс] URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019srr.pdf> (дата обращения 19.01.2022).
3. Safe-surf [Электронный ресурс] URL: <https://safe-surf.ru/specialists/article/5278/658923> (дата обращения 27.01.2022).
4. Башир И. Блокчейн: архитектура, криптовалюта, инструменты разработки, смартконтракты / пер. с англ. М. А. Райзмана. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 538 с.: ил.
5. Клиш С. Я., Хорошко Д.Б., Низовцева А.П Квантовая криптография: идеи и практика. Беларуская навука, 2007. С. 391.
6. SlowMist Hacked – SlowMist Zone [Электронный ресурс] URL: <https://hacked.slowmist.io/en/statistics/?c=all&d=all> (дата обращения 29.01.2022).

7. РБК [Электронный ресурс] - URL: <https://www.rbc.ru/economics/21/07/2021/60f701939a79471aed66d9f5> (дата обращения 27.01.2022).
8. *Магомедова З. Д.* Применение технологии смарт-контракт на российском и мировом рынке // Сборник Трудов XII Молодежного Научного Форума МТУСИ Телекоммуникации и информационные технологии Реали Возможности Перспективы, Московский технический университет связи и информатики, 12-23 апреля 2021 года. Москва: Московский технический университет связи и информатики, 2021. С. 60-64.
9. *Маклачкова В. В., Магомедова З. Д.* Технология блокчейн как инструмент цифрового документационного обеспечения управления предприятием // Технологии информационного общества: Сборник трудов XV Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества», Москва, 03-04 марта 2021 года. М.: Издательский дом Медиа паблишер, 2021. С. 206-208.
10. *Докучаев, В. А.* Архитектура центров обработки данных / В. А. Докучаев, А. А. Кальфа, В. В. Маклачкова. М.: Горячая линия – Телеком", 2020. 240 с. ISBN 978-5-9912-0849-9
11. *Dokuchaev V. A., Maklachkova V. V., Statev V. Yu.* Classification of personal data security threats in information systems // T-Comm. 2020. Vol. 14. No 1. P. 56-60. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-1-56-60.
12. Analysis of Data Risk Management Methods for Personal Data Information Systems / V. A. Dokuchaev, V. V. Maklachkova, D. V. Makarova, L. V. Volkova // 2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, 19-20 марта 2020 года. Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. P. 9078547. DOI 10.1109/IEEECONF48371.2020.9078547.
13. *Гадасин, Д. В., Шведов А. В., Ермалович А. В.* Модели регулирования доверия в технологии блокчейн // Технологии информационного общества. Сборник трудов XII Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества». (14-15 марта 2018 г. Москва, МТУСИ). М.: ИД Медиа Паблишер, 2018. С. 93-95.
14. *Докучаев В.А., Маклачкова В.В., Статьев В.Ю.* Цифровизация субъекта персональных данных // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 6. С. 27-32.
15. *Pavlov S.V., Dokuchaev V.A., Maklachkova V.V., Mytenkov S.S.* Features of supporting decision making in modern enterprise infocommunication systems // T-Comm. 2019. Т. 13. № 3. С. 71-74.
16. *Гадасин Д. В., Шведов А. В., Клыгина О. Г., Гадасин Д. Д.* Реализация платформы туманных вычислений для предоставления сервисов IoT // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2021. Т. 11. № 2. С. 65-75.
17. *Назаров М. Д., Шведов А. В.* Корреляция атрибутов соглашения об уровне обслуживания с основными параметрами QoS в корпоративных сетях // Телекоммуникации и информационные технологии. 2020. Т. 7. № 2. С. 73-79.
18. *Тимощук Ю.С., Маклачкова В.В.* Риски применения RFID-технологии в медицинских учреждениях // Телекоммуникации и информационные технологии. 2021. Т. 8. № 2. С. 80-84.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ В СИСТЕМЕ NOMA С РАЗНЫМ ЧИСЛОМ СТАНЦИЙ. ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ NOMA

**Филатова Евгения Евгеньевна,**

*МТУСИ, Москва, Россия*

[eva.lindermann@mail.ru](mailto:eva.lindermann@mail.ru)

**Панкратов Денис Юрьевич,**

*МТУСИ доц. каф. СиСРТ к.т.н., Москва, Россия*

[dpankr@mail.ru](mailto:dpankr@mail.ru)

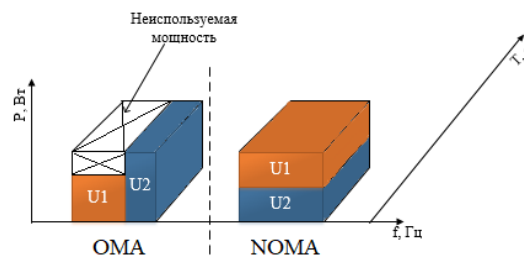
### Аннотация

Ортогональному множественному доступу (ОМА – Orthogonal Multiple Access) всё сложнее выполнять требования по сверхвысокой скорости передачи данных, сверхмалой задержки, сверхнадежности и массового подключения в современных сетях беспроводной связи. Технология неортогонального множественного доступа (NOMA–Non-Orthogonal Multiple Access) становится многообещающим кандидатом для удовлетворения вышеупомянутых требований сетей 5G и 6G. В работе рассматривается технология NOMA с разделением по мощности для восходящей линии связи, рассматриваются аспекты информационной безопасности систем NOMA. Приведено сравнение помехоустойчивости для разного количества абонентских станций в канале передачи с аддитивным белым гауссовским шумом и релейскими замираниями.

**Ключевые слова:** NOMA, ОМА, 5G, 6G, множественный доступ, сети беспроводной связи, информационная безопасность

### Введение

Самым широко используемым методом множественного доступа в сетях беспроводной связи является метод ортогонального множественного доступа (ОМА – Orthogonal Multiple Access); доступ пользователей носит ортогональный характер, и в идеале пользователи не мешают друг другу, пока они совместно используют канал связи. Теоретически в системах на основе ОМА не возникают помехи между пользователями из-за ортогонального распределения ресурсов, и поэтому обычно для обнаружения сигнала нужного пользователя могут использоваться приемники с низкой сложностью [1, 30-43]. Однако, поскольку количество ортогональных ресурсов ограничено, системы ОМА не могут обслуживать большое количество пользователей, как того требуют будущие сети беспроводной связи. Недостаток ОМА заключается также в том, что тот ресурс мощности, что был не использован, невозможно применить для увеличения качества связи другого абонента (рис. 1) [2]. На рисунке 1 слева показано количество неиспользуемого ресурса по мощности при организации связи для двух абонентских станций (U1 и U2). В системе с неортогональным доступом (NOMA–Non-Orthogonal Multiple Access) все ресурсы (частотно-временной и энергетический) распределяются одновременно между абонентами для максимального улучшения качества связи каждого из них (рис. 1 справа).



**Рис. 1.** Сравнение систем ОМА и NOMA [2]

В отличие от ОМА, неортогональный множественный доступ (NOMA) допускает «межпользовательское» вмешательство в распределение ресурсов абонентов, и, таким образом, несколько пользо-

вателей обслуживаются с использованием одного и того же блока ресурсов. Технология NOMA может обрабатывать огромное количество соединений, обеспечивая при этом превосходную суммарную пропускную способность для пользователей и высокую спектральную эффективность [3].

### Технология NOMA с разделением по мощности

В технологии NOMA с разделением по мощности принцип работы следующий [4]. Несколько абонентов одновременно занимают одну и ту же полосу частот, но их сигналы имеют разную мощность. Мощности каждого сигнала должно быть достаточно для обеспечения требуемого качества передачи. Если выделить недостаточно мощности, то это приведет к росту ошибок при демодуляции, а если наоборот, выделить слишком много мощности, то это может привести к уменьшению помехоустойчивости для соседних абонентов.

На рисунке 2 представлен сценарий NOMA с разделением по мощности на восходящей линии связи системы, в которой абонент 1 и абонент 2 одновременно передают свои сигналы  $s_1$  и  $s_2$  на базовую станцию (БС).

Перед началом передачи данных БС передает в широкополосном режиме опорный сигнал по нисходящей линии связи, на основе которого каждый пользователь выполняет оценку параметров канала [4]. Таким образом, они могут регулировать свою мощность передачи ( $P_1$  и  $P_2$ ), в зависимости от характеристик канала связи. Абонент 1 ( $U_1$ ) отмечен как доминирующий абонент, у которого характеристики канала лучше, чем у абонента 2 ( $U_2$ ), более слабого по сигналу пользователя. Получив наложенные сигналы абонентов, БС сначала декодирует сигнал абонента 1, обрабатывая сигнал абонента 2 как шум, затем вычитает декодированный сигнал абонента 1 из принятого сигнала у [5]. Далее после вычитания декодируется сигнал абонента 2. В системе NOMA на восходящей линии связи абонент 1 будет испытывать помехи от абонента 2, тогда как абонент 2 не подвергнется влиянию помех от абонента 1, поскольку его сигнал удаляется до декодирования сигнала абонента 2. Также абонент 2 в нисходящей линии связи NOMA будет испытывать помехи от абонента 1, тогда как абонент 1 не испытает помех от абонента 2, поскольку сигнал абонента 2 удаляется до декодирования сигнала абонента 1.

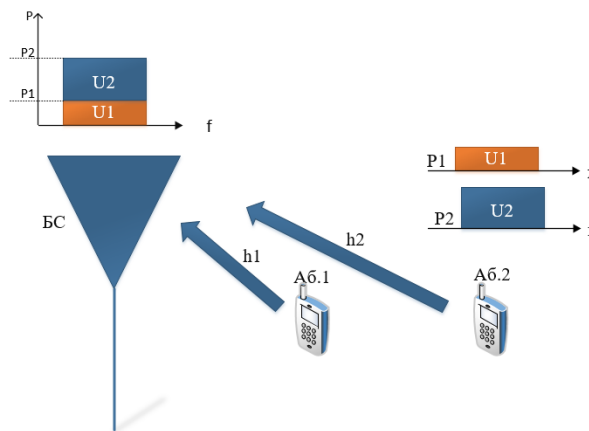


Рис. 2. Сценарий NOMA с разделением по мощности на восходящей линии связи

### Сценарии передачи в системе NOMA по восходящей линии связи

Рассмотрим сценарии передачи в системе NOMA с разным числом станций для восходящей линии связи. На базовой станции демодуляция осуществляется с помощью алгоритма, оптимального по критерию максимального правдоподобия (Демод. МП). На рисунках 3-5 представлены схемы передачи по восходящей линии связи в системе NOMA, когда которых абоненты (обозначены как аб.1, аб.2 и аб.3, соответственно) одновременно передают свои сигналы на базовую станцию.

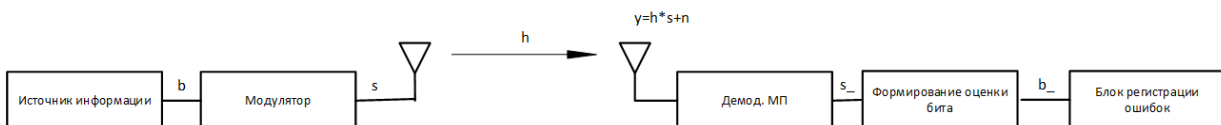


Рис. 3. Передача сигнала 1-й абонентской станцией по восходящей линии связи в системе NOMA



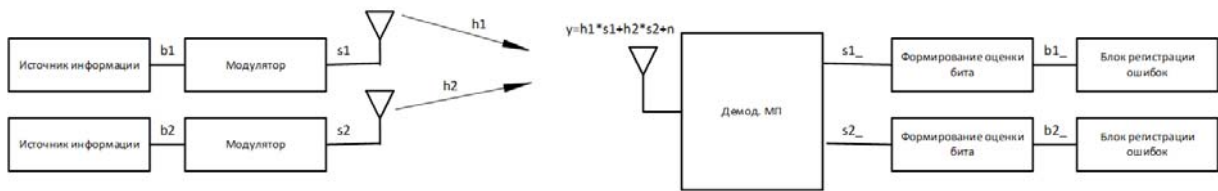


Рис. 4. Передача сигналов 2-мя абонентскими станциями по восходящей линии связи в системе NOMA

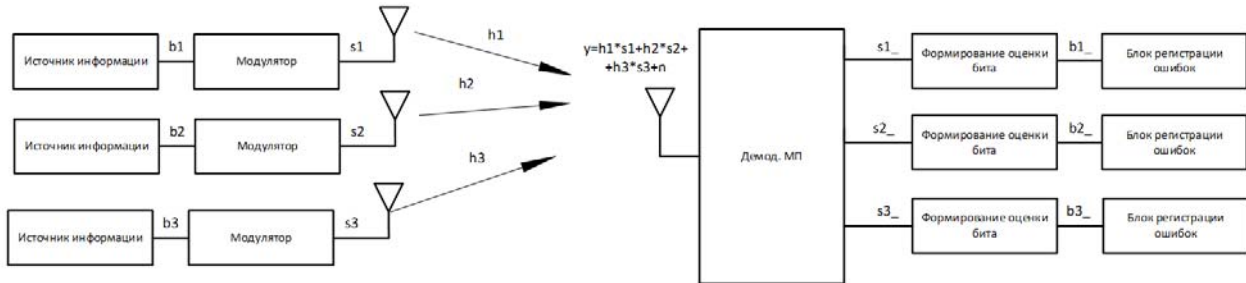


Рис. 5. Передача сигналов 3-мя абонентскими станциями по восходящей линии связи в системе NOMA

Принятый сигнал на стороне базовой станции определяется выражением

$$y = \sum_{i=1}^N (h_i \cdot s_i) + n, \tag{1}$$

где  $n$  представляет собой аддитивный гауссовский шум в канале связи,  $N$  – количество абонентов,  $s_i$  – передаваемый сигнал  $i$ -го абонента,  $h_i$  – коэффициент передачи по радиоканалу между базовой станцией и  $i$ -м абонентом. Для демодуляции сигналов будем использовать демодулятор, оптимальный по критерию максимального правдоподобия (МП).

На рисунке 6 детально показан блок демодулятора МП. На вход демодулятора поступает сигнал  $y$ . На основании имеющейся информации формируются реплики (копии)  $replica_i$  этого сигнала. Затем вычисляются нормы (расстояния) между векторами  $y$  и  $replica_i$ . Оптимальная оценка МП соответствует такой комбинации, которая обеспечивает минимальную норму ( $\min \{norm_i\}$ ):

$$\hat{s}_i = \arg \min_{s_i \in S_{comb}} \{norm_i(s_i)\}, \tag{2}$$

где  $S_{comb}$  – массив комбинаций информационных символов, а норма вычисляется по формуле

$$norm(s_i) = \|y - replica_i\|^2 = (y - replica_i)'(y - replica_i), \tag{3}$$

где  $replica_i = h_i \cdot s_i$ ,  $s_i$  – комбинации информационных символов для  $i$ -го абонента.

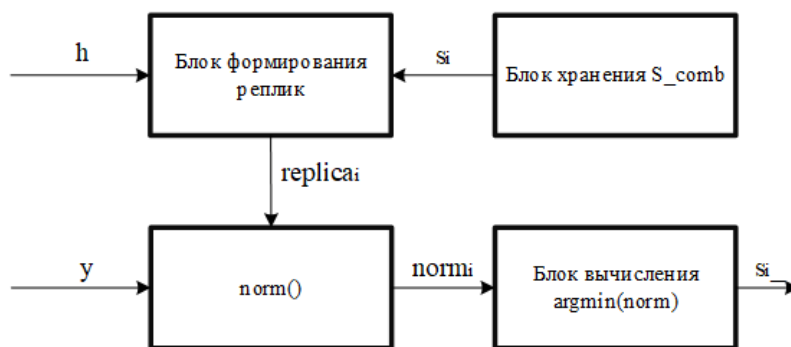


Рис. 6. Блок-схема демодулятора МП

### Моделирование системы NOMA с разным числом абонентских станций

Рассмотрим алгоритм моделирования системы NOMA с разным числом абонентских станций для восходящей линии связи [6]. В результате моделирования вычисляется коэффициент ошибок на бит (BER – Bit Error Rate) в зависимости от отношения сигнал/шум (SNR – Signal-to-Noise Ratio) на входе демодулятора. Основные этапы алгоритма представлены в таблице 1.

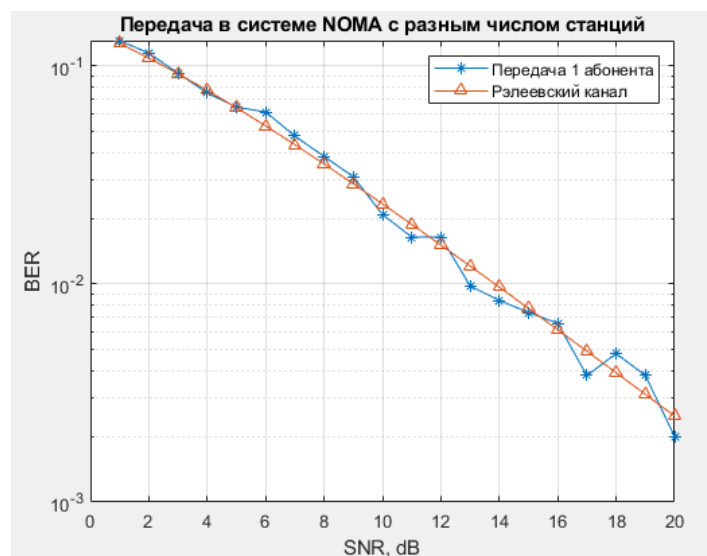
Номер этапа	Действие
1	Задаем число испытаний и комбинации для антенн
2	Цикл по ОСШ
3	Обнуление числа ошибок
4	Цикл по числу испытаний
5	Генерация АБГШ (с учетом ОСШ)
6	Генерация битов для каждого абонента
7	Генерация коэффициентов передачи для каждого абонента
8	Осуществление модуляции
9	Генерация и передача сигналов по радиоканалу
10	Демодуляция сигналов абонентов с помощью демодулятора МП
11	Отображение оценки в биты
12	Подсчет количества ошибок
13	Завершение цикла (п.4)
14	Вычисление коэффициентов ошибок BER для каждого абонента
15	Завершение цикла по ОСШ (п.2)
16	Построение графиков

Условия моделирования следующие: канал связи с релейскими замираниями и аддитивным белым гауссовским шумом, модуляция ФМ-2, число экспериментов составляло 5000.

На рисунках 8-10 представлен результаты моделирования передачи одного, двух и трех абонентов одновременно в системе NOMA, соответственно.

В результате моделирования передачи в системе NOMA с разным числом абонентских станций с использованием демодулятора максимального правдоподобия были получены графики зависимости коэффициента ошибок на бит (BER) от ОСШ, на которых изображены кривые помехоустойчивости для случаев: передачи одного сигнала одним абонентом, двух сигналов двумя абонентами и трех сигналов тремя абонентами.

#### Передача одного сигнала одной станцией



**Рис. 7.** График теоретической и моделированной зависимости коэффициента ошибок на бит от ОСШ для одной станции

Из рисунке 7 видно, что результаты моделирования практически совпадают с теоретическими, полученных для случая релейского канала связи, что говорит об адекватности алгоритма моделирования.

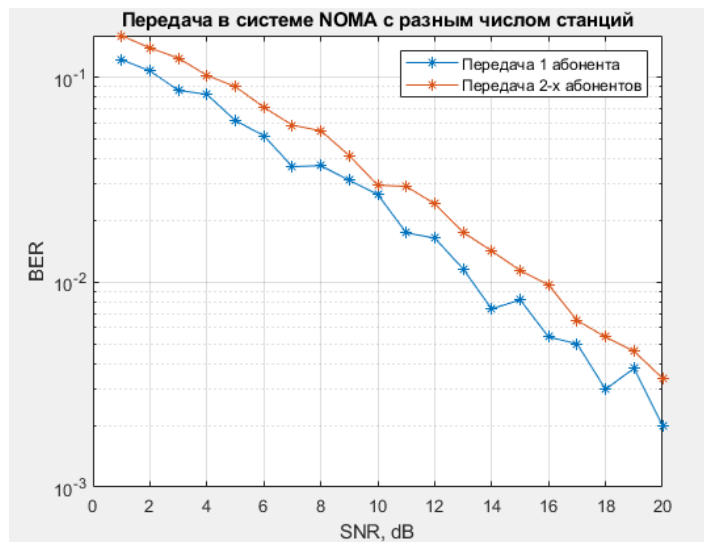
Для построения теоретической кривой использовалась следующая формула [7]:

$$p_p = 0.5 \cdot \left[ 1 - \sqrt{\frac{SNR}{SNR + 1}} \right], \text{ где} \quad (4)$$

SNR – отношение сигнал/шум в размах.

#### Передача двух сигналов двумя станциями

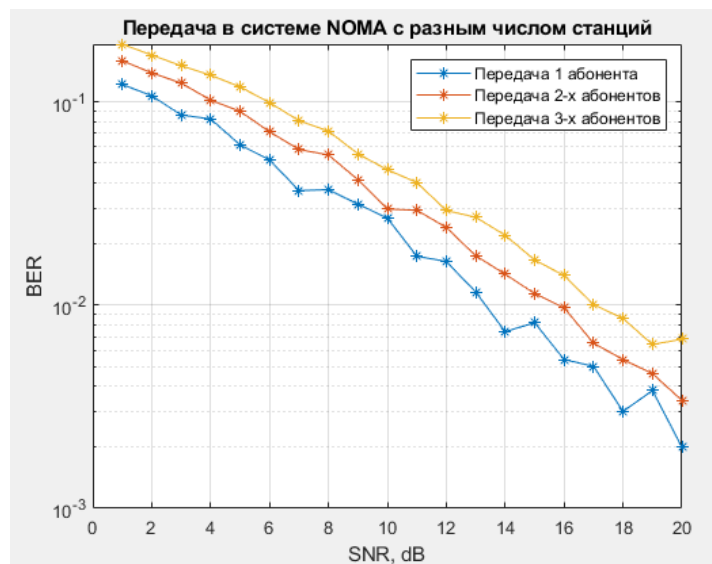
В случае передачи двух сигналов меняются массивы данных, обработка этих данных на БС (функция демодулятора МП, функция отображения символов в биты и функция определения наличия ошибок).



**Рис. 8.** Графики зависимости коэффициента ошибок на бит от ОСШ для двух станций

Из рисунка 8 видно, что с увеличением числа абонентов помехоустойчивость системы NOMA ухудшается незначительно. Теперь проведем моделирование сценария с 3-мя абонентами.

#### Передача трех сигналов тремя станциями



**Рис. 9.** Графики зависимости коэффициента ошибок на бит от ОСШ для трех станций

По графикам, показанным на рисунках 8 и 9, можно сделать вывод, что при использовании системы NOMA с разделением по мощности на восходящей линии связи с увеличением числа абонентов коэффициент ошибок BER растет, т.е. помехоустойчивость канала связи ухудшается, но суммарная

скорость передачи увеличивается. Причем ухудшение помехоустойчивости незначительное (при условии применения демодулятора МП).

### **Информационная безопасность будущих систем беспроводной связи**

Технология NOMA задумана как перспективная технология в сетях пятого и следующих поколений (5G и далее) из-за её превосходной спектральной эффективности [12]. Из-за этого преимущества NOMA была включена в расширенную программу долгосрочного развития 3GPP (LTE-A), что еще раз свидетельствует о важности NOMA в будущих беспроводных сетях. Технология NOMA может хорошо интегрироваться с существующими технологиями множественного доступа [13], поскольку использует область мощности, что означает, что несколько пользователей могут обслуживаться в одном и том же ресурсном блоке. Для дальнейшего улучшения характеристик системы NOMA были введены технологии с несколькими антеннами.

Сети беспроводной связи сталкиваются с проблемами безопасности из-за ширококвещательной природы беспроводной среды [12]. Существующие решения для предотвращения проблем безопасности в беспроводной связи включают решения на основе криптографии и безопасности физического уровня (PLS – Physical Layer Security) [14]. Поскольку характер будущей беспроводной системы связи будет неоднородным, это усложняет процесс обмена ключами и управления ими. Это означает, что решения по безопасности, основанные на криптографии, не смогут полностью обеспечивать безопасность новых систем, и сигналы будут подвержены риску, поскольку они могут обеспечивать только уровень безопасности на уровне криптографии [15].

Ожидается, что беспроводные сети будущего поколения будут более совершенными и они будут поддерживать широкий спектр услуг, отвечающих высоким требованиям безопасности. Кроме того, некоторые приложения страдают от низкой производительности цифровой обработки сигналов, ограничениями по мощности и чувствительности к задержкам. Эти недостатки делают алгоритмы на основе шифрования непригодным для таких приложений [15]. Проблемы, которые возникают при использовании алгоритмов на основе шифрования, могут быть решены с использованием методов, основанных на безопасности физического уровня, которые являются популярными и эффективными решениями в последнее время и могут дополнить подходы к обеспечению безопасности, основанные на криптографии [15].

Методы на основе PLS могут использовать различные характеристики беспроводного канала, такие как коэффициенты передачи, характеристики шума, свойства сигналов и помех, чтобы предотвратить прерывание или декодирование разрешенной связи нежелательными и неавторизованными узлами. Методы безопасности на основе PLS могут использовать любой случайный канал между авторизованными пользователями для извлечения секретных ключей, сводя к минимуму необходимость совместного использования ключей. Также его можно применять с использованием базовых методов обработки сигналов, которые могут обеспечивать связь для абонентских устройств с приемлемой по сложности обработкой и задержками [16]. В таких устройствах также широко используются методы мультиплексирования с ортогональным частотным разделением сигналов, которые могут комбинироваться с технологией NOMA. Такие методы, по-видимому, будут широко использоваться в будущих беспроводных системах связи с рядом улучшенных свойств [16].

Методы на основе PLS, предложенные для различных технологий мультиплексирования, можно разделить на четыре основные группы. *Первая группа* основана на алгоритмах генерации секретных ключей, которые генерируют секретные ключи на любом случайном беспроводном канале. Ключи могут использоваться как на физическом уровне [17], так и на прикладном уровне для шифрования [18].

*Вторая группа* относится к методам адаптации канала, в которых основной идеей является изменение параметров передачи авторизованного узла для повышения производительности авторизованного узла на приемной стороне, например, схемы, основанные на автоматическом запросе на повторение и адаптивной модуляции, мультиплексирования с частотным разделением с выбором индекса поднесущей, предварительном кодировании и др. [19 - 23]

*Третья группа* фокусируется на методах, основанных на искусственном шуме. В этих методах искусственный шум добавляется на основе канала авторизованного узла, поэтому он может ухудшать производительность перехватчика, не влияя на производительность обработки при приеме на авторизованном узле [24].

*Четвертая группа* основана на алгоритмах, которые фокусируются на скрытии циклических особенностей сигналов с ортогональным частотным мультиплексированием. Неавторизованные абоненты могут использовать циклические функции, представленные циклическим префиксом (CP – Cyclic Prefix), для извлечения параметров сигнала, достижения синхронизации и декодирования данных [25]. Даже когда используются безопасные методы связи, такие как скачкообразная перестройка частоты и прямое расширение спектра, циклические особенности различимы, и передаваемые сигналы все еще находятся под угрозой злонамеренного приема.

Большинство упомянутых выше методов не соответствуют требованиям будущих беспроводных сетей, так как будущим приложениям потребуется сверхнадежная связь со сверхнизкими задержками (URLLC – Ultra-Reliable and Low-Latency Communication), а также сверхнадежная и безопасная связь (URSC – Ultra-Reliable and Secure Communication). Однако из-за сочетания безопасности и надежности дополнительная надежность может привести к избыточности, которая может поставить под угрозу безопасность физического уровня [20].

Совместное использование физического уровня и уровня доступа к среде передачи должно повысить надежность и безопасность системы беспроводной связи. Это достижимо с помощью технологии NOMA, которая привлекла значительное внимание для систем беспроводной связи 5G, благодаря таким уникальным свойствам как высокая спектральная эффективность, низкая задержка, широкие возможности подключения и т. д [12].

Эти многочисленные преимущества NOMA делают ее подходящим кандидатом для обеспечения будущих услуг, которые будут предоставляться сетями 5G и 6G [26]. В научных публикациях и исследованиях по безопасности с помощью технологии NOMA было предложено несколько схем PLS. Например, в статье [27] предлагается сеть NOMA с несколькими первичными и вторичными пользователями. Эта работа посвящена PLS с использованием технологий NOMA и когнитивного радио. Сначала первичный и вторичный пользователи объединяются в пары в соответствии с характеристиками каналов связи, а затем сигналы передаются с использованием NOMA с разделением по мощности. Результаты исследований показывают, что, объединяя основных пользователей или сводя к минимуму количество вторичных пользователей, можно повысить секретность данных [27].

В работе [28] предлагается новый метод с использованием искусственного шума для защиты личных данных двух пользователей в сети NOMA. Эта концепция была применена в системах NOMA с технологией MISO (Multiple Input Single Output), где две матрицы прекодирования вместе с технологией NOMA используются для защиты двух авторизованных абонентов от пассивного перехватчика.

Также в работе [29] предложена концепция NOMA с новой формой группового сигнала, которая сравнивается с традиционной схемой NOMA в области мощности. Результаты этой работы показывают преимущества предложенной схемы NOMA по сравнению с NOMA в области мощности. Недостаток этой схемы состоит в том, что она требует дополнительных ресурсов на цифровую обработку в приемнике, что приводит к высокому энергопотреблению и повышенной сложности.

Следует отметить, что традиционная схема NOMA с разделением по мощности страдает от таких угроз безопасности, как чувствительность к внешнему прослушиванию и внутреннему прослушиванию. Из-за трансляции сообщений нескольким абонентам одновременно на одних и тех же ресурсах существует риск того, что внешний перехватчик (т. е. неавторизованный, незаконный абонент) может подслушать и получить доступ к информации нескольких абонентов, если передача NOMA будет успешно перехвачена. Технология NOMA также подвержена внутреннему прослушиванию, когда необходимо защитить конфиденциальные сообщения, предназначенные для нескольких абонентов, особенно в случае присутствия ненадежных пользователей.

Исходя из рассмотренных материалов, посвященных безопасности физического уровня будущих систем беспроводной связи, можно сделать вывод, что существующие схемы безопасности для NOMA либо ограничены угрозами внешнего прослушивания, либо основаны на криптографии, которая требует совместного использования ключей и обработки с высокой вычислительной сложностью, что делает их не вполне пригодными для требований услуг и приложений технологий 5G и 6G.

### **Заключение**

Проведенный сценарий моделирования соответствует случаю системы NOMA с разделением по мощности для восходящей линии связи. Следует отметить, что поскольку технология NOMA позволяет накладывать несколько сигналов пользователей на один и тот же ресурс, это может приводить к взаимным помехам между абонентами системы NOMA. Следовательно, появляются дополнительные

помехи, которые приносит рассматриваемая технология, что мотивирует пересмотреть существующие методы управления ресурсами, методы компенсации помех и алгоритмы приема для очень плотных сетей будущих поколений [10] Хотя метод NOMA предлагает множество преимуществ, например, расширенные возможности распознавания информации большого числа пользователей, однако его использование также приводит к более высокой угрозе безопасности и конфиденциальности. Следовательно, необходимо решить ряд проблем информационной безопасности от физического до уровня приложений, чтобы построить надежную, безопасную, эффективную и действенную систему NOMA.

### Литература

1. *Alavi F., Cumanan K., Ding Z., Burr A. G.* Beamforming Techniques for Nonorthogonal Multiple Access in 5G Cellular Networks // IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 67, no. 10, pp. 9474-9487, Oct. 2018.
2. *Крюков Я.В., Покаместов Д.А., Рогожников Е.В., Громова Ю.С.* Моделирование канала связи CO-NOMA // Доклады ТУСУР, 2019. Т. 22, № 2. С. 12-16.
3. *Islam S. M. R., Avazov N., Dobre O. A., Kwak K.* Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) // 5G Systems: Potentials and Challenges," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 19, no. 2, pp. 721-742, Secondquarter 2017, doi: 10.1109/COMST.2016.2621116
4. *Cao Yang, Nan Zhao, Gaofeng Pan, Yunfei Chen, Lisheng Fan, Minglu Jin and Mohamed-Slim Alouini.* Secrecy Analysis for Cooperative NOMA Networks With Multi-Antenna Full-Duplex Relay // IEEE Transactions on Communications 67 (2019): 5574-5587.
5. *Tabassum H., Ali M. S., Hossain E., Hossain M. J., Kim D. I.* Uplink Vs. Downlink NOMA in Cellular Networks: Challenges and Research Directions // Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Sydney, Australia, 2017.
6. *Панкратов Д.Ю., Степанова А.Г.* Компьютерное моделирование технологий ММО для систем радиосвязи // В сборнике: Технологии информационного общества. Материалы XII Международной отраслевой научно-технической конференции, 2018. С. 191-194.
7. *Финк Л.М.* Теория передачи дискретных сообщений Изд. 2-е, переработанное, дополненное, 1970.
8. *S. M. Riazul Islam, Ming Zeng, Octavia A. Dobre, and Kyung-Sup Kwak* Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA): How It Meets 5G and Beyond, 2019.
9. *Benjebbour A., Saito Y., Kishiyama Y., Li A., Harada A., Nakamura T.* Concept and practical considerations of non-orthogonal multiple access (NOMA) for future radio access // in Proc. International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS), November 2013, pp. 770-774.
10. *Yuan Y., Yuan Z., Tian L.* 5G Non-Orthogonal Multiple Access Study in 3GPP // IEEE Communications Magazine, vol. 58, no. 7, pp. 90-96, July 2020.
11. *Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю., Степанова А.Г.* Новый подход к задачам ММО-детектирования и многопользовательской демодуляции // Информационные процессы. 2021. Т. 21. № 2. С. 93-107.
12. *Muhammad Furqan Zia, Jehad M. Hamamreh* An Advanced NOMA Security Technique for Future Wireless Communication, 2020.
13. *Liu Y., Qin Z., Elakashlan M., Ding Z., Nallanathan A., Hanzo L.* Nonorthogonal Multiple Access for 5G and Beyond // Proceedings of the IEEE, vol. 105, no. 12, pp. 2347-2381, Dec. 2017, doi: 10.1109/JPROC.2017.2768666.
14. *Fang D., Qian Y., Hu R. Q.* Security for 5G mobile wireless networks // IEEE Access, vol. 6, pp. 4850-4874, 2018.
15. *Sun L., Du Q.* Physical layer security with its applications in 5G networks: A review // China Commun., vol. 14, no. 12, pp. 1-14, December 2017.
16. *Hamamreh J. M., Furqan H. M., Arslan H.* Classifications and applications of physical layer security techniques for confidentiality: A comprehensive survey // IEEE Commun. Surveys Tuts., pp. 1-1, 2018.
17. *Li H., Wang X., Chouinard J.* Eavesdropping-resilient OFDM system using sorted subcarrier interleaving // IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 14, no. 2, pp. 1155-1165, Feb 2015.
18. *El Hajj Shehadeh Y., Alfandi O., Hogrefe D.* Towards robust key extraction from multipath wireless channels // Journal of Commun. and Netw., vol. 14, no. 4, pp. 385-395, Aug 2012.
19. *Furqan H. M., Hamamreh J. M., Arslan H.* Adaptive OFDMIM for enhancing physical layer security and spectral efficiency of future wireless networks // Wireless Commun. and Mobile Computing, vol. 2018, 2018.
20. *Hamamreh J. M., Basar E., Arslan H.* OFDM-subcarrier index selection for enhancing security and reliability of 5G URLLC services // IEEE Access, vol. 5, pp. 25 863-25 875, 2017.
21. *Furqan H. M., Hamamreh J. M., Arslan H.* Enhancing physical layer security of OFDM systems using channel shortening // IEEE 28th Annual Int. Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Commun. (PIMRC), Oct 2017, pp. 1-5.
22. *Guvenkaya E., Arslan H.* Secure communication in frequency selective channels with fade-avoiding subchannel usage // 2014 IEEE Int. Conf. Commun. Work. ICC 2014. IEEE, jun 2014, pp. 813-818.

23. *Hamamreh J. M., Furqan H. M., Arslan H.* Secure pre-coding and post-coding for OFDM systems along with hardware implementation // 13th Int. Wireless Commun. and Mobile Computing Conf. (IWCMC). IEEE, 2017, pp. 1338-1343.
24. *Qin H., Sun Y., Chang T.-H., Chen X., Chi C.-Y., Zhao M., Wang J.* Power allocation and time-domain artificial noise design for wiretap OFDM with discrete inputs // IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 12, no. 6, pp. 2717-2729, 2013.
25. *Ankaral Z. E., Karabacak M., Arslan H.* Cyclic feature concealing CP selection for physical layer security // IEEE military commun. conf. IEEE, 2014, pp. 485-489.
26. *Hamamreh J. M., Furqan H. M., Arslan H.* Classifications and applications of physical layer security techniques for confidentiality: A comprehensive survey // IEEE Communications Surveys Tutorials, vol. 21, no. 2, pp. 1773-1828, 2019.
27. *Xiang Z., Yang W., Pan G., Cai Y., Song Y.* Physical layer security in cognitive radio inspired noma network // IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol. 13, no. 3, pp. 700-714, 2019.
28. *Ly L., Ding Z., Ni Q., Chen J.* Secure miso-noma transmission with artificial noise // IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 67, no. 7, pp. 6700-6705, 2018.
29. *Şahin M. M., Arslan H.* Waveform-Domain NOMA: The Future of Multiple Access // 2020 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), pp. 1-6.
30. *Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю.* Анализ пропускной способности канала ММО в условиях замираний // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2018. Т. 9. № 2. С. 13-20.
31. *Крейнделин В.Б., Старовойтов М.Ю.* Повышение помехоустойчивости системы связи ММО с пространственным мультиплексированием методом додетекторного сложения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 4. С. 4-13.
32. *Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б.* Проблема повышения спектральной эффективности и емкости в перспективных системах связи 6G // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 2. С. 25-31.
33. *Крейнделин В.Б., Резнёв А.А.* Матрица пространственно-временного кода высокой размерности типа "Голден" // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 6. С. 34-40.
34. *Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю.* Исследование вероятностных моделей радиоканала ММО с учетом взаимной корреляции передающей и приемной сторон с помощью компьютерного моделирования // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2017. Т. 7. № 1. С. 64-68.
35. *Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю.* Алгоритмы нелинейной фильтрации двоичной ЛРП со случайной задержкой и случайной начальной фазой // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2019. Т. 10. № 2. С. 45-51.
36. *Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю.* Методы приема псевдослучайных последовательностей в системах радиосвязи // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2018. Т. 8. № 1. С. 108-112.
37. *Крейнделин В.Б., Григорьева Е.Д.* Анализ быстрого алгоритма умножения матриц и векторов для банка цифровых фильтров // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 1. С. 4-10.
38. *Бакулин М.Г., Бен Режеб Т.Б.К., Крейнделин В.Б., Смирнов А.Э.* Способы минимизации объема передаваемой информации в обратном канале многоантенных систем ММО // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 3. С. 17-24.
39. *Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю.* Применение технологии ММО в современных системах беспроводной связи разных поколений // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 4. С. 4-12.
40. *Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю.* Исследование вероятностных моделей радиоканала ММО с учетом взаимной корреляции передающей и приемной сторон с помощью компьютерного моделирования // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2017. Т. 7. № 1. С. 64-68.
41. *Крейнделин В.Б., Григорьева Е.Д.* Реализация банка цифровых фильтров с пониженной вычислительной сложностью // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 7. С. 48-53.
42. *Панкратов Д.Ю., Степанова А.Г.* Компьютерное моделирование технологии ММО для систем радиосвязи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 12. С. 33-37.
43. *Панкратов Д.Ю., Сердюков А.А.* Моделирование системы ММО в режиме Beamforming. DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2021. Т. 11. № 2. С. 12-21.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ QR-КОДОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЧТОВОЙ СВЯЗИ

**Яковлева Татьяна Валерьевна, Минина Ирина Леонидовна**

*Витебский филиал учреждения образования «Белорусская государственная академия связи», преподаватель высшей категории, магистрант, г. Витебск, Республика Беларусь.*

[rabit\\_78@mail.ru](mailto:rabit_78@mail.ru)

### **Аннотация**

*В работе произведено исследование существующей системы идентификации и отслеживания регистрируемых почтовых отправлений с применением стикеров штрих-кодов, рассматривается элемент кодирования электронной информации - QR-код, а также, предлагается внедрение новой системы идентификации почтовых отправлений с применением в качестве элемента идентификации QR-кодов, рассмотрены основные преимущества при нововведении*

**Ключевые слова:** *QR-код, система слежения, почтовые отправления, РУП «Белпочта», сортировка*

### **Введение**

В настоящее время на рынке оказания услуг почтовой связи существует жесткая конкуренция, так как приходят все новые почтовые операторы, а уже существующие стараются укрепить свои позиции и отвоевать своего клиента у конкурентов уменьшая тарифы на предоставляемые услуги иногда используя даже элементы демпинга, оптимизируя логистику перевозок для сроков выполнения нормативов служб и др.

Практически все основные почтовые операторы, работающие на территории Республики Беларусь, выросли как по объему доставок, так в выручке. В 2021 году по аналитической оценке LOGCONSULT.BY в десятку лучших почтовых операторов и курьерских служб Беларуси 2021 входят: AutoLight Express, DPD, Республиканское Унитарное Предприятие (РУП) «Белпочта», Европочта, M&M Express, ГлавДоставка, Доставыч, Пони экспресс, Vozim.by, СДЭК

РУП «Белпочта» – государственный национальный почтовый оператор Республики Беларусь, является членом Всемирного Почтового Союза (UPU) с 1947 года. На сегодняшний день инфраструктура производственных объектов предприятия насчитывает порядка 4000 отделений почтовой связи по всей стране и гарантирует бесперебойную доставку почтовых отправлений со всего мира.

Крупнейшим почтовым оператором Республики Беларусь является РУП «Белпочта». Ее транспортно-логистическая система очень развита и насчитывает более 19000 почтовых служащих, более 15000 единиц транспортных средств, а также более 1000 почтовых маршрутов общей протяженностью около 170 тыс. км. РУП «Белпочта» – единственный почтовый оператор на территории Республики Беларусь, который обладает статусом платежного агента и может принимать наложенные платежи за товары без ограничений по весу. Только РУП «Белпочта» имеет возможность приема международных отправлений с наложенным платежом.

Для достойных экономических показателей функционирования предприятия необходимо не только постоянно привлекать новых клиентов, но и удерживать и бороться за каждого отдельного клиента, который хоть раз обратился за оказанием почтовой услуги. Важно добиться его заинтересованности, чтобы и в дальнейшем почтовые услуги ему хотелось бы получить именно на этом предприятии, желание вновь и вновь возвращаться на почтовые объекты конкретного оператора, пользоваться в дальнейшем его услугами и не уходить к конкурентам.

Доверительные, лояльные стабильные отношения с существующими клиентами — основа стабильности и продвижения почтового оператора, особенно ценная во время нестабильной экономической ситуации.

Поэтому заботясь о своих клиентах, каждый почтовый оператор должен стремиться улучшать предлагаемые сервисы по пересылке почтовых отправлений, оптимизировать стоимость услуг, повышать скорость, точность и надежность доставки, а также иметь возможность своевременно доводить до клиента на информационных ресурсах рекламу своих услуг.



### Результаты исследований

Одним из видов услуг, оказываемых почтовыми операторами для своих клиентов - является такая традиционная основная услуга как прием, обработка, пересылка доставка и вручение почтовых отправлений.

К почтовым отправлениям относятся: отправления письменной корреспонденции (почтовые карточки, бандероли, письма, мелкие пакеты, отправления для слепых), посылки, отправления ускоренной почты, почтовые денежные переводы, уведомления. Почтовые отправления подразделяются на регистрируемые, у которых имеется определенная гарантированная степень надежности по доставке и вручению и на простые. Регистрируемое почтовое отправление – почтовое отправление, при приеме которого отправителю выдается квитанция и которое доставляется (вручается) адресату под расписку. Простые почтовые отправления – почтовые отправления, принимаемые без выдачи квитанции и вручаемые (доставляемые) адресатам без расписки. По территориальному перемещению почтовые отправления подразделяются на внутренние почтовые отправления – почтовые отправления, принимаемые, пересылаемые и доставляемые (вручаемые) в пределах Республики Беларусь, и на международные почтовые отправления – почтовые отправления, являющиеся объектом почтового обмена между государствами в соответствии с актами Всемирного почтового союза [2].

Отправляя свое почтовое отправление, отправитель должен быть уверен в том, что в процессе пересылки оно не потеряется, дойдет и будет вручено адресату в нормативный срок. Поэтому, почтовые службы предлагают повысить степень надежности пересылки почтовых отправлений, отправляя их регистрируемыми отправлениями. При приеме таких отправлений от отправителя каждому присваивается уникальный идентификационный номер – стикер штрих-кода (трек-номер), по которому почтовое отправление можно отследить на всех этапах пересылки включая момент вручения в автоматизированной системе учета регистрируемых почтовых отправлений

Стикер штрих-кода присваивается в стандартном формате UPU. Он отправлений состоит из 13-и буквенных и цифровых символов. Первый и второй символы являются идентификатором вида и категории отправления. Это латинские буквы RR – для мелких пакетов, CV или CP – для международных посылок, BV или BP для республиканских посылок, VV для отправлений письменной корреспонденции с объявленной ценностью, ZU – заказного республиканского уведомления и EE или PE – для EMS-отправлений. Далее идет 8-значная цифровая комбинация, на основании которой рассчитана еще одна последняя девятая цифра – контрольный разряд, затем еще два буквенных символа – шифр названия страны согласно стандартам UPU. Для Беларуси это обозначение будет выглядеть как BY. Как правило, стикер штрих-кода нанесен на бумажное основание на клейкой основе, нанесен несмываемой краской. Поэтому в пути пересылки он надежно закрепляется на почтовом отправлении и не портится (деформируется) на всем пути пересылки.

Для каждого своего клиента почтовый оператор предлагает удобное отслеживание перемещения внутренних и международных почтовых отправлений. Например, на официальном сайте РУП «Белпочта», в разделе «Слежение за почтовыми отправлениями». Выбрав тип почтового отправления по территориальному перемещению – республиканское или международное, клиент должен указать в соответствующем поле номер стикера штрих-кода, по завершении ввода нажать кнопку «Искать». На экране появится информация о текущем состоянии почтового отправления. Клиент в виде структуры видит подробную информацию о перемещении своего почтового отправления по всем сортировочным и производственным объектам с учетом времени их туда попадания и отправки. При условии, если имеется пометка - «для передачи в таможенную необходимы данные получателя», отправителю следует дополнительно заполнить прилагаемую форму требуемой дополнительной информацией, в противном случае отправление будет возвращено своему отправителю.

В Республике Беларусь основные сортировочные объекты расположены в Минске и применяется так называемый централизованный способ сортировки, а именно все почтовые отправления проходят - через цех письменной корреспонденции и гибридной почты производства «Минская почта». Территориально цех находится - в самом центре города. Сортировка почтовых отправлений осуществляется круглосуточно в три смены. Временные рамки на сортировку каждого отправления поставлены жесткие, ведь именно от того как быстро почтовые отправления будут рассортированы по направлениям, будет зависеть их дальнейшее отправка на маршрут по назначению [3].

В настоящее время сортировка почтовых отправлений на «Минской почте» производится с использованием современного сортировочного оборудования и нагрузка на него существенна. Статистически подсчитали, что в среднем за сутки через сортировочный объект проходит порядка 100 тысяч почтовых отправлений, а в часы пиковой нагрузки, например, перед новогодними праздниками это количество можно увеличивать вдвое.

Процент автоматической сортировки доходит до 70. Его можно увеличить, благо запас есть. Изначально этот процент зависит от того, кто отправляет почтовое отправление, т.к. качество адресования на почтовом отправлении обязанность отправителя. Поэтому случается так, что машина не может корректно распознать адрес и правильно его соотнести с нужной ячейкой, соответствующей рабочему участку. И этому есть несколько причин. Например, это орфографические ошибки в адресе. Так же у отправителя может быть неразборчивый почерк. Поэтому появляются «проблемные» почтовые отправления, которые отправляются на видео кодирование. При помощи специального программного обеспечения можно на мониторе увидеть увеличенный в несколько раз адрес и правильно распознать буквы. Однако и это, возможно, не всегда. В 10% случаев нераспознанное аппаратурой почтовое отправление передается специалистам для ручной сортировки [6].

Замечено, что корреспонденцию, которую отправляют юридические лица, такой проблемы, как правило, минуют. И связано это с тем, что адресные реквизиты юридические лица на отправлениях печатают, а не пишут вручную, поэтому примерно только одно письмо из сотни может попадать на ручную сортировку, из-за того, что, например, были использованы очень бледные чернила принтера.

Кроме пересылки республиканских почтовых отправлений наши граждане чаще всего отправляют почтовые отправления в страны пересылающие внутрисоюзные почтовые отправления (ВСПО): Российскую Федерацию, Республику Казахстан, Республику Армения, Киргизскую Республику; страны Балтии, Украину. По входящей почте, лидер отправки почтовых отправлений в нашу страну – Китай. В связи с развитием интернет торговли из Китая к нам идет огромное количество мелких пакетов и посылок. Так же значительное количество почтовых отправлений приходит к нам из США, Германии, Италии. Почтовые отправления, подписанные на латинице, отправятся на ручную сортировку: пока сортировочное оборудование унифицировано на кириллицу ввиду того, что подавляющее большинство корреспонденции у нас все-таки республиканское

Работая на современном сортировочном оборудовании, оператор нажимает на пульте несколько кнопок – и почтовые отправления через несколько секунд будут рассортированы на нужном доставочном участке. Или на нужном направлении для формирования мешка. Оператор имеет возможность выставить скорость подачи, расстояние между сортируемыми отправлениями. Аппаратура фотографирует до 50 тысяч картинок в час в очень высоком разрешении. Потом эти картинки попадают на сервер, где обрабатываются криптографическим программным обеспечением. Если информация расшифрована – почтовое отправление отправляется в приготовленную для него ячейку. Если автоматическая сортировка не получилась, то оно идет на видео кодирование, где специалисты вручную обрабатывают полученные изображения. При повторном прогоне почтовых отправлений аппаратура читает информацию, которую присвоил оператор видео кодирования.

В настоящее время во всем мире внедряется и получает широкое применение использование QR-кодов. QR -код – это двумерный тип штрих-кода (оптическая метка), который легко считывается цифровым устройством и хранит информацию в виде серии пикселей в квадратной сетке. Внешне QR-код выглядит как черно-белый узор.

В отличие от штрих-кода, QR-код, подлежит прочтению в двух направлениях – по горизонтали и по вертикали. Это позволяет хранить в нем больше данных. Большим преимуществом является то, что даже при небольших физических дефектах (деформация покрытия, повреждение или истирание участка) самого QR-кода, он остается рабочим для прочтения и распознавания. При сканировании QR-кода пользователь получает мгновенный доступ к зашифрованным данным [5].

В современном мире QR-коды используются во множестве отраслей для разных целей и направлений в работе, например, для хранения различных данных (ссылки на сайты, номера телефонов или тексты для рекламы и др.), может использоваться для предоставления доступа к Wi-Fi, отправки и получения платежной информации и прочих целей.

В 1994 году компания Denso Wave открыла свою разработку для свободного использования, и официально был представлен первый QR-код. Он мог кодировать до 7 тысяч знаков и считывался в 10 раз быстрее, чем штрих-код. А уже в 2000 году Международная организация по стандартизации

внесла QR-код в список одобренных стандартов кодирования информации.

Узор QR-кода хранит зашифрованную последовательность данных в двоичном формате (1 и 0) в виде матрицы. Каждой отдельной ячейке сетки присваивается значение в зависимости от цвета (черный или белый). Затем ячейки группируются в более крупные узоры. Ключи закодированных данных содержат дубликаты, поэтому при повреждении поверхности QR-кода до определенных масштабов его можно считать.

Устройство (специальный сканер или смартфон) распознает QR-код по трем квадратным меткам, расположенным по его углам. Они указывают, в каком направлении читать код. Обнаружив их, сканер считывает содержание квадрата, а затем анализирует QR-код, представляя его в виде сетки. Процесс считывания обеспечивает специализированное программное обеспечение, способное извлекать данные из шаблонов в матрице.

Также каждый QR-код имеет полосы синхронизации, чтобы его можно было считать даже на неровной поверхности.

Кроме того, QR-код включает маркер его версии, то есть сведения о формате, в котором закодированы данные. Всего их четыре: цифровое, буквенно-цифровое, двоичное и кандзи для японских иероглифов.

QR-код имеет также блоки исправления ошибок Рида – Соломона, которые располагаются по краям. Коды Рида-Соломона представляют собой специальную группу кодов, исправляющих ошибки при чтении QR. Таким образом, даже при повреждении 30% поверхности QR-кода, сканер считывает его правильно.

Наконец, каждый QR-код отделяется от внешнего пространства белым пространством или «тихой зоной». Она нужна, чтобы сканер распознал код.

В смартфонах последних лет выпуска присутствует встроенный считыватель QR-кода, который расположен в камере. Для считывания достаточно навести камеру на код под любым углом

QR-коды можно считать и на компьютере с помощью одной из специализированных программ.

Для создания QR-кодов имеются компьютерные программы – генераторы. (Владислав Висл. Гайд по QR-коду: как устроен процесс сканирования, и для чего он нужен. [Электронный ресурс] // ПРО-НЕДРА. URL: <https://pronedra.ru/gajd-po-qr-kodu-kak-ustroen-prozess-skanirovaniya-i-dlya-chego-on-nuzhen-616680.html> (дата обращения: 29.01.2022).

В настоящее время в области почтовой связи QR –коды имеют достаточно узкую область применения: используется в качестве способа оплаты пересылки простых и заказных почтовых отправлений - электронной марки и немного задействованы в оплате непрофильных услуг.

Однако в современном мире высоких технологий, применения компьютерных технологий, может быть целесообразным отказ от применения одномерных идентификаторов почтовых отправлений (стикера штрих-кода) и переход на двумерный идентификатор (QR-код) Сохранив имеющиеся функции по идентификации почтового отправления современным стикером штрих-кода, QR-код позволит получить дополнительные преимущества [4].

Предпосылки к переходу на новую технологию идентификацию уже появились, а плюсы от самой технологии очевидны:

1. Преимущества на сортировочных объектах: в QR-коде шифруется информация по адресным блокам отправителя и адресата и легко считывается датчиками сортировочной аппаратуры. В итоге, уменьшение «проблемных» нераспознаваемых почтовых отправлений, подлежащих сортировке ручным способом, и тем самым большая точность попадания почтового отправления в нужное направление.

Так же на этапе сортировки можно воспользоваться дополнительной возможностью кодирования в QR –коде информации веса почтового отправления. При прохождении по ленте сортировочной машины можно осуществлять дополнительный контроль на соответствие фактического веса почтового отправления, а также в зависимости от этой информации сортировать почтовые отправления в требуемые мешки, которые так же имеют ограничение по весу. Все это позволит сокращать время на сортировку, уменьшить количество брака по «засланным» почтовым отправлениям.

2. Дополнительная информативность и сервисы для клиента.

Как было описано выше, в наше время конкурентной борьбы за клиента одним немаловажным фактором является информированность клиента. В QR –коде для каждого своего клиента можно создать информацию:

- ссылку на сайт организации;
- ссылки на социальные сети (например, у РУП «Белпочта» есть страничка ВКонтакте), а также видео, фотогалереи и аудио, в которых почтовая организация сможет рассказать о своей деятельности, анонсировать новую услугу или сервис;
- рекламу услуг;
- анонсирование проводимых акций;
- обратную связь: очень важный элемент завоевания лояльности и расположения своего клиента, при котором отправителю или получателю можно предложить заполнить форму с отзывами и пожеланиями, написать на почту почтовой организации, а на основании отзывов можно составлять рейтинг организации, а такая функция как QR-код с поддержкой SMS дает возможность отправить отзыв на корпоративный номер телефона даже без подключения к интернету;
- с учетом конкретного отправления можно предоставлять персональные рекомендации показывают клиенту, о том, что почтовая организация знает о его потребностях, предложить максимально приближенную услугу, но с более интересным для клиента сервисом, это повышает степень лояльности. Формировать персональные рекомендации можно автоматически с помощью сервисов типа Relap или MyWidget.

### Заключение

Предлагаемый переход на новый способ идентификации почтовых отправлений позволит сохранить все возможности отслеживания почтовых отправлений, которые присутствуют у современных стикеров штрих-кода, дополнительно расширить возможности при обработке и сортировке почтовых отправлений и значительно увеличить информированность клиента. Увеличить лояльность клиента создав предпосылки контакта в обратной связи. Способ создания QR-кодов не требует создания новых продуктов компьютерных программ, можно задействовать или модернизировать уже существующие программы-генераторы. А устройства считывания QR-кодов уже существует: как на производственных почтовых объектах, так и персонально у клиентов, их применение возможно для клиента на бытовом уровне или на почтовом объекте. Даже находясь дома, а в свете появления в мире пандемий это очень актуально, у пользователя будет возможность заранее подготовить свое почтовое отправление к отправке на домашнем оборудовании и при определенных условиях – оплатить отправку онлайн и сразу напечатать QR-код на адресном ярлыке на черно-белом принтере.

Стоимость самого QR-кода в итоге будет сопоставима со стоимостью стикера штрих-кода, он также будет создаваться и оформляется на бумажной наклейке, удобен в эксплуатации на всем пути пересылки, при этом увеличивая степень и надежность считывания даже при незначительном своем повреждении.

### Литература

1. Правила оказания услуг почтовой связи общего пользования. Введ. 07.09.2004 N 1111. Минск, 2004. 4 с.
2. *Окулич Е.Н., Пархоменко Н.А.* Технология почтовой связи. 2-е изд., испр. и доп.: Учебник для учащихся учреждений образования, реализующих образовательные программы профессионально-технического и среднего специального образования по специальности «Почтовая связь». Минск: РИПО, 2021. 635 с.
3. *Валяр'ян Шкленнік.* Как сортируют почтовые отправления. Звезда.
4. *Мария Решетникова.* Визитки, реклама, платежи: как возникли и для чего используются QR-коды. [Электронный ресурс] // РБК. Тренды. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/6189517c9a79475deb5dbf9a> (дата обращения: 30.01.2022).
5. *Владислав Висл.* Гайд по QR-коду: как устроен процесс сканирования, и для чего он нужен // ПРОНЕД-РА, 2021. 5 с.
6. Почта Беларуси. Основные понятия. Способы доставки. [Электронный ресурс] // VXZone.com. URL: <https://www.vxzone.com/delivery/delivery-commoninfo/1370-belpost.html> (дата обращения: 30.01.2022).