

MUHAMMAD AL-XORAZMIY  
NOMIDAGI TATU FARG'ONA FILIALI  
FERGANA BRANCH OF TUIT  
NAMED AFTER MUHAMMAD AL-KHORAZMI

# “AL-FARG'ONIY AVLODLARI”

ELEKTRON ILMIY JURNALI | ELECTRONIC SCIENTIFIC JOURNAL

## TA'LIMDAGI ILMIY, OMMABOP VA ILMIY TADQIQOT ISHLARI



2-SON 1(2)  
2023-YIL

TATU, FARG'ONA  
O'ZBEKISTON



## O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR VAZIRLIGI

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI  
TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI  
FARG'ONA FILIALI

**Muassis:** Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Farg'ona filiali.

**Chop etish tili:** O'zbek, ingliz, rus. Jurnal texnika fanlariga ixtisoslashgan bo'lib, barcha shu sohadagi matematika, fizika, axborot texnologiyalari yo'nalishida maqolalar chop etib boradi.

**Учредитель:** Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразми.

**Язык издания:** узбекский, английский, русский.

Журнал специализируется на технических науках и публикует статьи в области математики, физики и информационных технологий.

**Founder:** Fergana branch of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khorazmi.

**Language of publication:** Uzbek, English, Russian.

The magazine specializes in technical sciences and publishes articles in the field of mathematics, physics, and information technology.

2023 yil, Tom 1, №2  
Vol.1, Iss.2, 2023 y

ELEKTRON ILMIY JURNALI

ELECTRONIC SCIENTIFIC JOURNAL

«Al-Farg'oniylar avlodlari» («The descendants of al-Fargani», «Potomki al-Fargani») O'zbekiston Respublikasi Prezidenti administratsiyasi huzuridagi Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligida 2022-yil 21 dekabrda 054493-son bilan ro'yxatdan o'tgan.

Tahririyat manzili:

151100, Farg'ona sh., Aeroport ko'chasi 17-uy, 201A-xona

Tel: (+99899) 998-01-42

e-mail: info@al-fargoniy.uz

Qo'lyozmalar taqrizlanmaydi va qaytarilmaydi.

FARG'ONA - 2023 YIL



## TAHRIR HAY'ATI

**Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti rektori, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

**Muxtarov Farrux Muhammadovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Farg'ona filiali direktori, texnika fanlari doktori

**Arjannikov Andrey Vasilevich,**

Rossiya Federatsiyasi Sibir davlat universiteti professori, fizika-matematika fanlari doktori

**Satibayev Abdugani Djunosovich,**

Qirg'iziston Respublikasi, Osh texnologiyalari universiteti, fizika-matematika fanlari doktori, professor

**Rasulov Akbarali Maxamatovich,**

Axborot texnologiyalari kafedrasida professori, fizika-matematika fanlari doktori

**Yakubov Maksadxon Sultaniyazovich,**

TATU «Axborot texnologiyalari» kafedrasida professori, t.f.d., professor, xalqaro axborotlashtirish fanlari Akademiyasi akademigi

**Bo'taboyev Muhammadjon To'ychiyevich,**

Farg'ona politexnika instituti, Iqtisod fanlari doktori, professor

**Abdullayev Abdujabbor,**

Andijon mashinosozlik instituti, Iqtisod fanlari doktori, professor

**Qo'ldashev Abbasjon Hakimovich,**

O'zbekiston milliy universiteti huzuridagi Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti, texnika fanlari doktori, professor

**Ergashev Sirojiddin Fayazovich,**

Farg'ona politexnika instituti, elektronika va asbobsozlik kafedrasida professori, texnika fanlari doktori, professor

**Qoraboyev Muhammadjon Qoraboievich,**

Toshkent tibbiyot akademiyasi Farg'ona filiali fizika matematika fanlari doktori, professor, BMT ning maslahatchisi maqomidagi xalqaro axborotlashtirish akademiyasi akademigi

**Naymanboyev Raxmonali,**

TATU FF Telekommunikatsiya kafedrasida faxriy dotsenti

**Polvonov Baxtiyor Zaylobiddinovich,**

TATU FF Ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo'yicha direktor o'rinbosari

**Zulunov Ravshanbek Mamatovich,**

TATU FF «Dasturiy injiniringi» kafedrasida dotsenti, fizika-matematika fanlari nomzodi

**Saliyev Nabijon,**

O'zbekiston jismoniy tarbiya va sport universiteti Farg'ona filiali dotsenti

**G'ulomov Sherzod Rajaboyevich,**

TATU Kiberxavfsizlik fakulteti dekani, Ph.D., dotsent

**G'aniyev Abduxalil Abdujalioviyevich,**

TATU Kiberxavfsizlik fakulteti, Axborot xavfsizligi kafedrasida t.f.n., dotsent

**Zaynidinov Hakimjon Nasritdinovich,**

TATU Kompyuter injiniringi fakulteti, Sun'iy intellekt kafedrasida texnika fanlari doktori, professor

**Abdullaev Temurbek Marufovich,**

Kafedra mudiri, texnika fanlar bo'yicha falsafa doktori

**Bilolov Inomjon O'ktamovich,**

Kafedra mudiri, pedagogika fanlar nomzodi

**Daliev Baxtiyor Sirojiddinovich,**

Fakultet dekani, fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori

**Zokirov Sanjar Ikromjon o'g'li,**

Kafedra mudiri, fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori

**Ibroximov Nodirbek Ikromjonovich,**

Dasturiy injiniring va raqamli iqtisodiyot fakulteti dekani, fizika-matematika fanlari bo'yicha PhD

**Kochkorova Gulnora Dexkanbaevna,**

Kafedra mudiri, falsafa fanlari nomzodi

**Kadirov Abdumalik Matkarimovich,**

Yoshlar masalalari va ma'naviy-ma'rifiy ishlar bo'yicha direktor o'rinbosari, falsafa fanlar bo'yicha falsafa doktori

**Nurdinova Raziya Abdixalikovna,**

Ilmiy tadqiqotlar, innovatsiyalar va ilmiy-pedagogik kadrlar tayyorlash bo'limi boshlig'i, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori

**Otakulov Oybek Hamdamovich,**

Kompyuter injiniringi fakulteti dekani, texnika fanlar nomzodi, dotsent

**Obidova Gulmira Kuziboevna,**

Kafedra mudiri, falsafa fanlari doktori

**Rayimjonova Odina Sodiqovna,**

Kafedra mudiri, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

**Sabirov Salim Satiyevich,**

Kafedra mudiri, fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent

**Teshaboev Muhiddin Ma'rufovich,**

Ta'lim sifatini nazorat qilish bo'limi boshlig'i, falsafa fanlari bo'yicha falsafa doktori

**To'xtasinov Dadaxon Farxodovich,**

Kafedra mudiri, pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

### Jurnal quyidagi bazalarda indekslanadi:



**MUNDARIJA | ОГЛАВЛЕНИЕ | TABLE OF CONTENTS**

Farrux Muxtarov, MAXSUS AXBOROT ALMASHUV KANALLARIGA BO'LADIGAN XAVF-XATARLARNI ANIQLASH, VAHOLASH VA BOSHQARISH HAMDA ULARNI BARTARAF ETISH USULLARINI ISHLAB CHIQUISH	5-8
Muhammadmullo Asrayev, 0-TARTIBLI BIR JINSLI FUNKSIONALLAR KO'RINISHIDAGI SODDA MEZONLAR UCHUN 1 INFORMATIV BELGILAR MAJMUASINI ANIQLASH USULLARI	9-12
Musoxon Dadaxonov, Muhammadmullo Asrayev, BERILGAN TASVIR SIFATINI VAHOLASH	13-16
Узоков Бархаёт Мухаммадиевич, АДАПТАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПО ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ	17-22
Mirzakarimov Baxtiyor Abdusalomovich, Kayumov Ahror Muminjonovich, THE CHALLENGES OF TEACHING JAVA PROGRAMMING LANGUAGE IN EDUCATIONAL SYSTEMS	23-26
Якубов М.С., Хошимов Б.М., АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ	27-32
Mirzakarimov Baxtiyor Abdusalomovich, Hayitov Azizjon Mo'minjon o'g'li, THE USE OF BIOMETRIC AUTHENTICATION TECHNIQUES FOR SAFEGUARDING DATA IN COMPUTER SYSTEMS AGAINST UNAUTHORIZED ACCESS OR BREACHES	33-36
Zulunov Ravshan Mamatovich, Kayumov Ahror Muminjonovich, THE LIMITATIONS OF TEACHING JAVA PROGRAMMING LANGUAGE IN EDUCATIONAL SYSTEMS	37-40
D.X.Tojimatov, KIBER TAHDIDLARNI BASHORAT QILISH VA XAVF-XATARLARDAN NIHOYALANISHDA SUN'IY INTELEKT IMKONIYATLARIDAN FOYDALANISH	41-44
Хаджаев С.И., АСИНХРОННАЯ БИБЛИОТЕКА PYTHON ASYNCIO: ПРЕИМУЩЕСТВА И ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ	45-48
Kayumov Ahror Muminjonovich, CREATING AN EXPERT SYSTEM-BASED PROGRAM TO EVALUATE TEXTILE MACHINE EFFECTIVENESS	49-52
Zulunov Ravshanbek Mamatovich, Mahmudova Muqaddasxon Abdubannob qizi, TIBBIYOT MUASSASALARIDA ELEKTRON NAVBAT TIZIMI	53-57
Зулунов Равшанбек Маматович, Гуламова Диёра Ифтихар қизи, РЕЧЕВОЙ СИГНАЛ И ЕГО НОРМАЛИЗАЦИЯ	58-60
Солиев Бахромжон Набижонович, ГЕНЕРАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ API В DJANGO REST FRAMEWORK С ПРИМЕНЕНИЕМ DRF SPECTACULAR	61-66
Эрматова Зарина Кахрамоновна, АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К ОБРАБОТКЕ ОШИБОК: СРАВНЕНИЕ EXCEPTIONS И STD::EXPECTED В C++	67-73
Зулунов Равшанбек Маматович, Бахрамов Ихтиёржон Бахтиёржон угли, РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ МАССОВОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЁЗД	74-80
Атаджанов Шерзод Шухратович, Турсунова Азиза Ахмаджановна, ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВЫСОКОТОЧНОГО ИТЕРАТИВНОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ И СРАВНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОДОВ	81-89

## ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВЫСОКОТОЧНОГО ИТЕРАТИВНОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ И СРАВНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОДОВ

**Атаджанов Шерзод Шухратович,**  
Главный специалист отдела по развитию и  
контролю региональных филиалов,  
соискатель кафедры «Системы телерадиовещания»  
Ташкентского университета информационных  
технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий

**Турсунова Азиза Ахмаджановна,**  
Старший преподаватель кафедры «Информационные  
технологии» Нурафшанского филиала ТУИТ  
имени Мухаммада ал-Хоразмий

**Аннотация:** В работе разработан программный модуль, точно имитирующий работы разработанной системы высокоточного итеративного кодирования и декодирования для оценки эффективности существующих многопороговых алгоритмов и разработанного алгоритма высокоточного итеративного декодирования, также получения вероятностно-энергетических характеристик соответствующих алгоритмов. Изложены экспериментальные результаты работы системы высокоточного итеративного декодирования в режиме сравнения эффективности кодов, которые сравниваются различные виды кодов с всесторонними критериями. Рассмотрены дальнейшее применение высокоточных итеративных кодов в системах цифрового ТВ вещания.

**Ключевые слова:** модуль, код, высокоточный, итерация, оценка, алгоритм, ошибка, эффективность, кодер, декодер

### Введение

На сегодняшний день в области цифровой передачи информации широко осуществляются разработки и внедрения новых эффективных методов и алгоритмов, повышающие помехоустойчивости цифровых сигналов [1, 2]. Но, еще не усовершенствованы основные принципы, определяющие свойства и конструкции оптимального кода, позволяющие систему в целом достичь максимальной помехоустойчивости [3].

В системах цифрового телевизионного вещания наиболее актуальной задачей является предотвращение искажений, т.е. обеспечение высокую помехоустойчивость импульсно-кодовых сигналов. Применяемые в настоящее время системы помехоустойчивого кодирования и декодирования (СПКД), особенно для высокоскоростных каналов и каналов с большими шумами, всё очень сложны на аппаратном уровне. В большинство случаев применяемые методы помехоустойчивого декодирования (ПДк)

цифровых сигналов при размножении ошибок (РО) в каналах дают малую эффективность.

С точки зрения конструктивных сложностей порогового декодирования, учитывая ее дальнейшего усовершенствования, был разработан алгоритм многопорогового декодирования (МТД). Но основным недостатком этого алгоритма является относительно высокая сложность декодирования и большая задержка, которое делает его малоэффективным и неудобным для некоторых применений.

Для улучшения эффективности и энергетических показателей многопорогового декодера с точки зрения оптимизации методов устранения ошибок и обработки информационных и проверочных символов (битов), разработан алгоритм высокоточного итеративного декодирования (ВИДк) [3]. На основе этого алгоритма действует высокоточный итеративный декодер (ВИД). На сегодняшний день ВИД надёжно рекомендуют себя при работе в каналах с большими

шумами [1, 3, 6, 7] который вызывает перспективные возможности применения ее в дальнейших технологических прорывах.

### Разработка методик оценки и определения вероятности ошибки приема при использовании высокоточного итеративного декодера

После появления алгоритма Витерби прошло много лет и дальше стали развиваться методы декодирования, построенные на принципиально новой итеративной основе. Сегодня в практике специалистами разработаны многие алгоритмы и конструкции эффективных декодеров. Один из разработанных алгоритмов называется мажоритарное декодирование на основе многопороговых декодеров.

Используя эту методику оценки вероятности ошибки (ВО) при работе в двоично-симметричном канале (ДСК) и в канале с аддитивным белым гауссова шумом (АБГШ), применяем его к работе ВИД для определения ВО и оценки вероятностно-энергетические характеристики приема.

При вычислениях предполагаем, что на последней итерации декодирования ВО  $P_{\text{ВИД}}$  равна ВО оптимального декодера. При этом частые события являются таковыми:

1. В блоке кода Хемминга присутствуют три ошибки. Вероятность данного события можно оценить как

$$P_1 = C_{N_2}^3 P_{\text{ВИД}}^3 (1 - P_{\text{ВИД}})^{N_2-3} \quad (1)$$

здесь  $P_{\text{ВИД}}$  – ВО ВИД внутреннего ВИК. Для ДСК

$$P_{\text{ВИД}} \approx \sum_{i=\frac{d_1+1}{2}}^{d_1} C_{d_1}^i p_0^i (1 - p_0)^{d_1-i}, \quad (2)$$

где  $p_0$  – вероятность ошибки в ДСК,  $d_1$  – кодовое расстояние ВИК.

Для канала с АБГШ и ФМ2

$$P_{\text{ВИД}} \approx Q\left(\sqrt{2Rd_1 \frac{E_b}{N_0}}\right), \quad (3)$$

где  $Q(x)$  – интеграл ошибок,  $R$  – кодовая скорость композиционного ВИК.

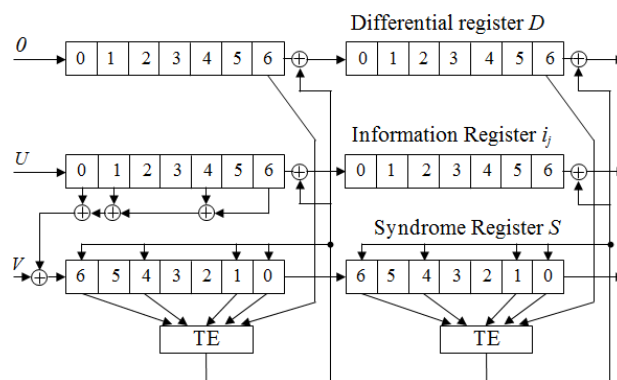
2. В блоке кода Хемминга присутствуют две ошибки и среди правильных битов есть такие два, суммарная надежность которых меньше надежности двух ошибочных битов. Вероятность такого события оценивается как

$$P_2 = C_n^2 P_{\text{ВИД}}^2 (1 - P_{\text{ВИД}})^{n-2} \sum_{i_1=T}^J \sum_{i_2=T}^J [C_J^{i_1} C_J^{i_2} p_0^{i_1+i_2} (1 - p_0)^{2J-i_1-i_2} P_{2x}(i_1 + i_2)], \quad (4)$$

где  $J=d_1-1$  – число проверок внутреннего кода относительно информационного бита;  $T=(d_1+1)/2$  – значение порога на ПЭ ВИД (Figure 1);  $P_{2x}(k)$  – вероятность того, что в проверочных битах для двух правильных информационных битов ошибок больше, чем в  $2d_1-k$ , определяемая как

$$P_{2x}(k) = C_{N_2-2}^2 \sum_{i_3=0}^{T-1} \sum_{i_4=0}^{T-1} f(i_3, i_4, k), \quad (5)$$

где функция  $f$  задана следующим образом:



$$f(i_3, i_4, k) = \begin{cases} 0, & \text{если } i_3 + i_4 \leq 2d_1 - k; \\ C_J^{i_3} C_J^{i_4} p_0^{i_3+i_4} (1 - p_0)^{2d_1-i_3-i_4} & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (6)$$

Рис.1. Высокоточный итеративный декодер сверточного СОК с  $r=1/2, d_{\text{min}}=5$  и  $n_a=13$  для двух итераций декодирования

Остальными событиями в силу малой величины ВО  $P_{\text{ВИД}}$  можно пренебречь. В результате возникновения перечисленных событий в блоке кода Хемминга из  $N_2$  битов появятся 4 ошибки. Тогда нижняя оценка ВО декодирования всей композиционной схемы определяется как

$$P_b^{(L)} = 4 \cdot \frac{P_1 + P_2}{N}. \quad (7)$$

Реализация программного модуля для исследования высокоточного итеративного кода

### Реализация программного модуля для исследования высокоточного итеративного кода

В работе реализована в программных средствах Borland Delphi методика получения спектра ВИК. Данные программные средства использовались при выборе лучших ВИК. Для построения работы ВИК с помощью компьютерного моделирования выполнен анализ эффективности ВИД при использовании двоичного симметричного канала (ДСК) и канала с аддитивным белым гауссовым шумом (АБГШ) в пределах фазовой модуляции от 2-х до 256-ти уровневый квантованием (от ФМ-2 до ФМ-256). В качестве метода итеративного декодирования композиционного ВИК, использующий в составе как обычных, так и недвоичных расширенных ВИК, применены два модели обработки – алгебраическое и блочное кодирование/декодирование кодов.

Данный программный комплекс позволяет специалистам оценить возможность применения в разрабатываемых системах различных декодеров корректирующих кодов. Это создает возможность

правильного проектирования всех узлов создаваемых новых коммуникационных систем с учетом требуемых уровней энергетической эффективности, сложности, скорости и надежности реализации, задержки принятия решения и других критериев выбора систем повышения достоверности.

Также, программный модуль обеспечивает возможность ознакомиться с технологией работы системы помехоустойчивого кодирования и декодирования ВИК (СПКДВИК), предназначенного для ВИКД, также моделированию цифровых телевизионных и спутниковых каналов связи на основе оценки эффективности высокоточных итеративных и многопороговых алгоритмов декодирования, корректирующих кодов и декодера Витерби.

Программный модуль состоит из 5 субмодуля, которые размещены во вкладках нижней части программы (Рис. 2).

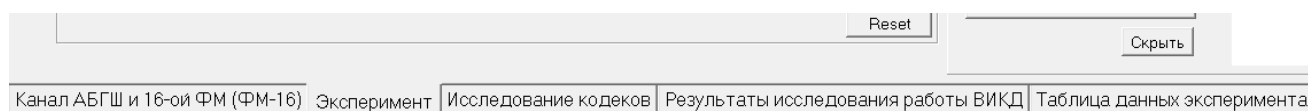


Рис.2. Программный модуль, состоящий из 5 субмодулей

Эти субмодуля, включают в себя определенные действия, связанные с установкой и изменением параметров экспериментируемой системы. Интерфейс программы и поясняющие девайсы разработаны на русском языке. Мы приводим краткую пояснение на английском языке, что выполняет конкретная часть программы, так как из-за сложной компиляции внутрикодовых изменений невозможно быстро перевести полностью на английскую версию.

В субмодуле "Канал АБГШ и 16-ой ФМ (ФМ-16)" отображены параметры цифрового телевизионного канала. По умолчанию задан цифровой канал с аддитивным белым гауссовым шумом (АБГШ), фазовой манипуляцией с 16-ти уровневый квантованием выходного сигнала демодулятора (рис.3, а). На субмодуле "Эксперимент" устанавливаются кодеки,

работающие на основе алгоритмов МПД, реализованные на аппаратной платформе ПЛИС Xilinx и Altera. Для дальнейшего проведения сравнительного анализа с существующими кодеками устанавливается и новый кодек ВИК.

В субмодуле также осуществляется выбор информационной последовательности для поступления их на вход данных кодеров (на вход исследуемого декодирующего устройства) из различных цифровых сигналов (поток) и контента. Выбранного цифрового потока можно отменить с помощью "Reset". Устанавливается объем эксперимента в размере передаваемых и принимаемых битов и критическое число ошибок, которое если количество ошибок превышает от установленного значения, прекращается моделирование (рис.3, б).



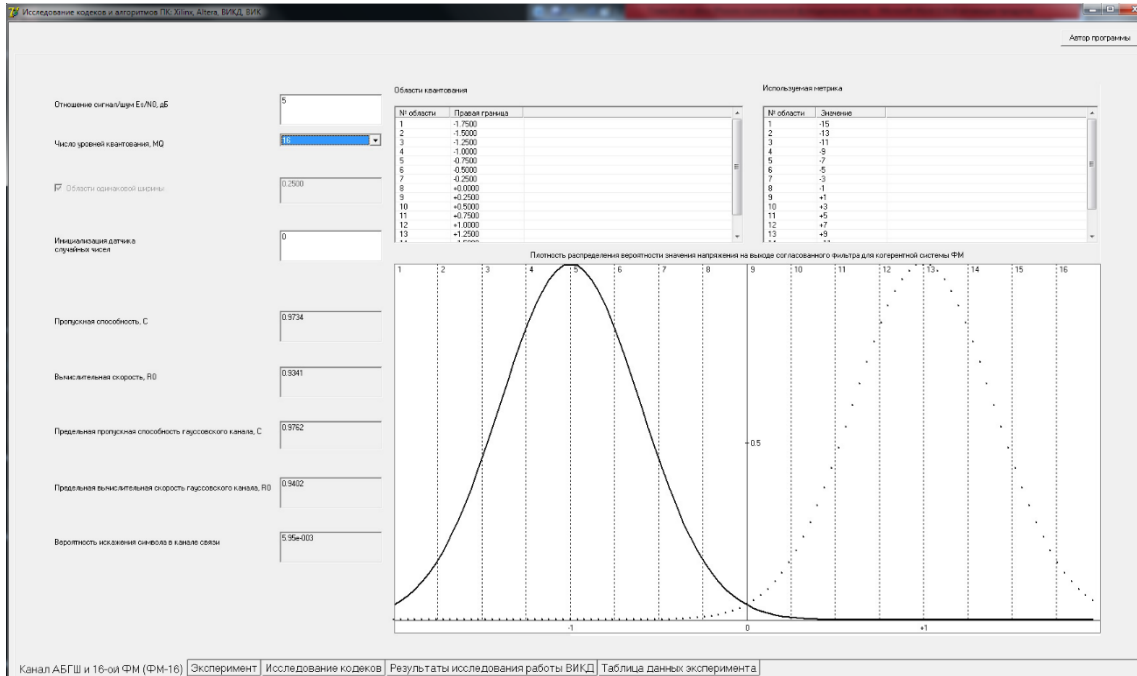


Рис.3, а. Субмодуль “Канал АБГШ и 16-ой ФМ (ФМ-16)”

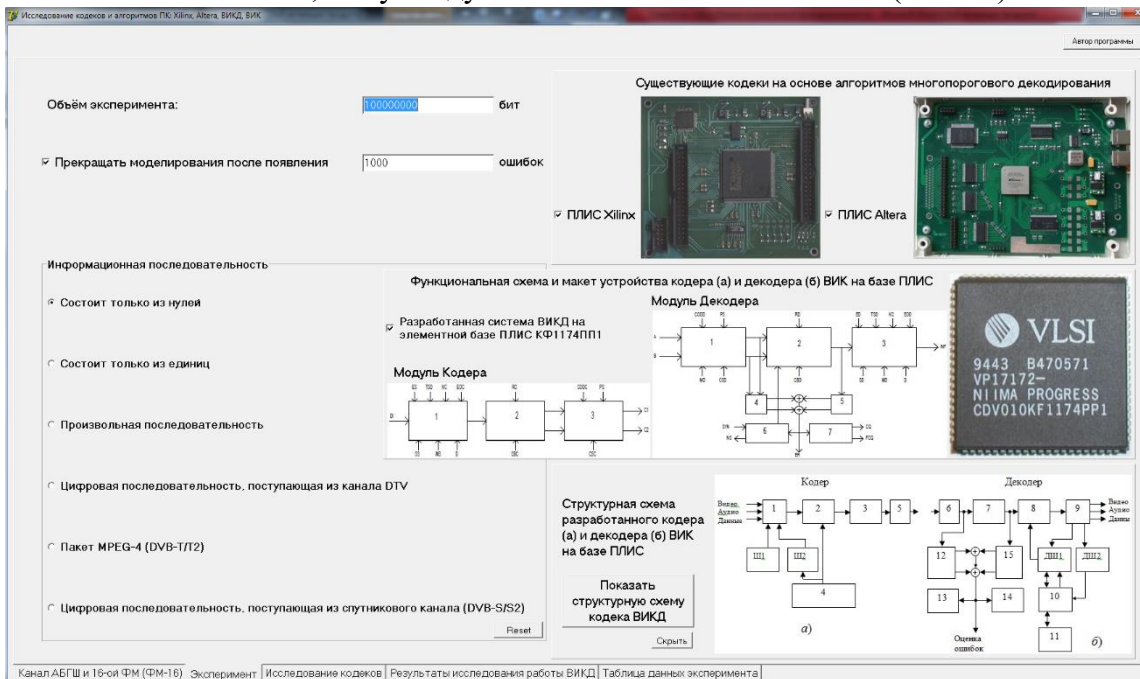


Рис.3, б. Субмодуль “Эксперимент”

Субмодуль “Исследование кодеров” предназначено для предварительного исследования и сравнения ВЭХ четырёх кодеров: кодера Витерби, кодера МПД Xilinx, кодера МПД Altera и кодера ВИКД. У каждого кодера имеется отдельная часть для установления параметров и конструкций исследуемого кода, которого работает только на этом кодеке. Для кодеров Витерби, МПД Xilinx и Altera в качестве помехоустойчивого кода используется сверточные коды (СК), т.к. параметры

СК выбраны для кодера Витерби  $K=7, R=1/2, d=9$  а для МПД Xilinx и Altera  $K=7, R=1/2, d=15$ . В случае разработанного кодера ВИКД используется три вида кода: 1) Недвоичный расширенный код Хемминга с конструкцией  $(128, 64), d=3, m=10, N_2=128$  с  $q$ -ым ВИК  $q=256, R=1/2, R=8/16, d=15$ . 2) Сверточный код с конструкцией  $R=7/14, R=1/2, d=15, K=9$ . 3) и Композиционная ВИК, при этом конструкция составляющих кодов: ВИБК  $(255, 123, 33), q=256, R=1/2, R=7/14$  и ВИСК  $R=1/2, R=7/14,$



$d=15$ ,  $K=9$ . С помощью кнопок "Оценка ВЭХ" можно оценить ВЭХ у каждого кода. Кривые и графические информации результата оценки ВЭХ у каждого кода визуально отображается или

воспроизводится в специальном экране анализатора ВЭХ. Оценка и сравнение ВЭХ кодеков осуществляется как в отдельном, так и в параллельном режиме.

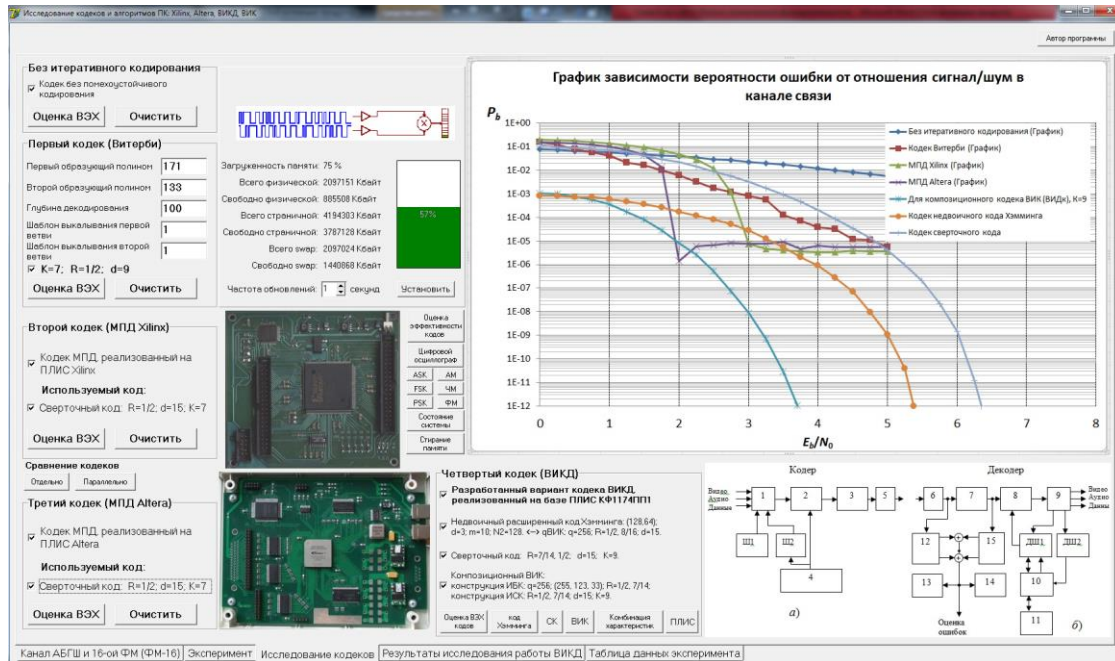


Рис.3, в. Субмодуль "Исследование кодеков"

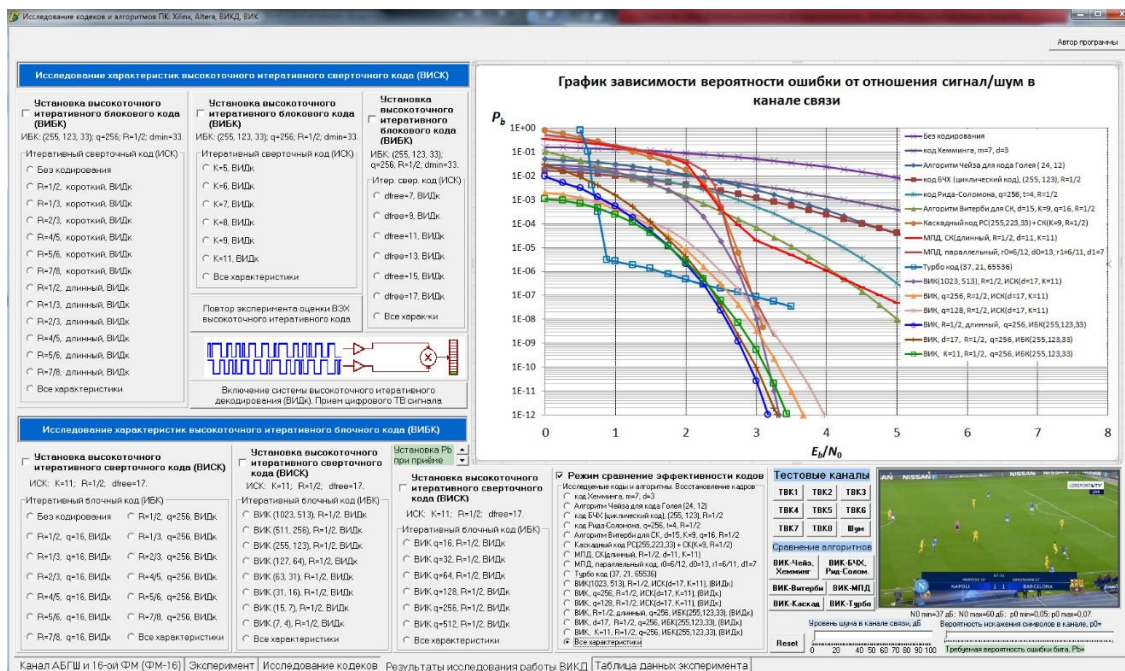


Рис.3, г. Субмодуль "Результаты исследования работы ВИКД"

В отдельной оценке, сравниваются ВЭХ двух свободного кода между собой, а при параллельном режиме сравниваются

характеристики трех или более свободных кодеков. Также в этом субмодуле устанавливаются функции "Состояние системы", "Цифровой осциллограф",

иллюстрирующий цифровой и аналоговой вид модуляции контента, "Стирание памяти", обнуляющий предварительное состояние и возвращающее кодеков к начальному значению. С помощью "Оценка эффективности кодеков" производится окончательная оценка ВЭХ и сравнение эффективности четырёх исследуемых кодеков (рис.3, в).

В submodule "Результаты исследования работы ВИКД" проводятся следующие эксперименты:

- исследование ВЭХ ВИСК в различных ее параметрах:  $P_b=f(R)$ ,  $P_b=f(K)$ ,  $P_b=f(d_{free})$ ;
- исследование ВЭХ ВИБК в различных ее параметрах:  $P_b=f(R, q=16, 256)$ ,  $P_b=f(n, k, R)$ ,  $P_b=f(q, R=1/2)$ ;
- сравнение кодов Хемминга, Голея, БЧХ, Рида-Соломона, турбо кода, сверточного и каскадного кода, также алгоритмов Витерби, МПД, Чейза;

- сравнение ВИК, имеющие разные конструкции с кодами Хемминга, Рида-Соломона, сверточными, каскадными и турбо кодами, также сравнения алгоритмов ВИКД с алгоритмами Витерби, Чейза и МПД;

- включение тестовых каналов для определения способности устранения шумов, на основе описанным в работе математическим аппаратом соответствующих алгоритмов декодирования;

- применение исследуемых алгоритмов при устранении реальные шумы в составе цифрового ТВ контента в приёме (рис.3, з)

В submodule "Таблица данных эксперимента" хранятся базы данных всех графических значений кривых, касающейся установлению определённых параметров и конструкций соответствующих кодов, которые имеются дела в ходе эксперимента (рис.3, д).

Сравнение эффективности исследуемых кодов и алгоритмов помехоустойчивого кодирования (Хемминг, Чейз, Витерби, БЧХ, Рид-Соломон, Каскадный, МПД, Турбо, ВИК)  
Данные зависимости вероятности ошибки битов  $P_b$  от отношения сигнал-шум  $E_b/N_0$  при различных значениях кодовых конструкций и параметрах модуляции

Без кодовой	код	Алгоритм	код ВИК	код Рида-Соломона	Алгоритм	Каскад	МПД	МПД	Турбо код	ВИК	ВИК	ВИК	ВИК	ВИК	ВИК	ВИК	ВИК	ВИК	ВИК	ВИК											
структура	Чейза	Чейза	(универсальный)	(RS(255, 223))	Витерби	RS(255, 223)	С(12, 11)	С(12, 11)	(17, 21, 25, 31)	q=16, r=1/2	q=16, r=1/2	q=16, r=1/2	q=16, r=1/2	q=16, r=1/2	q=16, r=1/2	q=16, r=1/2	q=16, r=1/2	q=16, r=1/2	q=16, r=1/2	q=16, r=1/2											
Еb/No	Еb/No	Еb/No	Еb/No	Еb/No	Еb/No	Еb/No	Еb/No	Еb/No	Еb/No	Еb/No	Еb/No	Еb/No	Еb/No	Еb/No	Еb/No	Еb/No	Еb/No	Еb/No	Еb/No	Еb/No											
0,000	1,60E-01	0,300	2,90E-02	0,000	5,00E-02	0,000	1,70E-02	0,000	2,10E-02	0,000	1,32E-02	0,000	8,00E-03	0,000	3,50E-01	0,000	5,00E-01	0,000	2,20E-02	0,000	2,00E-03	0,000	1,10E-01	0,000	9,20E-03	0,000	2,90E-02	0,000	1,05E-03		
0,250	1,55E-01	0,250	2,80E-02	0,250	4,60E-02	0,250	1,60E-02	0,250	2,00E-02	0,250	1,20E-02	0,250	7,00E-03	0,250	3,00E-01	0,250	4,00E-01	0,250	1,80E-02	0,250	1,60E-03	0,250	5,00E-03	0,250	1,68E-02	0,250	9,30E-04	0,250	3,00E-04		
0,500	1,50E-01	0,500	2,60E-02	0,500	4,20E-02	0,500	1,40E-02	0,500	1,80E-02	0,500	1,10E-02	0,500	6,00E-03	0,500	2,60E-01	0,500	3,40E-01	0,500	1,60E-02	0,500	1,20E-03	0,500	3,00E-03	0,500	1,50E-02	0,500	5,00E-03	0,500	6,91E-04		
0,750	1,40E-01	0,750	2,20E-02	0,750	3,80E-02	0,750	1,20E-02	0,750	1,55E-02	0,750	9,50E-03	0,750	5,00E-03	0,750	2,20E-01	0,750	2,80E-01	0,750	1,30E-02	0,750	8,00E-04	0,750	3,00E-04	0,750	1,30E-03	0,750	4,00E-03	0,750	4,52E-04		
1,000	1,30E-01	1,000	2,00E-02	1,000	3,00E-02	1,000	1,00E-02	1,000	1,30E-02	1,000	7,50E-03	1,000	3,50E-03	1,000	1,80E-01	1,000	2,40E-01	1,000	1,10E-02	1,000	4,00E-04	1,000	3,00E-04	1,000	5,50E-04	1,000	1,50E-03	1,000	2,41E-04		
1,250	1,20E-01	1,250	1,70E-02	1,250	2,50E-02	1,250	8,00E-03	1,250	1,10E-02	1,250	6,00E-03	1,250	4,00E-03	1,250	1,50E-01	1,250	2,00E-01	1,250	9,00E-03	1,250	2,00E-04	1,250	2,00E-04	1,250	2,70E-04	1,250	1,70E-04	1,250	5,00E-04	1,250	1,00E-04
1,500	1,10E-01	1,500	1,50E-02	1,500	2,00E-02	1,500	6,00E-03	1,500	8,00E-03	1,500	4,70E-03	1,500	3,00E-03	1,500	1,20E-01	1,500	1,60E-01	1,500	8,00E-03	1,500	1,50E-04	1,500	1,50E-04	1,500	3,00E-04	1,500	2,00E-04	1,500	4,01E-05	1,500	1,00E-05
1,750	9,80E-02	1,750	1,20E-02	1,750	1,50E-02	1,750	5,40E-03	1,750	5,00E-03	1,750	2,50E-03	1,750	1,60E-03	1,750	1,00E-01	1,750	1,30E-01	1,750	7,00E-03	1,750	2,60E-04	1,750	2,60E-04	1,750	3,00E-04	1,750	5,50E-05	1,750	1,20E-05	1,750	2,20E-05
2,000	8,80E-02	2,000	1,00E-02	2,000	1,10E-02	2,000	4,30E-03	2,000	4,00E-03	2,000	1,40E-03	2,000	1,80E-03	2,000	8,00E-02	2,000	1,00E-01	2,000	6,00E-03	2,000	1,90E-04	2,000	1,90E-04	2,000	2,00E-04	2,000	4,00E-05	2,000	4,00E-06	2,000	2,50E-06
2,250	7,80E-02	2,250	8,20E-03	2,250	8,20E-03	2,250	3,30E-03	2,250	2,70E-03	2,250	7,00E-04	2,250	5,50E-04	2,250	6,00E-02	2,250	7,00E-02	2,250	5,00E-03	2,250	1,80E-04	2,250	1,80E-04	2,250	2,00E-04	2,250	5,30E-05	2,250	5,30E-07	2,250	4,50E-07
2,500	6,90E-02	2,500	6,40E-03	2,500	5,80E-03	2,500	2,80E-03	2,500	1,80E-03	2,500	3,20E-04	2,500	5,00E-04	2,500	4,00E-02	2,500	4,00E-02	2,500	4,00E-03	2,500	1,30E-04	2,500	1,30E-04	2,500	1,50E-04	2,500	2,30E-05	2,500	4,00E-06	2,500	6,00E-08
2,750	6,00E-02	2,750	5,00E-03	2,750	4,00E-03	2,750	1,90E-03	2,750	1,00E-03	2,750	1,50E-04	2,750	6,10E-04	2,750	9,00E-03	2,750	9,00E-03	2,750	5,00E-04	2,750	4,00E-07	2,750	4,00E-07	2,750	1,10E-07	2,750	2,00E-09	2,750	7,00E-09		
3,000	5,10E-02	3,000	4,00E-03	3,000	2,60E-03	3,000	1,10E-03	3,000	5,00E-04	3,000	6,60E-05	3,000	3,00E-05	3,000	2,00E-03	3,000	2,00E-03	3,000	1,00E-05	3,000	2,80E-07	3,000	3,00E-08	3,000	3,50E-09	3,000	2,00E-09	3,000	5,40E-11	3,000	5,00E-10
3,250	4,10E-02	3,250	3,00E-03	3,250	1,60E-03	3,250	6,80E-04	3,250	2,70E-04	3,250	2,70E-05	3,250	1,00E-05	3,250	1,00E-05	3,250	1,60E-06	3,250	1,90E-07	3,250	1,00E-11	3,250	2,00E-10	3,250	2,00E-10	3,250	1,90E-12	3,250	1,90E-12	3,250	3,00E-11
3,500	3,40E-02	3,500	2,40E-03	3,500	1,00E-03	3,500	5,80E-04	3,500	1,20E-04	3,500	1,10E-05	3,500	5,00E-06	3,500	5,00E-06	3,500	5,00E-06	3,500	2,70E-07	3,500	3,82E-08	3,500	1,00E-12	3,500	9,40E-11	3,500	2,40E-10	3,500	3,80E-11	3,500	1,00E-12
3,750	2,90E-02	3,750	1,70E-03	3,750	6,00E-04	3,750	3,60E-04	3,750	6,00E-05	3,750	4,10E-06	3,750	2,90E-06	3,750	2,90E-06	3,750	2,90E-06	3,750	2,00E-07	3,750	3,87E-08	3,750	1,00E-12	3,750	1,00E-12	3,750	3,70E-11	3,750	1,00E-11	3,750	3,80E-11
4,000	2,40E-02	4,000	1,40E-03	4,000	3,70E-04	4,000	2,80E-04	4,000	2,50E-05	4,000	1,50E-06	4,000	1,10E-06	4,000	1,10E-06	4,000	1,10E-06	4,000	5,00E-08	4,000	3,90E-09	4,000	3,90E-09	4,000	3,90E-09	4,000	3,90E-09	4,000	3,90E-09	4,000	3,90E-09
4,250	1,90E-02	4,250	1,00E-03	4,250	2,00E-04	4,250	1,50E-04	4,250	1,00E-05	4,250	5,00E-07	4,250	3,00E-07	4,250	3,00E-07	4,250	3,00E-07	4,250	3,00E-08	4,250	3,00E-08	4,250	3,00E-08	4,250	3,00E-08	4,250	3,00E-08	4,250	3,00E-08	4,250	3,00E-08
4,500	1,50E-02	4,500	7,40E-04	4,500	1,10E-04	4,500	1,00E-04	4,500	5,00E-06	4,500	1,50E-07	4,500	1,00E-07	4,500	1,00E-07	4,500	1,00E-07	4,500	1,00E-08	4,500	1,00E-08	4,500	1,00E-08	4,500	1,00E-08	4,500	1,00E-08	4,500	1,00E-08	4,500	1,00E-08
4,750	1,10E-02	4,750	5,50E-04	4,750	6,40E-05	4,750	6,20E-05	4,750	1,10E-06	4,750	4,00E-08	4,750	1,00E-08	4,750	1,00E-08	4,750	1,00E-08	4,750	1,00E-09	4,750	1,00E-09	4,750	1,00E-09	4,750	1,00E-09	4,750	1,00E-09	4,750	1,00E-09	4,750	1,00E-09
5,000	8,70E-03	5,000	4,00E-04	5,000	4,00E-05	5,000	4,10E-05	5,000	2,11E-07	5,000	1,00E-08	5,000	4,80E-08	5,000	4,80E-08	5,000	4,80E-08	5,000	4,80E-08	5,000	4,80E-08	5,000	4,80E-08	5,000	4,80E-08	5,000	4,80E-08	5,000	4,80E-08	5,000	4,80E-08
5,250	6,00E-03	5,250	2,90E-04	5,250	2,90E-05	5,250	2,90E-05	5,250	2,90E-05	5,250	2,90E-05	5,250	2,90E-05	5,250	2,90E-05	5,250	2,90E-05	5,250	2,90E-05	5,250	2,90E-05	5,250	2,90E-05	5,250	2,90E-05	5,250	2,90E-05	5,250	2,90E-05	5,250	2,90E-05
5,500	4,50E-03	5,500	2,00E-04	5,500	1,00E-05	5,500	1,00E-05	5,500	2,60E-08	5,500	2,60E-08	5,500	2,60E-08	5,500	2,60E-08	5,500	2,60E-08	5,500	2,60E-08	5,500	2,60E-08	5,500	2,60E-08	5,500	2,60E-08	5,500	2,60E-08	5,500	2,60E-08	5,500	2,60E-08
5,750	2,90E-03	5,750	1,30E-04	5,750	6,00E-06	5,750	1,00E-06	5,750	6,00E-09	5,750	6,00E-09	5,750	6,00E-09	5,750	6,00E-09	5,750	6,00E-09	5,750	6,00E-09	5,750	6,00E-09	5,750	6,00E-09	5,750	6,00E-09	5,750	6,00E-09	5,750	6,00E-09	5,750	6,00E-09
6,000	1,90E-03	6,000	9,90E-05	6,000	3,00E-06	6,000	6,00E-06	6,000	1,80E-09	6,000	1,80E-09	6,000	1,80E-09	6,000	1,80E-09	6,000	1,80E-09	6,000	1,80E-09	6,000	1,80E-09	6,000	1,80E-09	6,000	1,80E-09	6,000	1,80E-09	6,000	1,80E-09	6,000	1,80E-09

Рис.3, д. Submodule "Таблица данных эксперимента"

На базе программного модуля реализована методика получения эффективные характеристики и спектра. Данное программное средства использовалась при выборе лучших конструкций ВИК, которые позволяют достигать очень хорошие показатели ( $P_b \leq 10^{-12}$ ) в обеспечении высокой помехоустойчивости цифровых ТВ сигналов при работе в высокоскоростных каналах с большими шумами.

### Характеристики существующих аппаратных платформ ПЛИС МПД Xilinx и Altera

На основе построенного функциональной модели высокоточного итеративного кодера и декодера проведена оценка эффективности реализованной функциональной модели с СПКДВИК – системы "кодер-декодер". Результаты получены при работе разработан



устройства ВИКД в режиме блочного и алгебраического кодирования и декодирования ВИК [...]. Также осуществлено сравнение полученных результатов эксперимента с ВЭХ существующих многопороговых алгоритмов, которые на практике используются в аппаратных платформах ПЛИС (микросхемах) Xilinx и Altera. До сравнения результатов, рассмотрим свойства кодеков МПД, созданные на базе ПЛИС Altera и Xilinx.

Аппаратные МПД на ПЛИС Xilinx и Altera на скоростях от 320 Мбит/с до 1,6 Гбит/с реализуют ЭВК 4-5 дБ, они успешно декодируют двоичные потоки на скоростях до 40 Мбит/с при больших шумах канала. **Но при очень больших шумах в каналах связи снижается их эффективность из-за размножения ошибок в декодирующем устройстве.**

ПЛИС Xilinx представляет собой макет МПД сверточных кодов, реализованные на современной элементной базе. Первый макет (рис.4, а) был создан в 2004 г. При реализации использовалась ПЛИС семейства Spartan-II типа XS2S200-PQ208 с эквивалентной емкостью 200000 системных вентилях. Информационная скорость  $V$  до 200 Мбит/с, кодовая скорость  $R=1/2$ , задержка декодирования 10000 битов. Обеспечивает ВО декодирования  $P_b=10^{-5}$  при  $E_b/N_0=2,9$  дБ. При этом достигается ЭВК примерно 6,5 дБ.

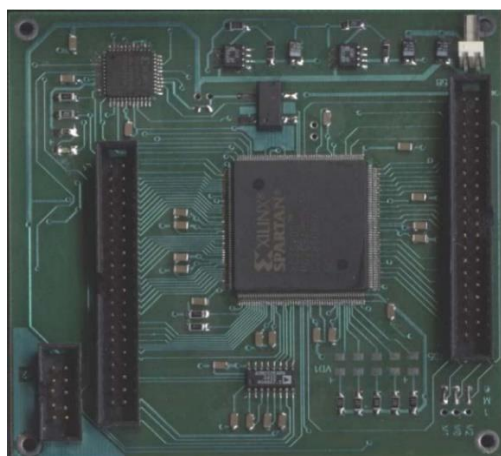


Рис.4, а. Фрагмент ПЛИС МПД сверточных кодов Xilinx

Следующий макет (рис.4, б) выполнен в 2007 г. Кодек МПД создан на базе ПЛИС Altera Stratix EP1S20. Макет позволяет декодировать потоки данных с информационной скоростью свыше 1 Гбит/с. При этом выполняются до 20 итераций

декодирования. Обеспечивает ВО декодирования  $P_b=10^{-5}$  при  $E_b/N_0=1,9$  дБ. При этом ЭВК достигается к 7,5 дБ.



Рис.4, б. Фрагмент ПЛИС МПД сверточных кодов Altera

Результаты сравнения характеристик разработанной системы ВИКД и платформы МПД Xilinx и Altera

**Результаты моделирования.** На рис.5 приведены результаты исследования, которые позволяют сравнивать ВЭХ макетов МПД, реализованные на элементной базе ПЛИС Xilinx, Altera и ВИКД.

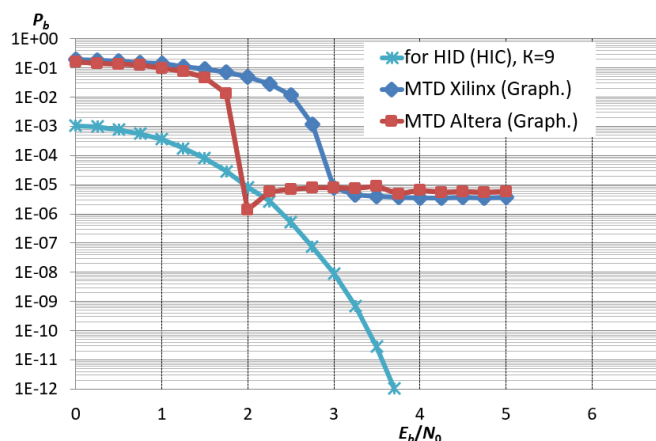


Рис.5. ВЭХ ПЛИС МПД сверточных кодов Xilinx, Altera и ВИКД

Из графика видно, что в режимах обеспечения высокой помехоустойчивости ( $P_b < 10^{-6}$ ) декодеры МПД Xilinx и Altera малоэффективны [1, 2]. МПД очень уязвимы к РО, т.е. обеспечение помехоустойчивости резко падает при появлении группирование ошибок внутри декодеров. Это объясняется тем, что из-за неэффективной связки

первого и второго декодера в ПЛИС Xilinx (ПЛИС Altera), на второй декодер из первого декодера поступает сигнал, который в своем составе имеет необработанные ошибки. Эти ошибки суммируются с ошибками, появляющиеся на втором декодере, в результате на выходе второго или  $n$ -го декодера появляется очень плотный пакет ошибок. Такие декодеры, обычно, не смогут эффективно справляться с задачами в области обеспечения высокой помехоустойчивости ( $P_b < 10^{-7}$ ). Поэтому на графике (рис.5) у МПД Xilinx и Altera предельная граница обеспечения помехоустойчивости больше, чем  $P_b > 10^{-6}$ , т.е. находится в области  $10^{-6} < P_b < 10^{-5}$  (очень низкая на современном этапе).

ВЭХ, приведенное для кода ВИК показывает, что при использовании алгоритма ВИКД (ВИДк), помехоустойчивость значительно повышается в сторону области обеспечения максимальной помехоустойчивости из-за итерационной обработки кодовых информации с последовательными приближениями декодера к результату оптимального декодирования. Если сравнивать с характеристиками МПД Xilinx и Altera, то при ВИДк ВО декодирования  $P_b = 10^{-5}$  обеспечивается при  $E_b/N_0 = 1,9$  дБ. Кодек ВИКД эффективно работает в области обеспечения высокой помехоустойчивости ( $10^{-7} \div 10^{-12}$ ). При  $E_b/N_0 = 3,0$  дБ система ВИКД дает вероятность ошибочного приема  $P_b = 10^{-8}$  и этот уровень помехоустойчивости в 1000 раз выше (ВО в 1000 раз меньше), чем у кодаков ПЛИС Xilinx и Altera ( $P_b = 10^{-5}$ ).

При обеспечении ВО  $P_b = 10^{-5}$ , ЭВК кодака ВИКД, в отношении кодака МПД Xilinx составляет 1 дБ, а при ВО  $P_b = 10^{-4}$ , ЭВК достигается примерно 0,4 дБ относительно кодака МПД Altera.

Результаты сравнения характеристик ВИК с сверточными кодами и кодами Хемминга

На рис.6 приведено результат моделирования ВИД в канале с АБГШ для коротких и длинных кодов

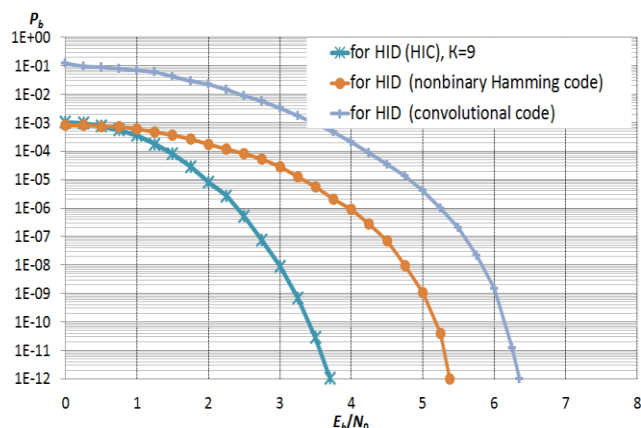


Рис.6. Вероятностно-энергетические характеристики ВИД в канале с АБГШ

На рис.6 представлены результаты моделирования ВИК, состоящего из кодов ВИБК ( $n=255, k=123, d_{min}=33$ ),  $q=256, R=1/2$  и ВИСК  $R=1/2, K=9, d_{free}=15$ . При таких конструкциях ВИК можно достичь к хорошим результатам и обеспечивать высокую помехоустойчивость принимаемых сигналов, т.е. помехоустойчивость на уровне  $10^{-12}$  достигается при значении  $E_b/N_0 = 3,6$  дБ.

Данные графики также отражают зависимость оценок  $P_b$  для кода Хемминга (КХ) и сверточного кода (СК) от отношения сигнал-шум  $E_b/N_0$  на информационный бит. С помощью ВИД можно декодировать также сверточные коды и коды Хемминга. На рис.6 еще две кривые отражают результаты моделирования процесс декодирования данных кодов в ВИД. При этом параметры кода Хемминга выбрано:  $(128, 64), d_{min}=3, m=10$ , общая длина кодового слова  $N_2=128$ . Параметры сверточного кода состоит в следующем: кодовая скорость кода  $R=1/2$ , свободное расстояние кода  $d_{free}=15$  и конструктивная длина сверточного кода  $K=9$ .

Из характеристики (рис.6) видно, что при декодировании сверточного кода требуемая помехоустойчивость на уровне  $P_b \leq 10^{-12}$  обеспечивается при  $E_b/N_0 = 6,3$  дБ, а при декодировании кода Хемминга –  $E_b/N_0 = 5,3$  дБ.

### Заключение

Эффективность применения конкретного кода определяется энергетическим выигрышем кодирования (ЭВК) данного кода. Из результатов моделирования видно (рис.6), что в данном случае, энергетический выигрыш от использования ВИК с



ВИДк относительно сверточного кода и кода Хемминга равно:

$$\text{ЭВК}_{\text{СК}} = 6,3 - 3,6 = 2,7 \text{ дБ и}$$

$$\text{ЭВК}_{\text{КХ}} = 5,3 - 3,6 = 1,7 \text{ дБ.}$$

Из-за конструктивной сложности и зависимости число элементов от длины кодового слова, для обеспечения высокой помехоустойчивости в кодах Хемминга требуется большое значение  $E_b/N_0$ , которое это отражено на рис.6. При других схемах, кроме ВИКД коды Хемминга обладают очень слабой корректирующей способностью.

С ростом конструктивной длины сверточного кода  $K$ , экспоненциально растёт и число просматриваемых (рассчитываемых) путей в кодеке, т.к. это потребует дополнительных энергий при обработке информации. Например, при реализации алгоритма Витерби, для декодирования одного информационного символа требуется выполнение порядка  $3 \cdot 2^{K-1}$  операций, эквивалентных сложению, поэтому корректирующая способность снижается, но, если требуется режим обеспечения высокой помехоустойчивости, для достижения в область  $P_e < 10^{-9}$ , требуются дополнительные мощности по децибелу. Поэтому при применении сверточных кодов в кодеке ВИКД для достижения к  $P_e \approx 10^{-12}$ , требуется примерно 6,3 дБ мощности (рис.6). Это и является основным недостатком алгоритма Витерби.

## Литература

[1]. Atadjanov Sh.Sh., Radjapov T.D., Rakhimov B.N. Development of criteria for determining the probability of error in digital television. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna, № 1-2, 2018, January-February, P. 37-45. (references).

[2]. Atadjanov Sh.Sh., New method of increasing the efficiency of signal reception based on high-precision iterative decoding algorithms. Collection of materials 2019 Sixteenth International Conference on Wireless and Optical Communication Networks (WOCN). Bhopal, India 19-21 december, year 2019. p.1-6. (references)

[3]. Atadjanov Sh.Sh., Tursunova A.A. Improving noise immunity using high-precision iterative codes. Collected works of the republican scientific and technical conference "Investigators of Muhammad al-Khwarizmi". April 27-28, 2018, Urgench, Uzbekistan. - P. 178-186.

[4]. Atadjanov Sh.Sh. and others. Simulation and analysis of high-precision iterative code with increased

efficiency. International Scientific Journal Theoretical & Applied Science. Philadelphia, USA. Year 2019, Issue 04, Volume 72. 30.04.2019. pp. 421-429.

[5]. Atadjanov Sh.Sh., Development of option for implementation of a high-purpose iterative coding and decoding device. Collection of Republican Scientific Papers scientific and practical online conference "The Role and Importance of Innovative Technologies in the Digitalization of Social Spheres". Karshi, April 29-30, 2020, pp. 414-417.

[6]. Atadjanov Sh.Sh. and others. Development of high-speed iterative code and its efficiency at digital signal transfer. Collection of materials of the XIV International Scientific and Technical Conference "Actual Problems of Electronic Instrument Engineering", Novosibirsk, Russia, October 2-6, 2018, pp. 13-19.

[7]. Atadjanov Sh.Sh., Tursunova A. Research and analysis of the effectiveness of error-correcting codes. Collection of materials International conference on importance of information-communication technologies in innovative development of sectors of economy, Dedicated to the 1235<sup>th</sup> Anniversary of Muhammad al-Khwarizmi. April 5-6, 2018, Tashkent, pp. 674-680.

[8]. Bahl L.R., Cocke J., Jelinek F., Raviv J. Optimal Decoding of Linear Codes for Minimizing Symbol Error Rate // IEEE Trans. Inf. Theory. – 1974. – March. – Vol. 20. – P. 284-287.

[9]. Lindsey W.C. and Simon M. K. Telecommunication Systems Engineering. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J., 1973.

[10]. Robertson P., Villebrun E., Höher P. A Comparison of Optimal and Sub-Optimal MAP Decoding Algorithms Operating in the Log Domain // in Proc. of the Intern. Conf. On Commun. (Seattle, US). – 1995. – June. – P. 1009-1013.

[11]. Koch W., Baier A. Optimum and sub-Optimum detection of coded data disturbed by time-varying intersymbol interference // IEEE Globecom. – 1990. – December. – P. 1679-1684.

[12]. Atadjanov Sh.Sh., Tursunova A. Development of error-correcting codes based on an iterative encoding and decoding algorithm // Scientific-practical and informational-analytical journal "Muhammad al-Khorazmiy avlodlari", No. 2 (2) 2017, pp. 46-56.

[13]. Hagenauer J., Hoehner P. A Viterby algorithm with soft-decision outputs and its applications // in IEEE Globecom. – 1989. – P. 1680-1686.