

О реализации нового уровня прикладных достижений в теории кодирования



24.05.2017г.

**В.В. Золотарёв
ИКИ РАН**

**Г.В. Овечкин
РГРТУ**

Наша цивилизация за последние столетия жила в век пара, электричества, атома, а теперь идёт её бурное развитие в формате цифрового информационного сообщества.

Поэтому первоочередными становятся исследования и разработки цифровых систем передачи и хранения данных.

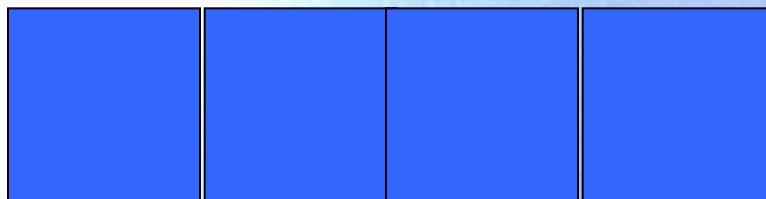
Особенно важны задачи простого обеспечения высокой достоверности передачи цифровых данных при больших уровнях шума канала связи.

Их решение достигается на основе теории информации и её важнейшего раздела:

Теории помехоустойчивого кодирования

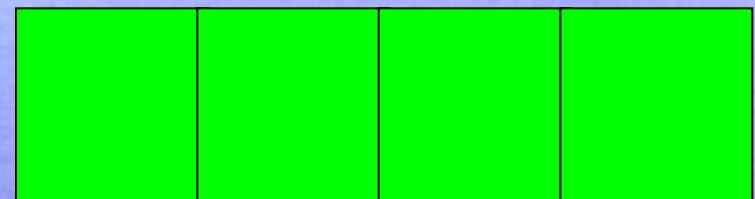
Кодирование - это введение избыточности

K - информация



r - избыточные символы

+



$n=k+r$ - длина блока

**$R=k/n < 1$ -
кодовая скорость**

Кодировать проще!!!

Пример
кодера для свёрточного кода с
кодовой скоростью $R=1/2$ и $d=5$

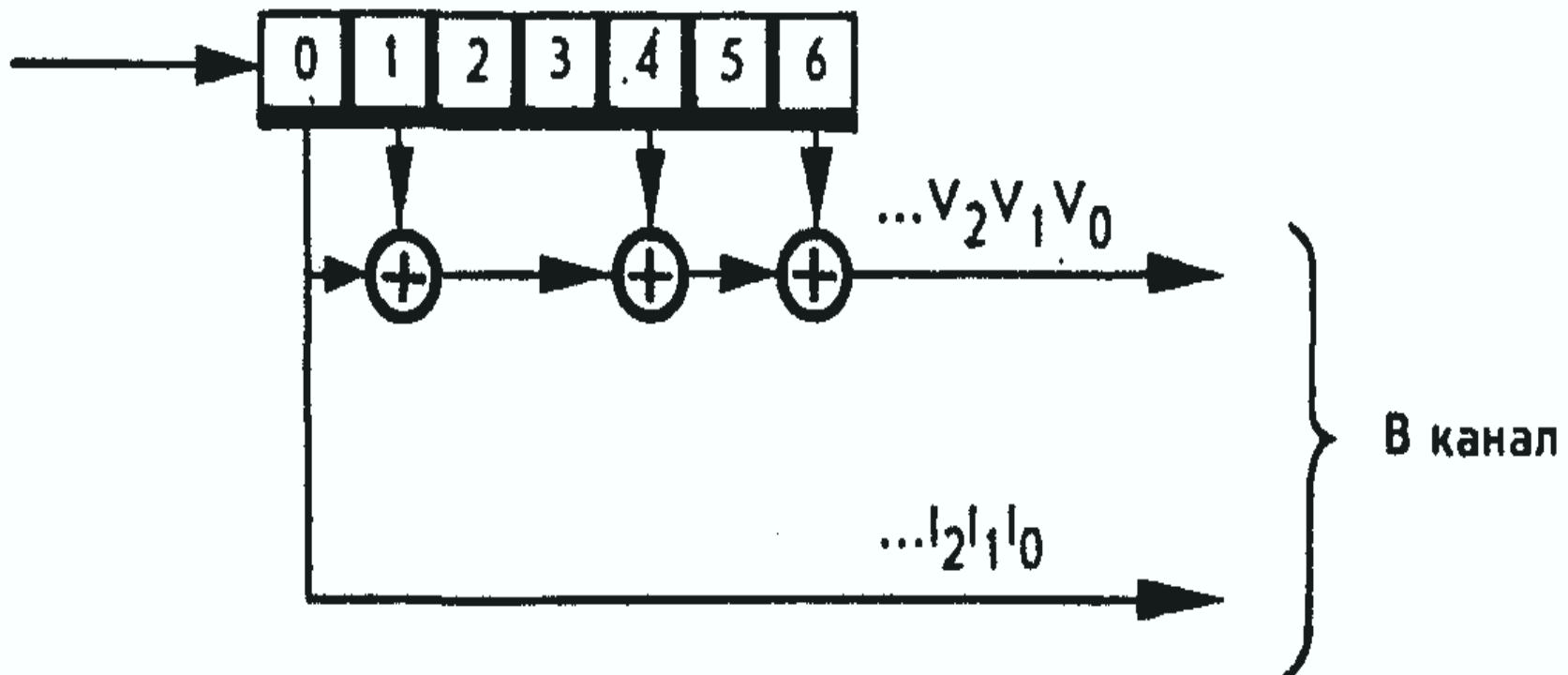


Рис.4,б. Кодер свёрточного кода

Основное требование теории информации к системам помехоустойчивого кодирования (К.Шеннон)

- Всегда должно выполняться условие

 $\underline{R < C !}$
- Кодовая скорость меньше пропускной способности канала
- Тогда возможна передача цифровой информации со сколь угодно малой вероятностью ошибки, если длина блока данных будет достаточно велика.
- Это - начало теории помехоустойчивого кодирования ~70 лет назад

Что нужно от кодов для сетей связи?

- Проф. Берлекэмп (США) указал в 1980г. в обзоре, опубликованном в ТИИЭР:

**“ Это - энергетический выигрыш! -
ЭВК”,**

- мера эффекта увеличения энергии сигнала ,
оцениваемая тогда как ~\$1 миллион на 1 дБ ЭВК.

Сейчас каждый дополнительный 1 дБ ЭВК даёт
в сетях экономический эффект в сотни миллионов
долларов!

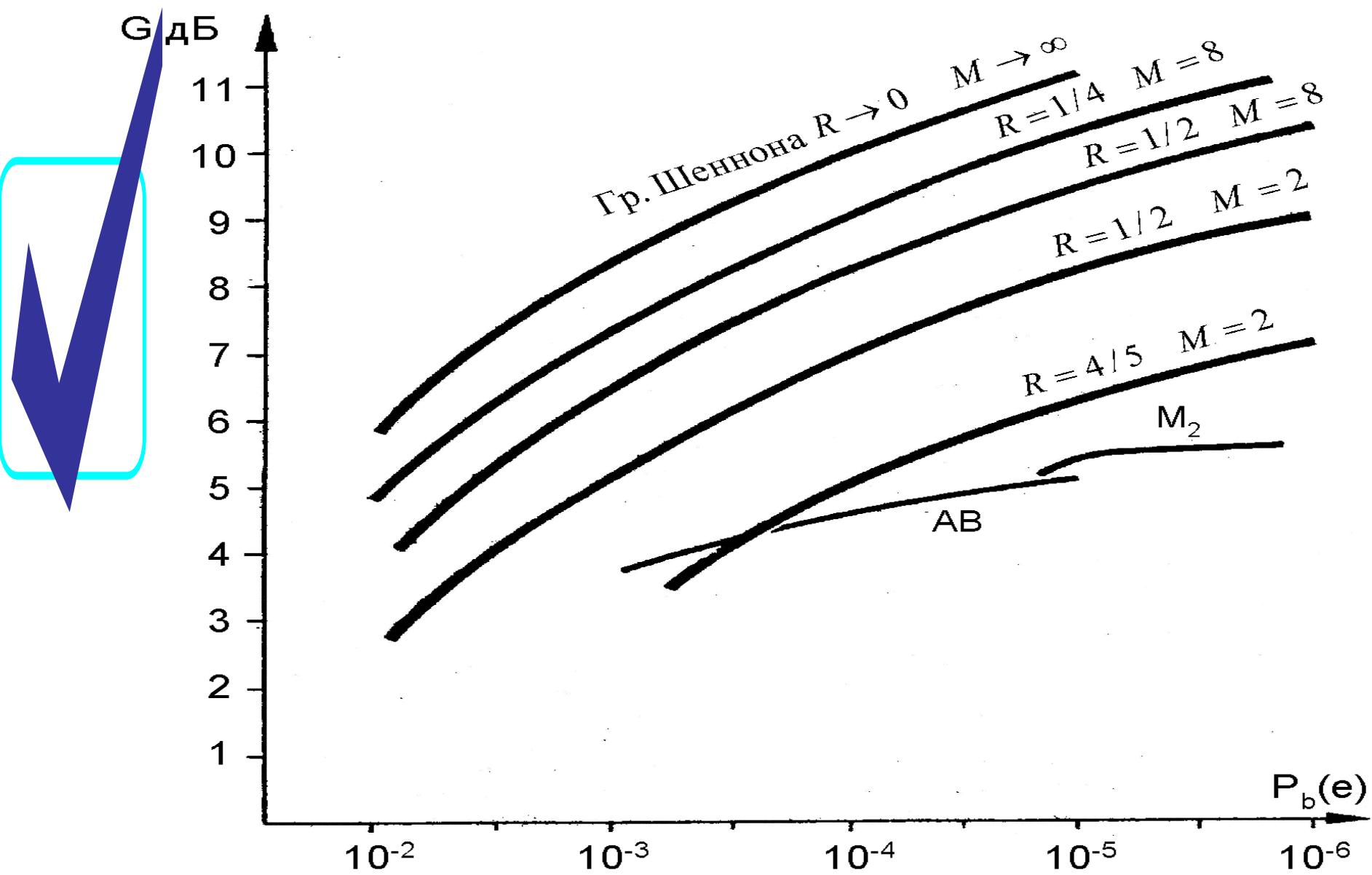
- Кодирование снижает размеры
антенн, увеличивает скорость,
надёжность и дальность связи

Цель применения кодирования в каналах связи

$$G=Rd$$

- . - Не привязывается к длине кода n !
 - И при этом надо работать:
При меньшей энергетике канала E_b/N_0
 - Максимально быстро – аппаратно
 - Минимально просто - программно
 - Почти абсолютно достоверно!

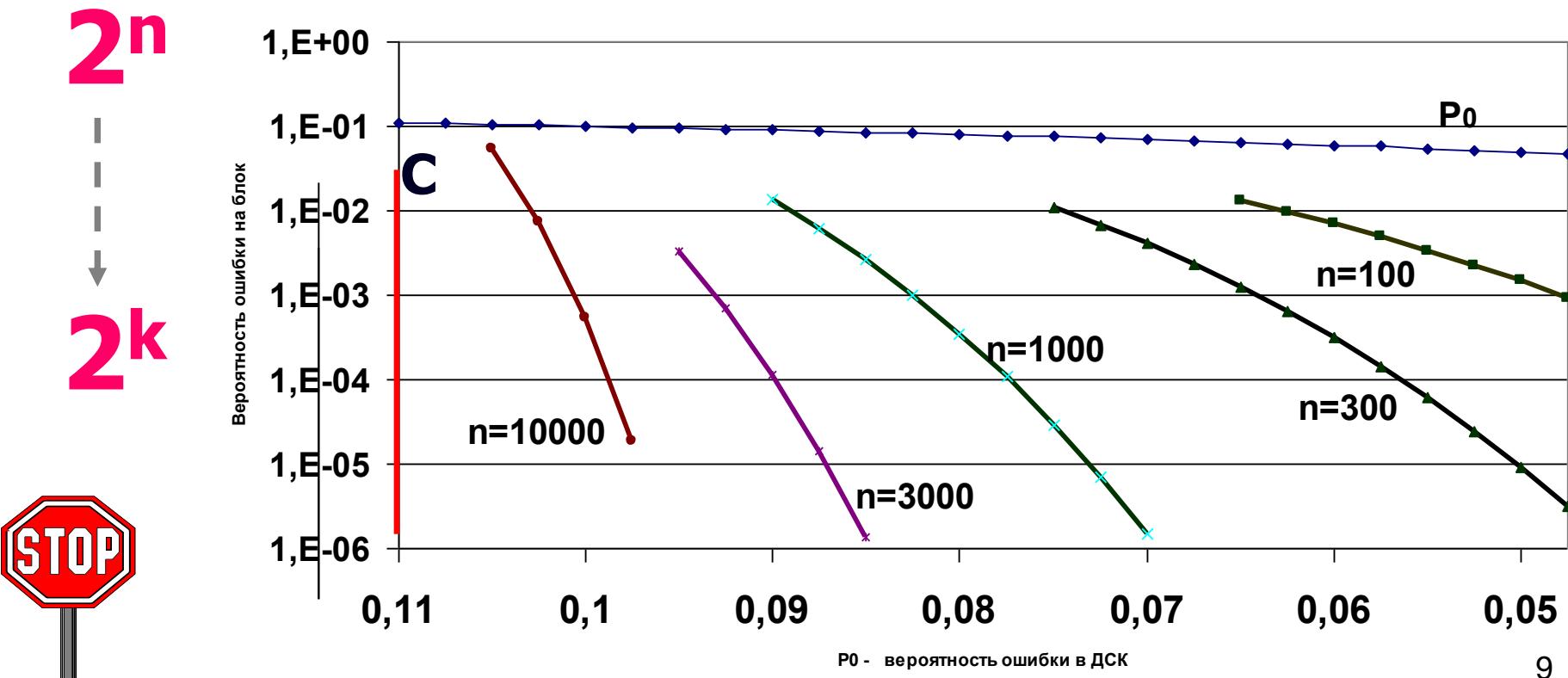
Предельный ЭВК из условия $R < C$



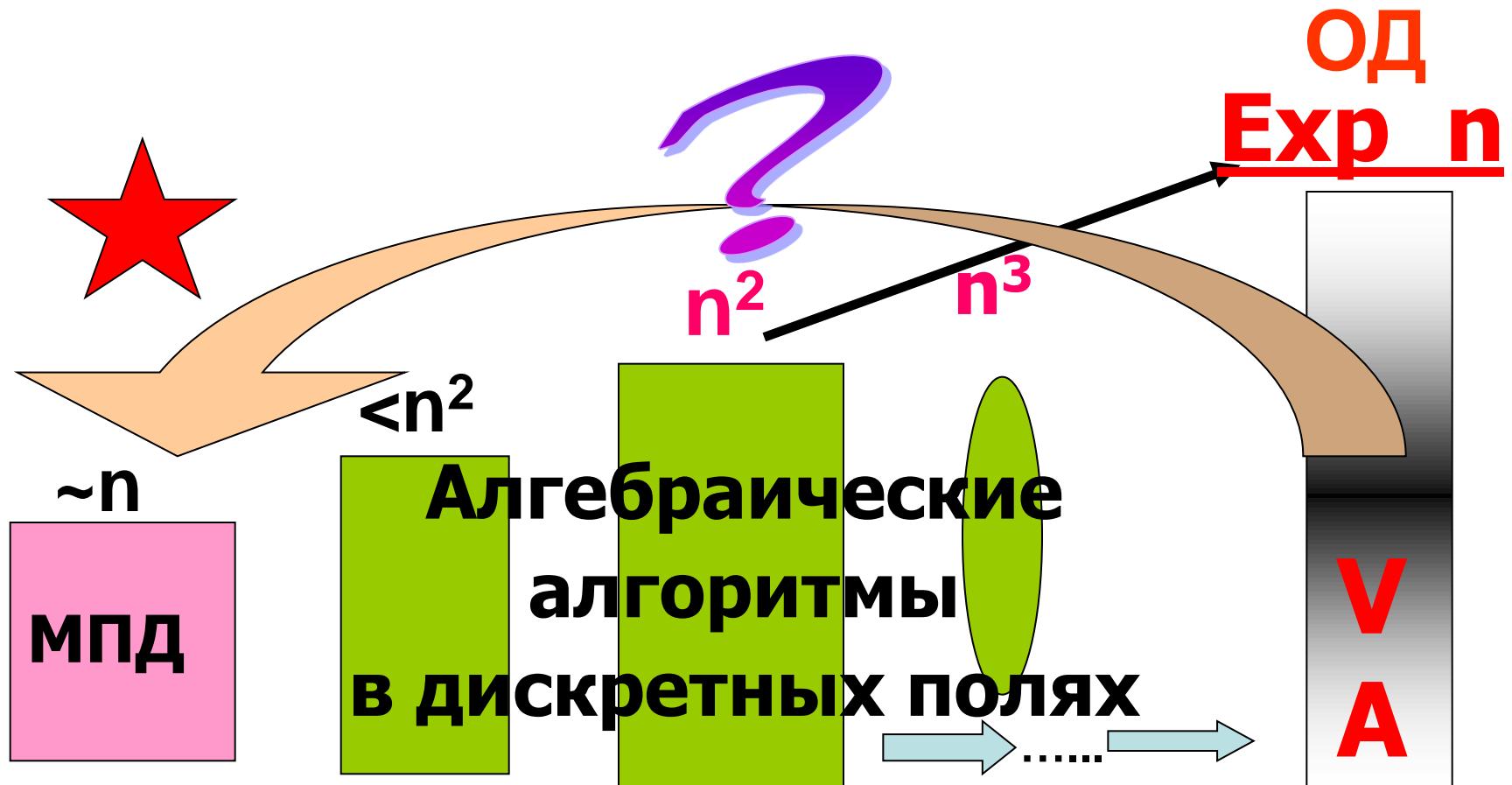
Нижние оценки вероятностей ошибки декодирования блоковых кодов с $R=1/2$

Даже коды длины $n=1000$ неэффективны при вероятности ошибки в канале $P_0 > 0.08$. А теория-то утверждает, что можно успешно работать при $P_0 < 0.11 !!!$

И это при 2^{500} вариантах!

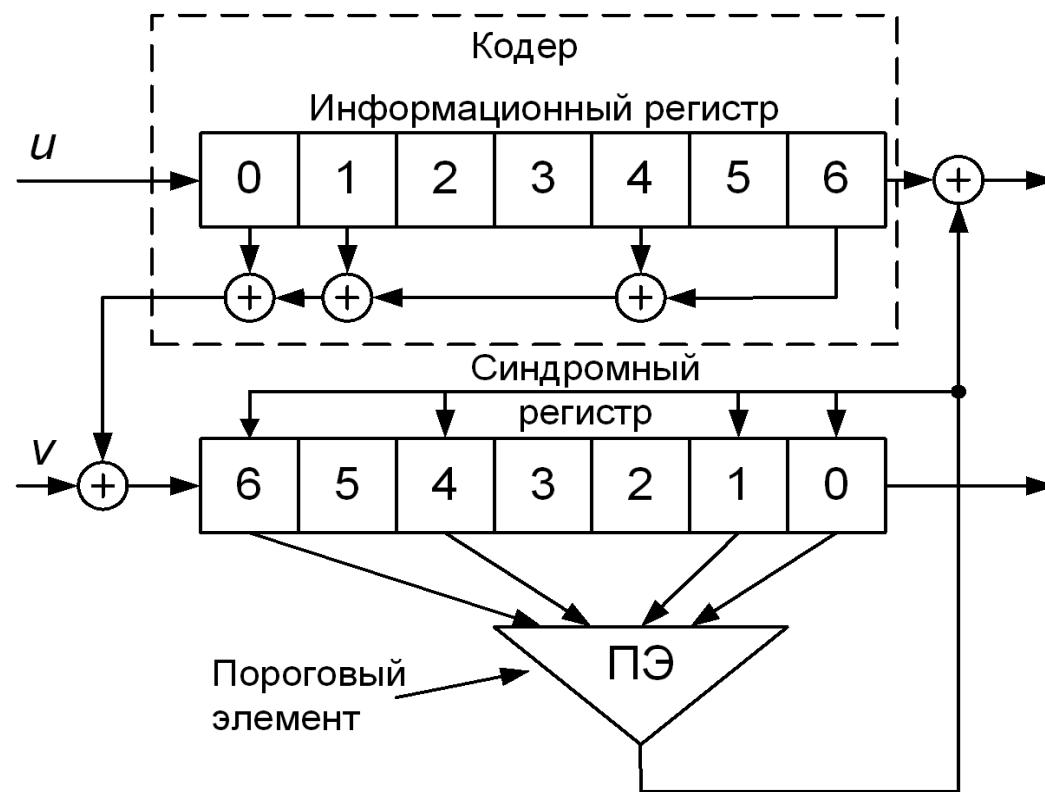


Обновление главной парадигмы Оптимизационной Теории помехоустойчивого кодирования

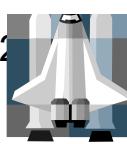
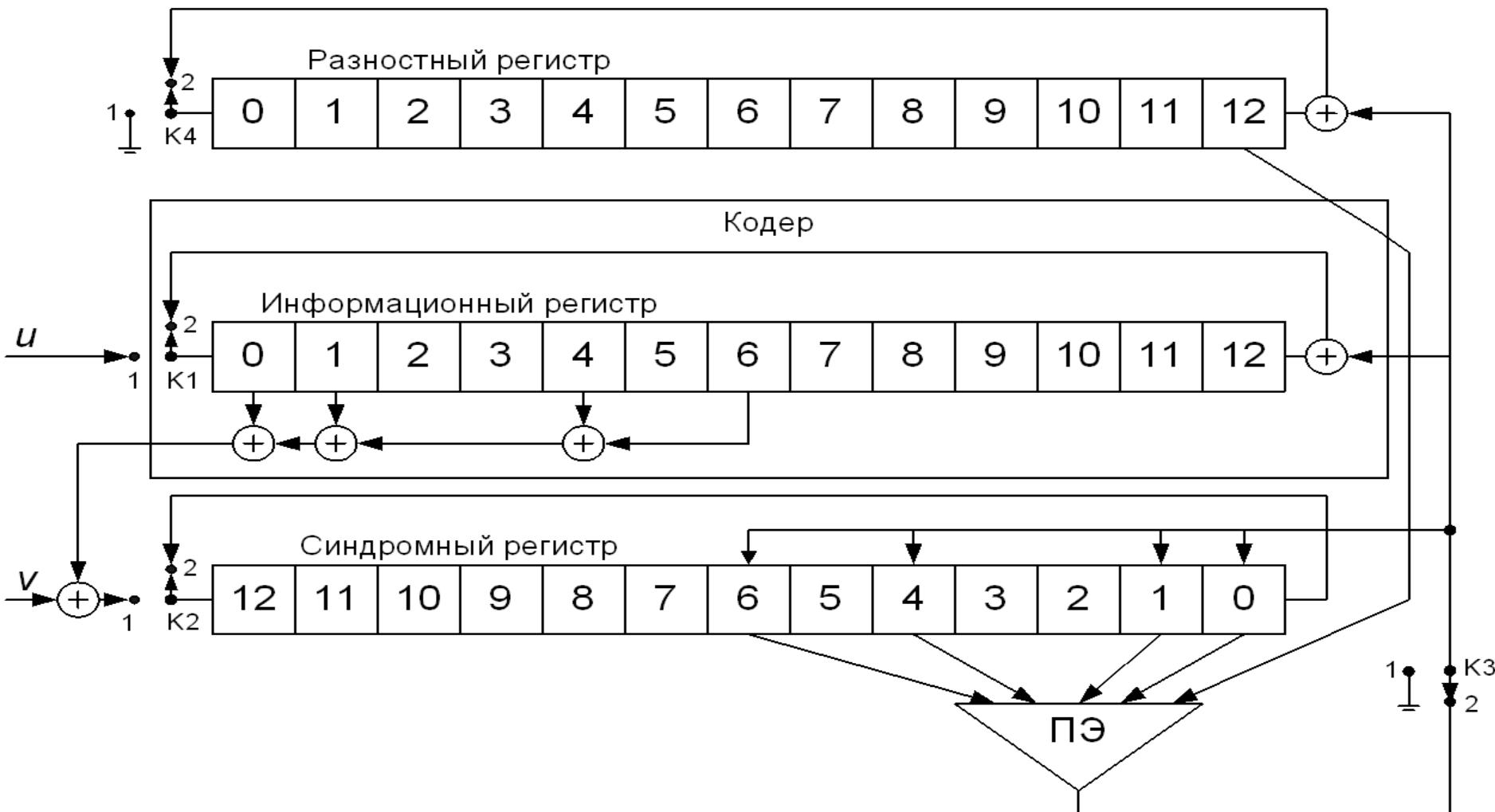


Сложность алгоритмов декодирования

Исходный метод: пороговое декодирование – простейший метод коррекции ошибок

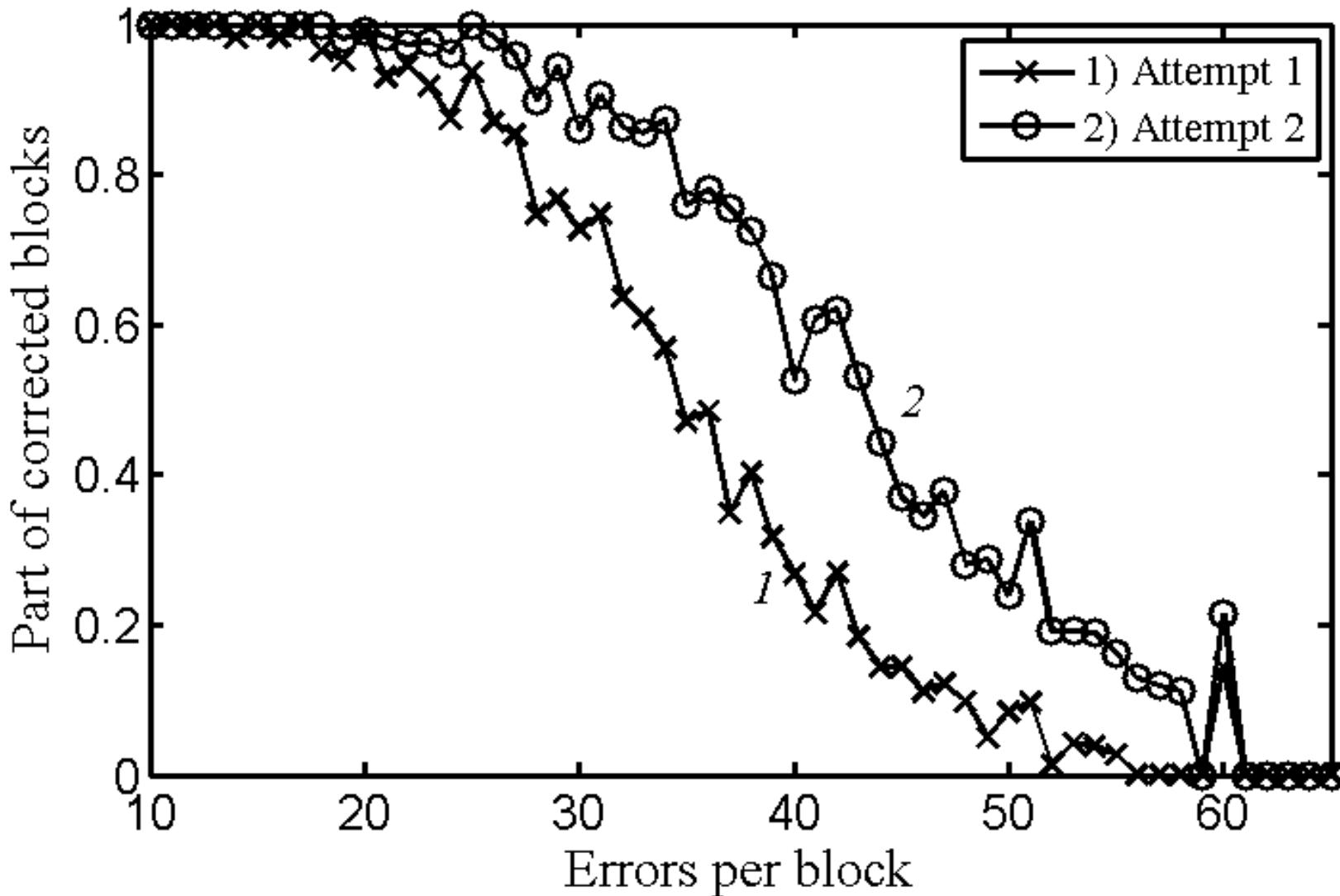


Блоковый многопороговый декодер для кода с $R=1/2$, $d=5$ и n итерациями



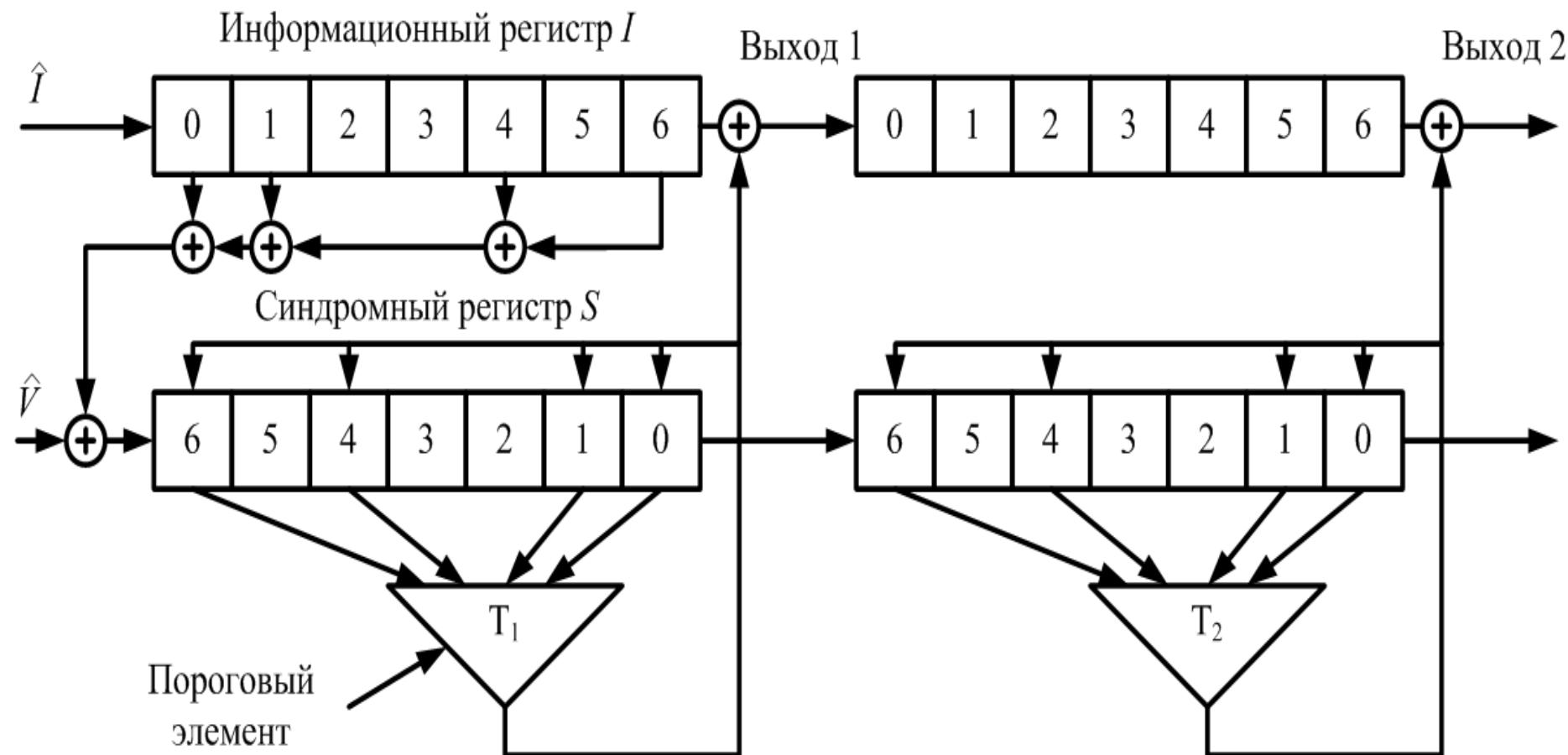
Repeated threshold decoding

$d=11, R=1/2$

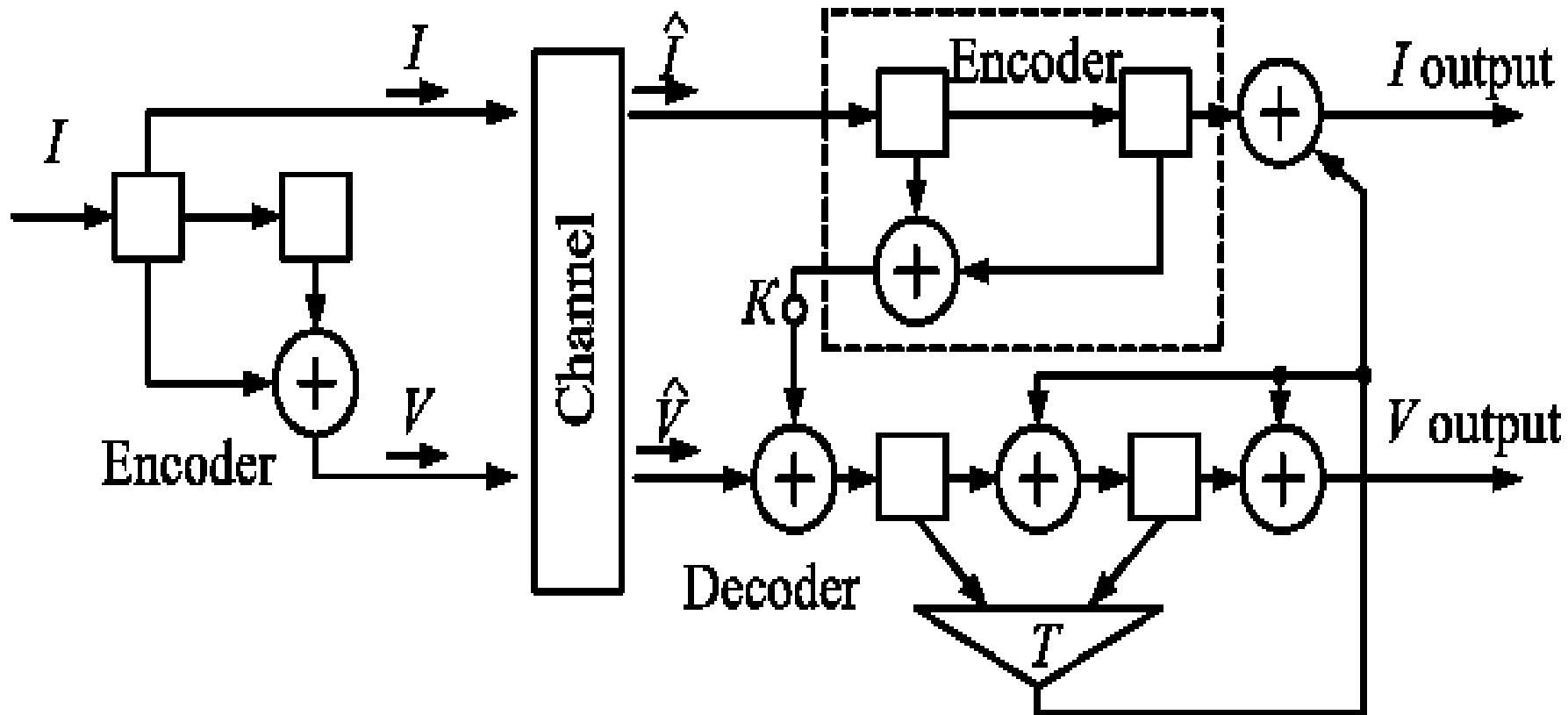


Пороговое повторное декодирование свёрточного кода с $R=1/2$, $d=5$ и $n_A = 14$.

Это – слабо!



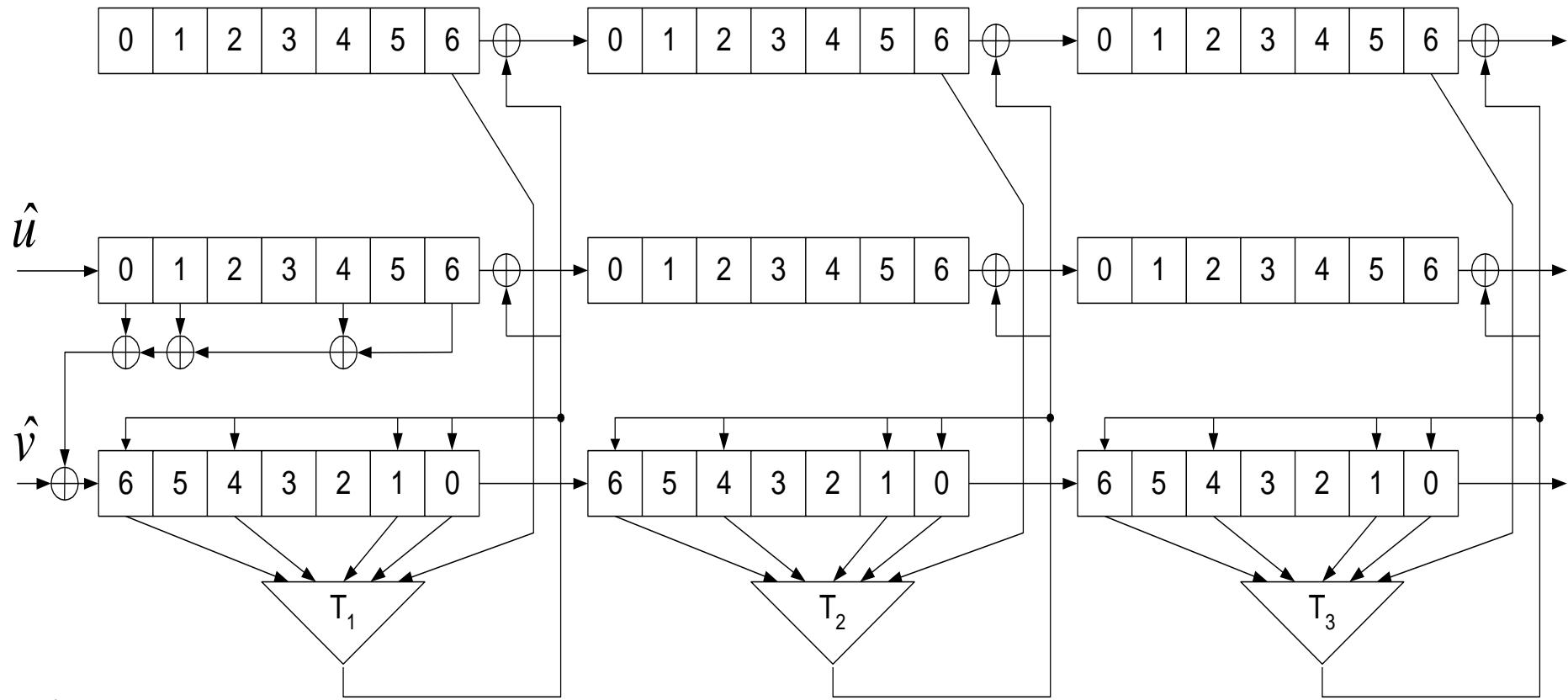
Main idea of the syndrome entity



1. Основная теорема многопорогового декодирования

- При каждом изменении декодируемых символов кода решения МПД строго приближаются к принятому сообщению, т.е. **правдоподобие решений МПД строго возрастает.**
- **Следствие-желание.**
МПД может при линейной от длины кода сложности декодирования достичь наиболее правдоподобного решения, которое обычно требует экспоненциальной от длины кода сложности.

Свёрточный многопороговый декодер для кода с $R=1/2$, $d=5$ и 3 итерациями



→ Основа оптимизационной теории

2. Размножение ошибок

- Решена задача оценки размножения ошибок (РО) при мажоритарном декодировании
- Созданы методы оценки РО для различных типов кодов
- Созданы комплексы ПО для построения кодов с малым уровнем эффекта РО.

3. Настройка активных элементов декодеров

- Проанализированы возможности элементов декодеров влиять на сходимость к решению оптимального декодера (ОД) и достигнут уровень коррекции МПД методов, совпадающий даже при большом шуме с уровнем ОД!
- Созданы методы и ПО для оптимизационной настройки тысяч элементов МПД
- Найдены способы многократного ускорения настройки декодера

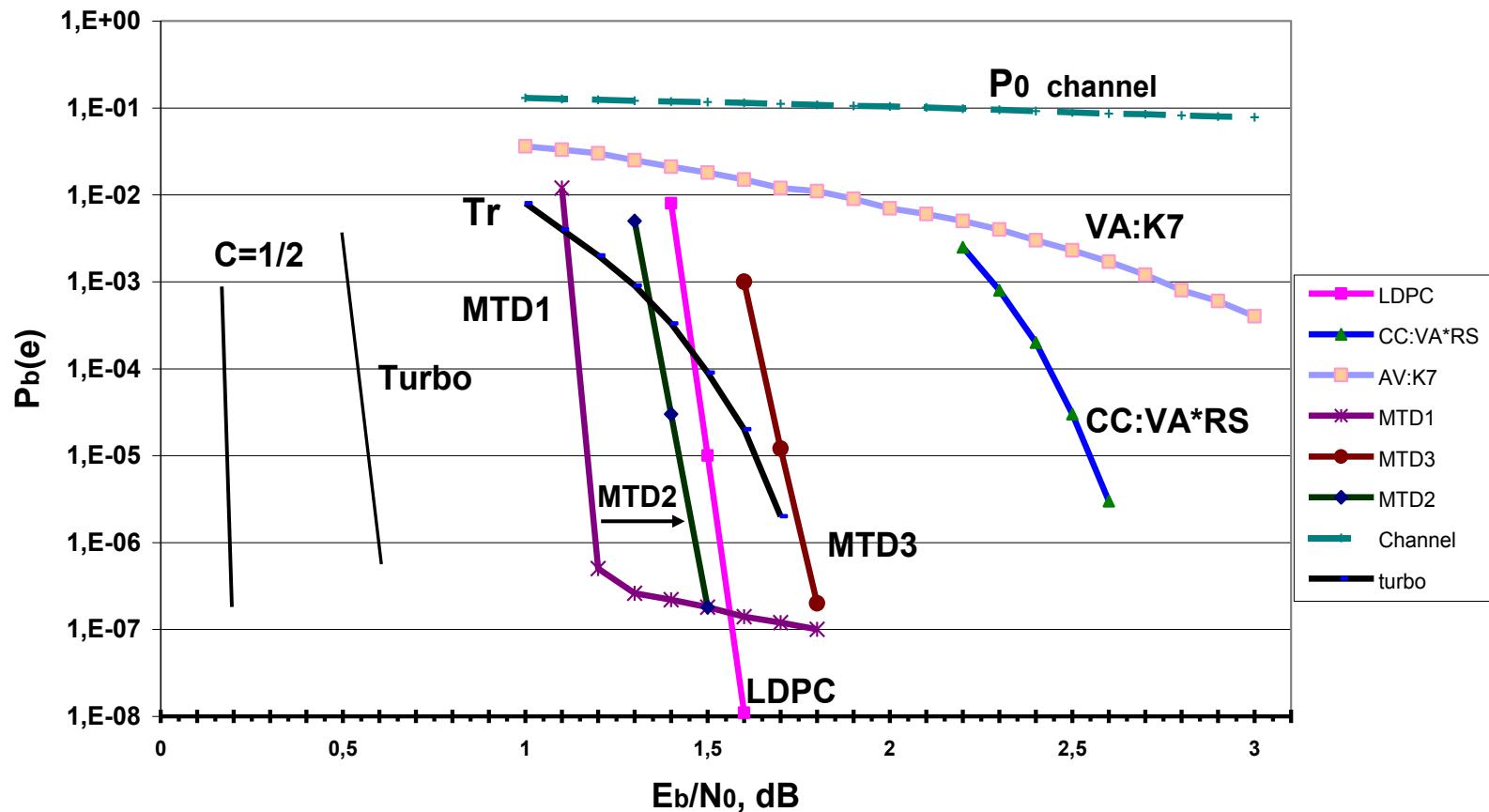
Оптимизационная теория

- **ОТМПД – основа теории !**
- Все этапы:
- 1. настройка алгоритма,
- 2. выбор кодов (по критериям РО) и
- 3. сами алгоритмы МПД –
Везде в пп.1- 3 - создание нового ПО для решения особых оптимизационных задач
- «Роль оптимизационных теорий в математике столь же велика, как и роль собственно математики во всех науках» - цитата.

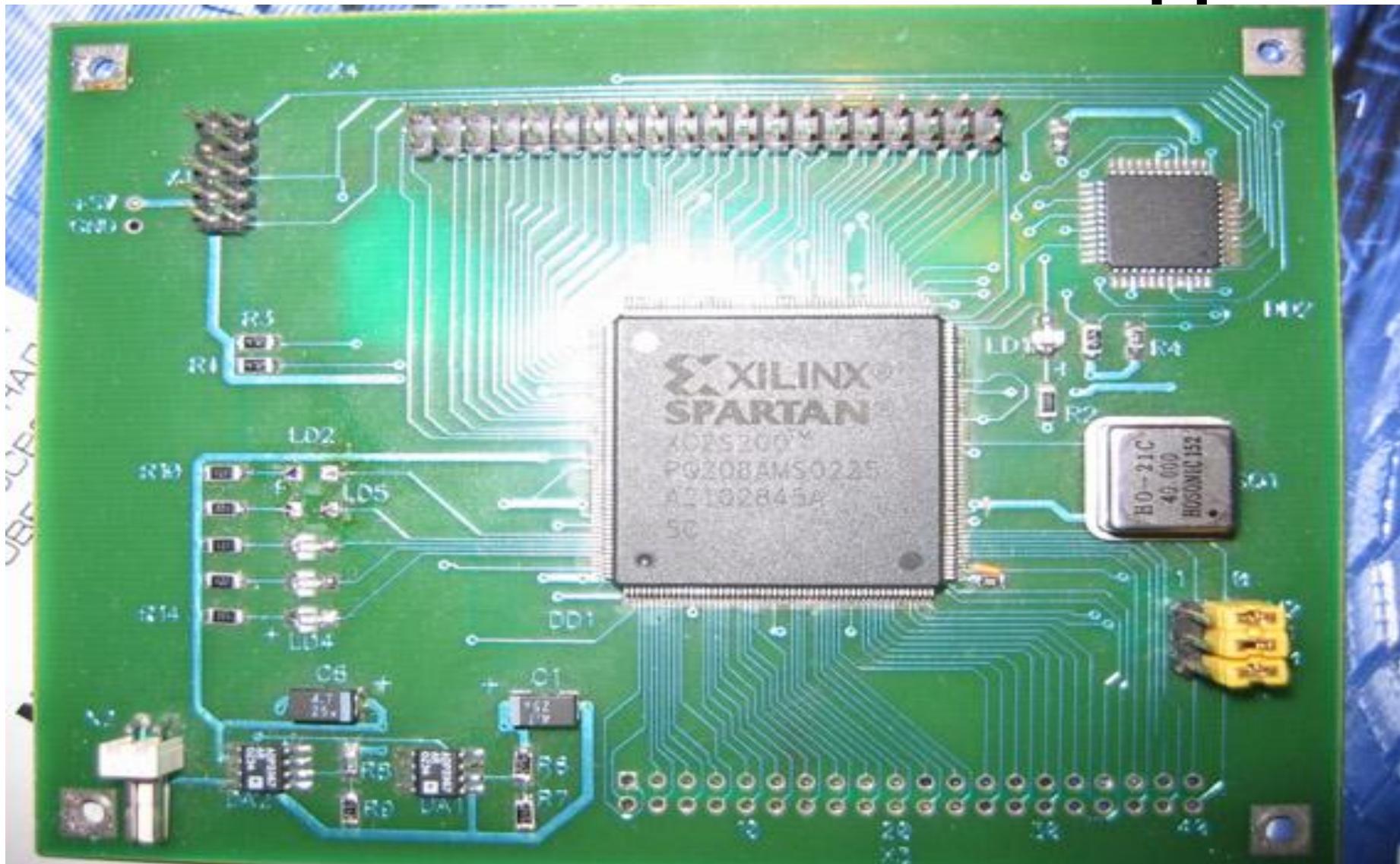


Характеристики методов декодирования в гауссовских каналах

Perfomance of AV, new MTD and other decoders



Чипсет МПД декодера на ПЛИС Xilinx - НИИ Радио



Многопороговый декодер (**МПД**) для спутниковых и космических каналов
Он повышает кпд их использования в 3 - 10 раз, в том числе для ДЗ3.

МАКЕТ на информационную скорость ~1,08 Гбит/с

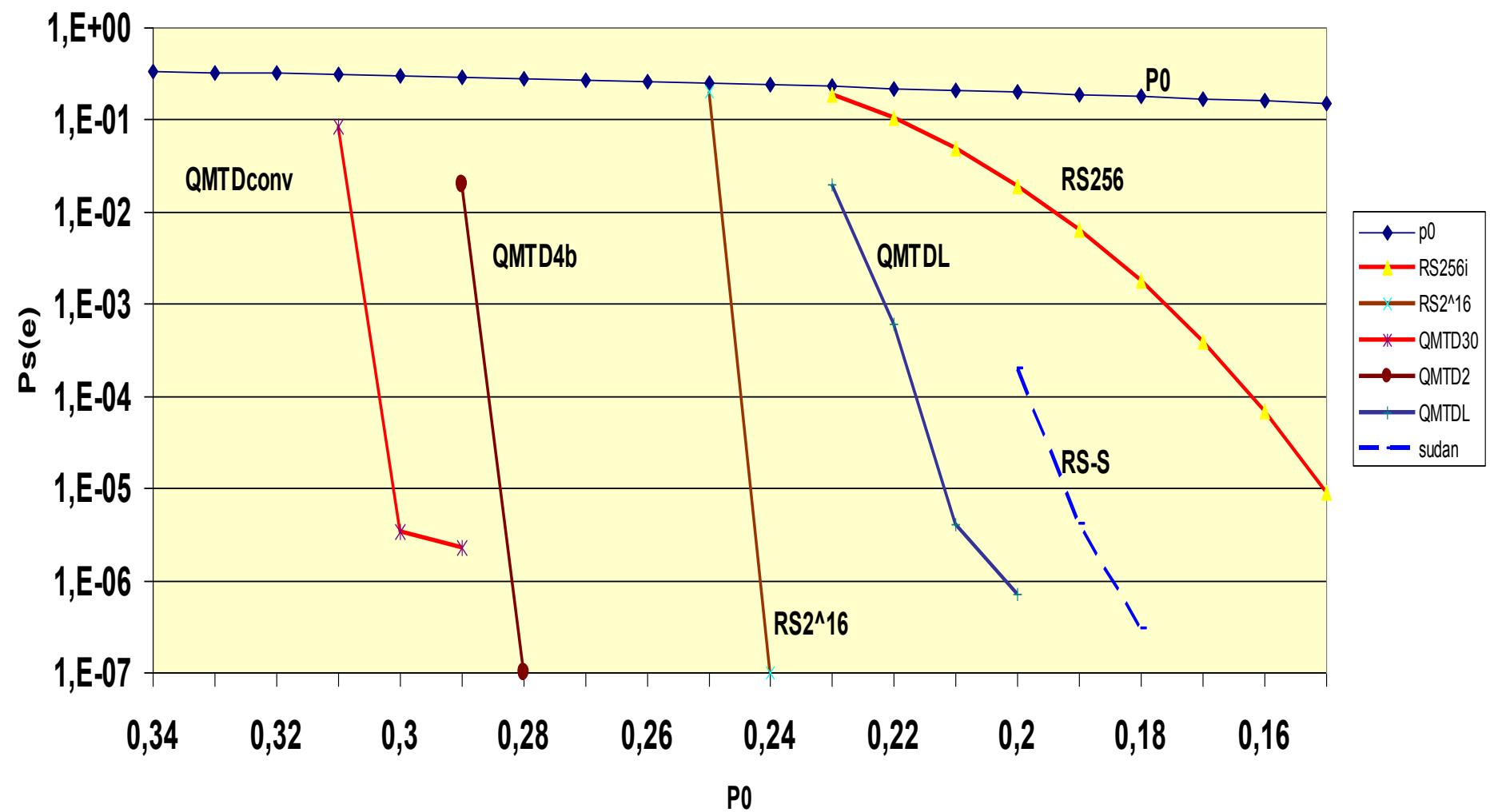
The multithreshold decoder (**MTD**) for satellite and Space channels, raises efficiency of their usage in 3-10 times, including **channels up to 1Gb/s**



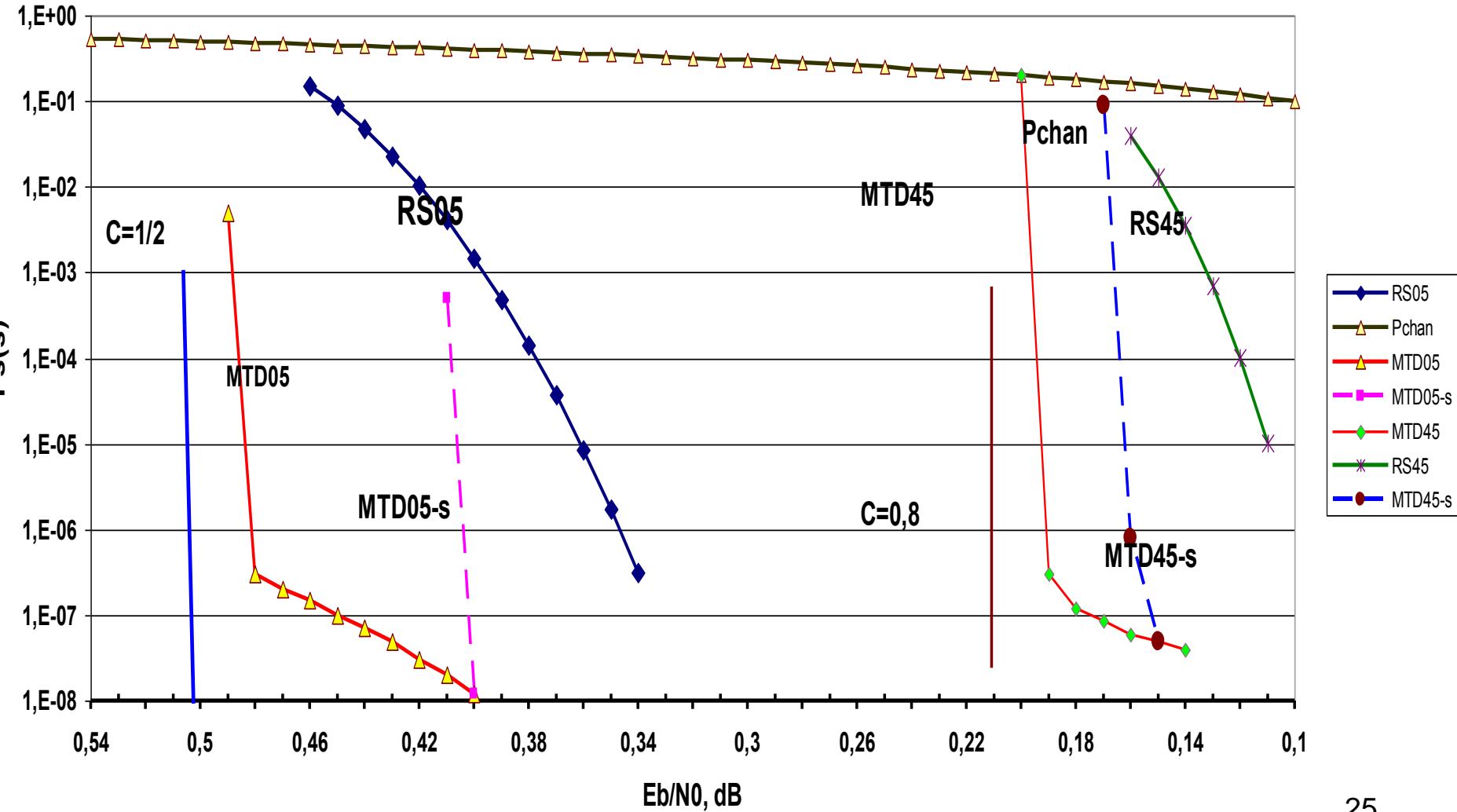
ИКИ

РАН для космоса, оптических каналов и флеш-памяти

Performance QMTD and codes RS



Характеристики МПД и кодов РС в каналах со стираниями



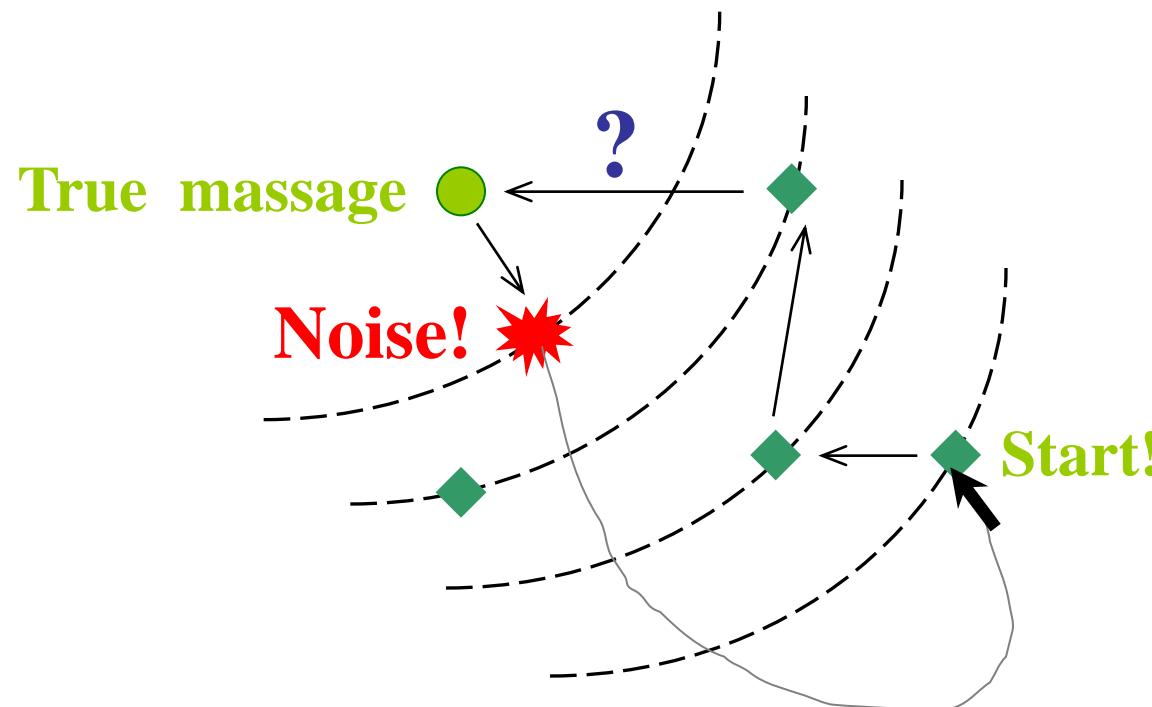
Объём покрытия ОТ - основные кодовые кластеры

- 2 - Коды блоковые – **свёрточные**
- 3 - Коды **базовые** – каскадные (класс.посл. + паралл.)
- 2 - Модемы **жёсткие** – мягкие
- 2 - Коды двоичные – **символьные**
- 2 - Коды для стираний - для **ошибок**
- 2 - Кодовые скорости **средние** – высокие
- 2 - Декодеры **обычные** - сверхбыстрые
- 2 - Декодеры **обычные** - **сверхдостоверные**
- 2 - Декодеры **обычные** - альтернативные

Итого - **768** =====> реально ~ 100 типов
Дополнительные: АФМ, ФМ, НЭК, и т.д.

Does MTD achieves true decisions always?

Yes, they do it almost always!



Общая идеология ОТ



- Развивать следует в первую очередь декодеры с прямым контролем метрики (**ДПКМ**).
- **МПД** – теоретически предельно быстродействующие алгоритмы с целым рядом запатентованных решений.
- МПД в $10^2 \div 10^5$ раз быстрее прочих и обеспечивают большую достоверность около границы Шеннона
- **Символьные коды** – для памяти всех типов.
Сопоставимых среди других кодов – нет!
- **Перспективны АВ, БАВ, МПД и QМПД- класса ДПКМ.**
Их лидерство - надолго или навсегда!
- **Новые направления в ТК:** методы дивергентного кодирования, параллельное каскадирование, символьные коды, БАВ и особые КК.
- У нас есть 15 патентов на МПД и АВ
- **Нами поданы новые заявки на патенты.**

Старые критерии качества кодов

- 
- Отбор кодов по отношению d/n – не нужен; Можно только (если!) для развития математики.
 - Разработка и анализ кодов БЧХ, полярных, последовательных алгоритмов и кодов Рида-Соломона и многих других - не нужно, если решается вопрос о создании алгоритмов
 - Поиск кодов с алгебраической структурой для гауссовских каналов и методов их декодирования: Чейза, Меггита и прочих – не нужен. Всё решают МПД, АВ и БАВ с простейшими методами каскадирования.
 - **ИТОГ:**
 - Не надо искать особые методы декодирования за пределами ДПКМ – только эта группа кодов для большого шума. А при среднем и малом шуме успешно работают вообще все методы. Уже есть много всего. Искать нечего

- Функции сложности E для блоковых кодов: $L \sim 2^E n$

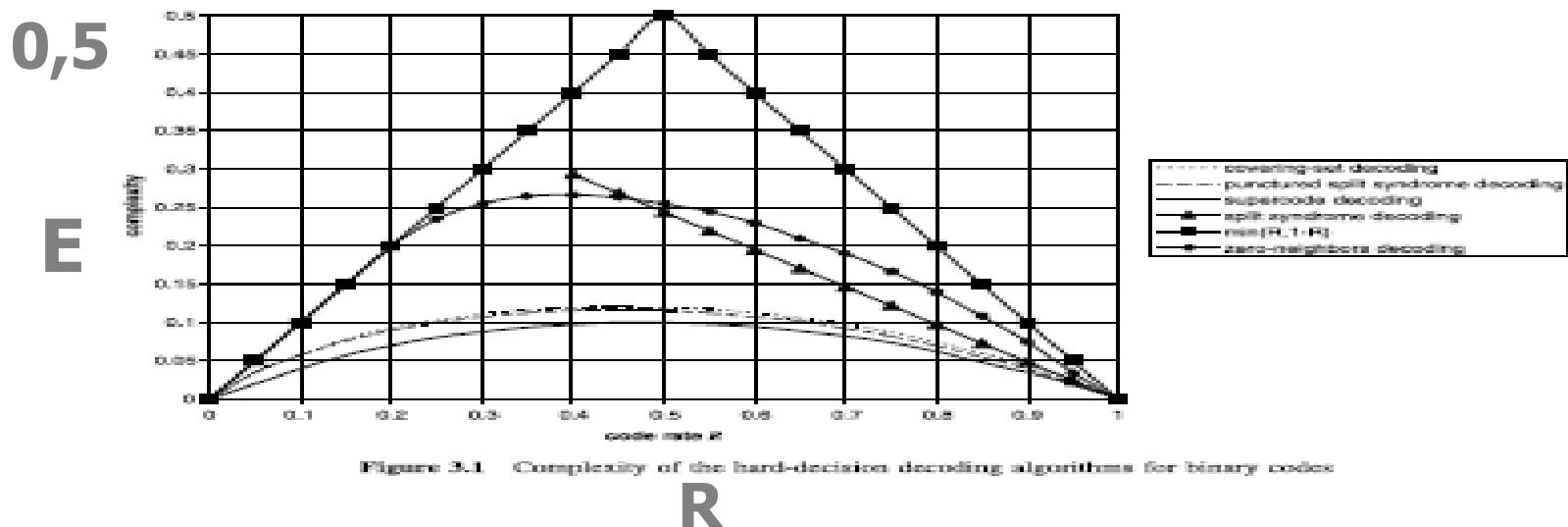


Figure 3.1. Complexity of the hard-decision decoding algorithms for binary codes

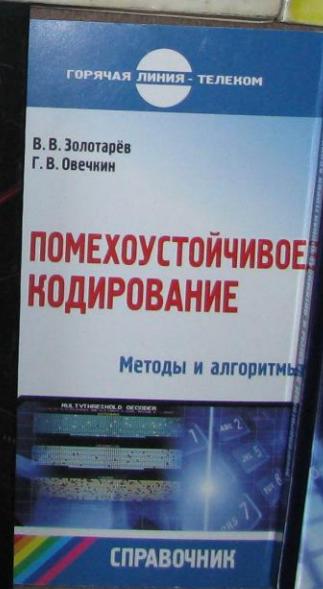
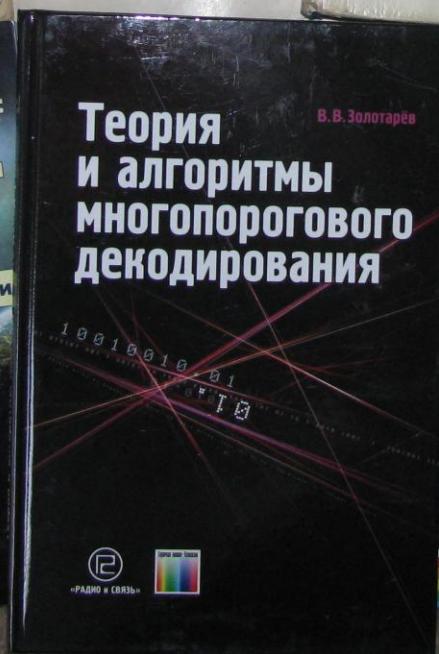
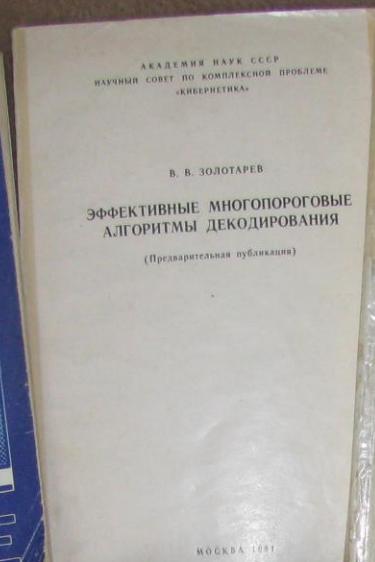
**Сложность АВ порядка 2^{2*K} тоже хороша!?! -
Обычно 2^K . Почему это возможно?**

$K=10$

$K=20$

$n=200$







Главные награды за научные достижения - премия Правительства России по науке и технике

Основополагающие патенты

- 1. МПД**
- 2. Сверхскоростной декодер**
- 3. Блоковый алгоритм Витерби**
- 4. Всего более 15 патентов**

Медаль Евросоюза (ЕС) «За исключительные достижения», врученная за особо значимые результаты в науке.



Один из документов на Золотую медаль Евросоюза за научные достижения



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ
ЗНАКАМ

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL
PROPERTY, PATENTS
AND TRADEMARKS



НАГРАЖДАЕТСЯ

ФГБУН Институт космических исследований РАН
за разработку «Многопороговый декодер
помехоустойчивых кодов для каналов спутниковой
и космической связи с большим уровнем шума»
(Золотарёв В.В.)



Руководитель

Б.П. Симонов

XV Юбилейный международный Салон
изобретений и инновационных технологий



«АРХИМЕД-2012»

ДИПЛОМ

Решением Международного Жюри
награждается

ЗОЛОТОЙ МЕДАЛЬЮ



ФГБУН Институт космических исследований РАН
за разработку «Многопороговый декодер
помехоустойчивых кодов для каналов спутниковой
и космической связи с большим уровнем шума»
(Золотарёв В.В.)

Председатель
Международного Жюри,
Президент Евразийской
патентной организации

А.Н. Григорьев

Президент Салона

Д.И. Зезулин

Руководитель
Федеральной службы
по интеллектуальной
собственности

Б.П. Симонов

Новая книга МСЭ/ITU



Optimization Coding Theory and Multithreshold Algorithms

V. V. Zolotarev, Y. B. Zubarev, G. V. Ovechkin

*Scientific editor Member of
the Russian Academy of Sciences V.K. Levin*



Юбилейная публикация МСЭ

- 150 - ITU

V. V. Zolotarev, Y. B. Zubarev, G. V. Ovechkin

Optimization Coding Theory
and Multithreshold Algorithms

Scientific editor

member of the Russian Academy of Sciences

V. K. Levin

Jeneva, 2015

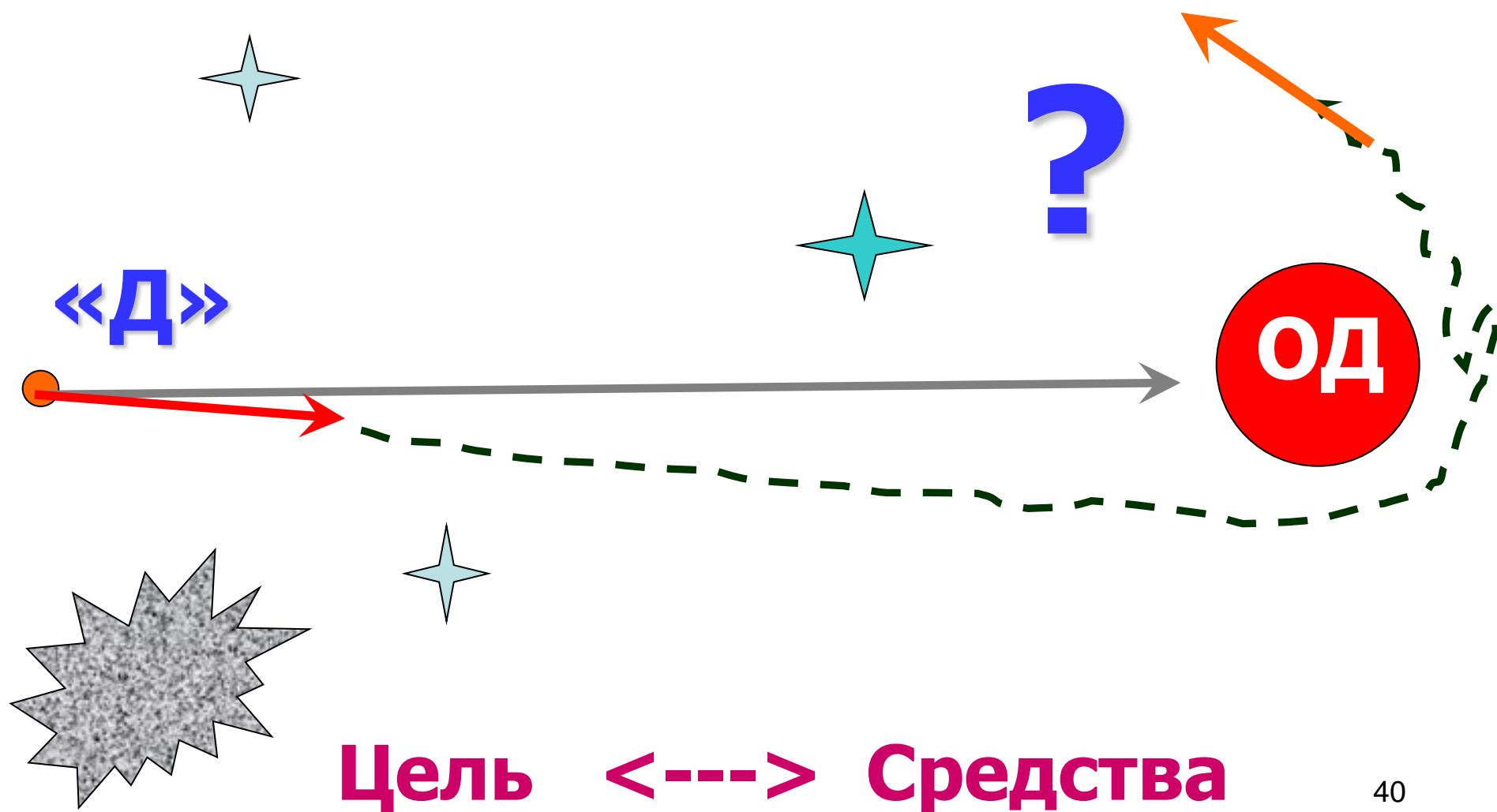


Общая идеология ОТ

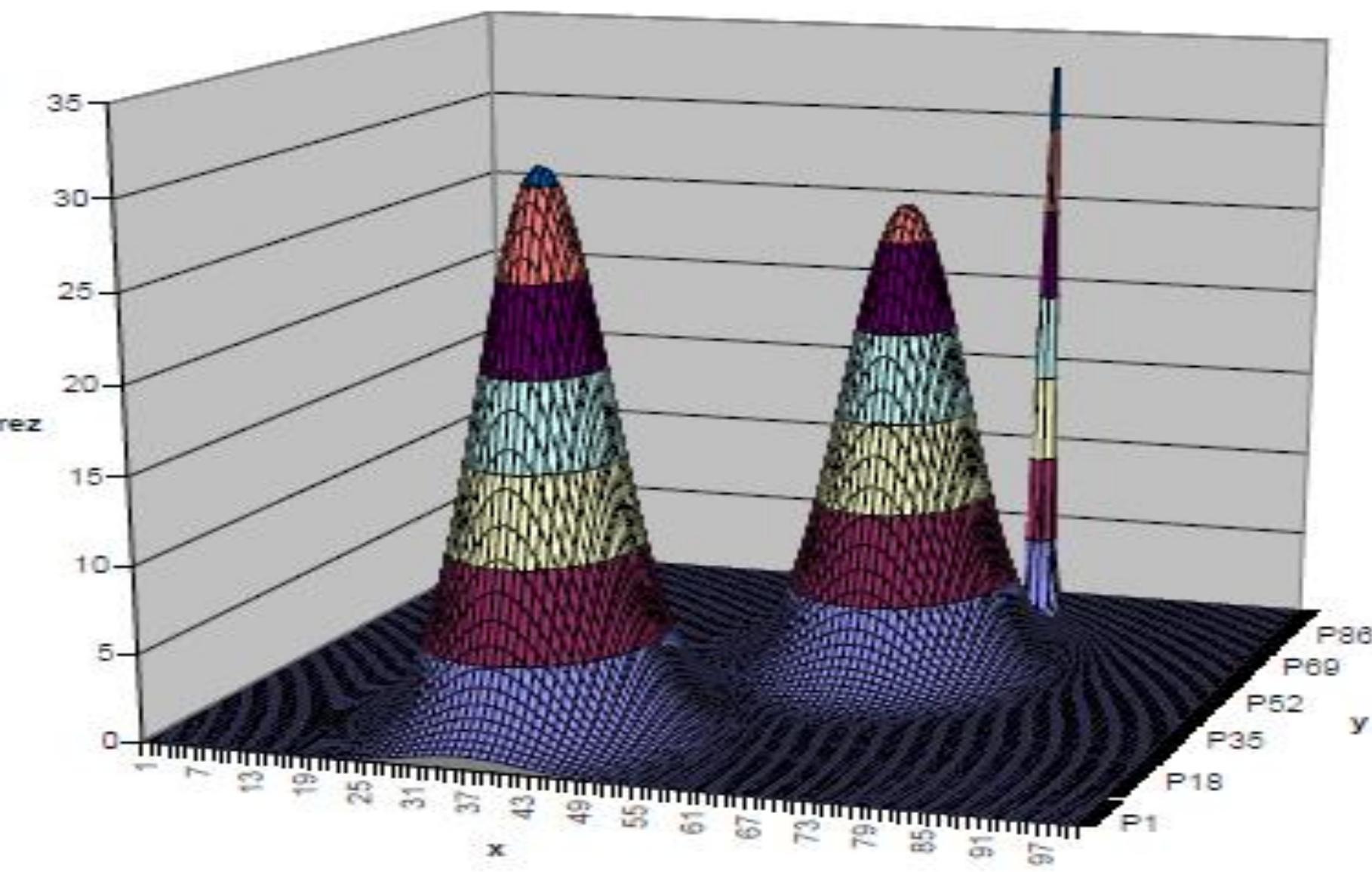
Развивать следует в первую очередь алгоритмы декодирования с прямым контролем метрики (ДПКМ).

- МПД – теоретически предельно быстродействующие алгоритмы с целым рядом запатентованных решений.
- МПД в $10^2 \div 10^5$ раз быстрее прочих методов и обеспечивают в той же мере более достоверные данные
- Символьные коды решают все вопросы эффективности хранения и восстановления при минимальной сложности.
- Перспективны пока только АВ, БАВ, МПД и QМПД. Они достигают решений ОД вблизи границы Шеннона. Их лидерство – надолго или навсегда! Сопоставимых - нет!
- Новые направления в ТК: методы дивергентного кодирования, декодеры с прямым контролем метрики (ДПКМ) и новые каскадные схемы.
У нас есть 15 патентов на МПД и АВ .
- Нами поданы новые заявки на патенты.

Исключительная важность класса алгоритмов **ДПКМ**



Четвёртая проблема ОТ



Каскадные коды

- 1. Использовать параллельное каскадирование: 2 - 3 каскада – **1986 год!**
- 2. Классические схемы последовательного каскадирования - только простейшее взаимодействие двух (или даже трёх!) каскадов – **почти без затрат: +1% - 10% прироста сложности**

Наши порталы по ОТ и МПД

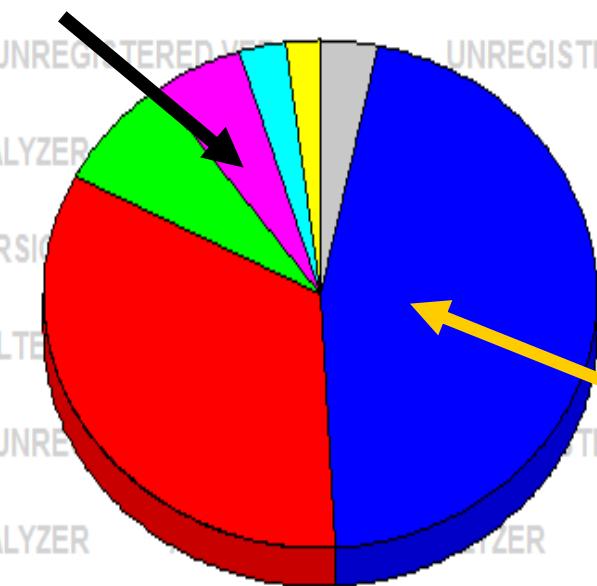
[www.mtdbest.ru.](http://www.mtdbest.ru)

[www.mtdbest.iki.rssi.ru.](http://www.mtdbest.iki.rssi.ru)

2016 год - более 105 тыс. читателей

на
наших порталах из 94 стран мира

Россия



США

Rank	Country	Visitors	Percentage
1	United States	13988	45.79%
2	Not determined	10280	33.65%
3	Germany	2178	07.13%
4	Russian Federation	1607	05.26%
5	Ukraine	859	02.81%
6	China	619	02.03%
7	United Kingdom	228	00.75%
8	Kazakhstan	103	00.34%
9	Belarus	80	00.26%
10	Italy	52	00.17%

За

на

История важнейших открытых теории кодирования

Мировые достижения

Коды Хемминга	-1950
Коды БЧХ и РС	-1962
Пороговые дек-ры	1963
Каскадные коды	-1966
Алгоритм Витерби	-1967
Турбо коды	- 1993
LDPC коды	- 1961-98

Достижения СССР и России

МПД	- 1972
Коды с малым РО	- 1975
ОКК	- 1975
Символьные коды	- 1981
Символьный МПД	- 1984
Параллельные коды	- 1985
Каскадирование с ККЧ	-1990
«Мгновенные» МПД	- 2009
Теория каск-ния МПД	- 2011
<u>Оптимизационная теория</u>	- 2012

Первый патент по оптимизации

Союз Советских
Социалистических
Республик



Государственный комитет
Совета Министров СССР
по делам изобретений
и открытий

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 492878

(61) Дополнительное к авт. свид.-ву —

(22) Заявано 31.07.72 (21) 1816498/18-24

(51) М. Кл. G06F 11/08

с присоединением заявки № —

(23) Приоритет —

(43) Опубликовано 25.11.75, Бюллетень № 43

(53) УДК 681.325.7
(088.8)

(45) Дата опубликования описания 11.03.76

(72) Автор
изобретения

В. В. Золотарев

(71) Заявитель Московский ордена Трудового Красного Знамени физико-технический
институт

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЕКОДИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ СВЕРТОЧНЫХ
КОДОВ

РАН об Оптимизационной Теории

- Выдающееся достижение Золотарёва имеет прекрасную масштабную **аналогию в физике начала 20 века**. Она была в кризисе и не могла решать многие новые задачи. Квантовая теория усилиями небольшой группы будущих **Нобелевских лауреатов** открыла для физики абсолютно необычные новые горизонты.
- Аналогичную совершенно **грандиозную работу совершила и научная школа Золотарёва** в теории информации. Теперь возможны любые уровни достоверности данных и скорость их обработки при очень высоких шумах канала. Эта **главная прикладная проблема теории кодирования решена** совершенно простейшими средствами и при абсолютном минимуме ресурсов.
- Триумф теории Золотарёва по всему миру** подтверждают и сетевые порталы его научной школы, которые ежегодно посещают ~100'000 человек.
- (Подписано:10.03.2015г.) **Член-корреспондент Ю.Б. Зубарев**

Объём покрытия ОТ - основные кодовые кластеры

- 2 - Коды блоковые – **свёрточные**
- 3 - Коды **базовые** – каскадные (класс.посл. + паралл.)
- 2 - Модемы **жёсткие** – мягкие
- 2 - Коды двоичные – **символьные**
- 2 - Коды для стираний - для **ошибок**
- 2 - Кодовые скорости **средние** – высокие
- 2 - Декодеры **обычные** - сверхбыстрые
- 2 - Декодеры **обычные** - **сверхдостоверные**
- 2 - Декодеры **обычные** - альтернативные

Итого - 768 =====> реально ~ 100 типов

Дополнительные: АФМ, ФМ, НЭК, дивергентные коды и т.д.

Новая «квантовая механика» в теории кодирования

- Теория кодирования (ТК) за последние 30 лет дала только каскадную схему АВ*РС. Это - масштабный кризис теории, аналогичный кризису «старой» физики.
- Оптимационная Теория (ОТ) помехоустойчивого кодирования создала совершенно новые парадигмы, совокупность которых позволила указать новые пути развития, успешность которых была продемонстрирована в докладе.
- ОТ – новая «квантовая механика» в ТК!

Выводы.1

1. Мы открыли МПД алгоритмы ~45 лет назад.
 - К настоящему времени полностью решена задача простого и эффективного декодирования МПД алгоритмами, созданными на основе ОТ, даже для самых быстрых каналов при большом уровне шума.
 - Для широкого диапазона параметров кодиро-вания на основе 15 патентов и четырёх открытый в теории кодирования МПД алгоритмы выполнняют на 3÷4 порядков меньшее число операций и одновременно (!) обеспечивают на 3÷5 порядков большую итоговую достоверность данных.
 - Некоторые открытые нами и опубликованные более 30 лет назад коды и методы их МПД декодирования даже не повторены никакими научными коллективами в РФ или в мире.

Выводы.2.

2. Представлены результаты много-
летних исследований, которые для
большого набора основных кластр-ров
параметров систем кодирования на
основе ОТ и методов МПД проде-
монстрировали успешное техноло-гичное
решение проблемы Шеннона для
высокодостоверной и простой коррекции
данных при их передаче по шумящим
каналам **непосредственно вблизи**
пропускной способности С таких каналов.

Выводы.3.

3. Сложнейшая проблема нашей информационной цифровой цивилизации решена на основе полной смены парадигм развития теории кодирования, названных **Оптимизационной Теорией (ОТ)**, которые стали принципиально новой «**квантовой механикой**» в теории информации. Несомненно, наша **«квантовая механика»**, ОТ, сыграет ещё более великую роль в поддержании высокой достоверности контента нашего цифрового сообщества, чем безусловно исключительно важные достижения Нобелевских лауреатов по физике в начале XX века.

..

.....Слава Российской науке!

www.mtdbest.ru

Спасибо!

РГРТУ

**ИКИ РАН
РГРТУ**

www.mtdbest.iki.rssi.ru

mail: [zolatasd@yandex.ru](mailto:zolotasd@yandex.ru)

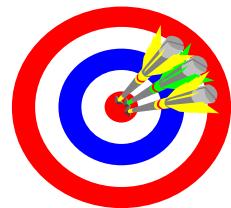
моб.: +7-916-518-86-28

g_ovechkin@mail.ru

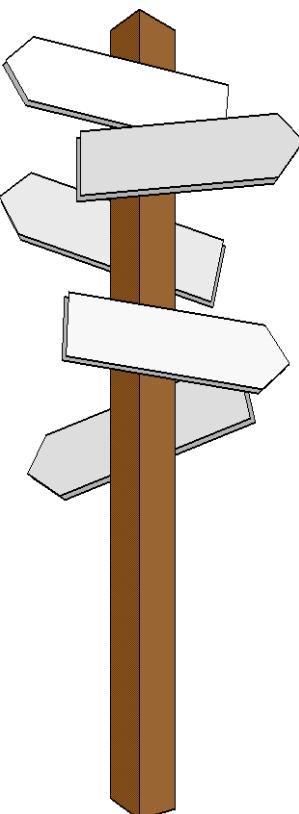
24.05.2017 г.

ИКИ РАН

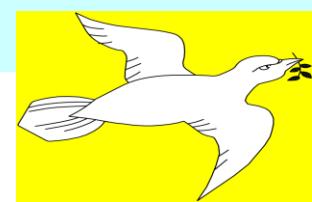
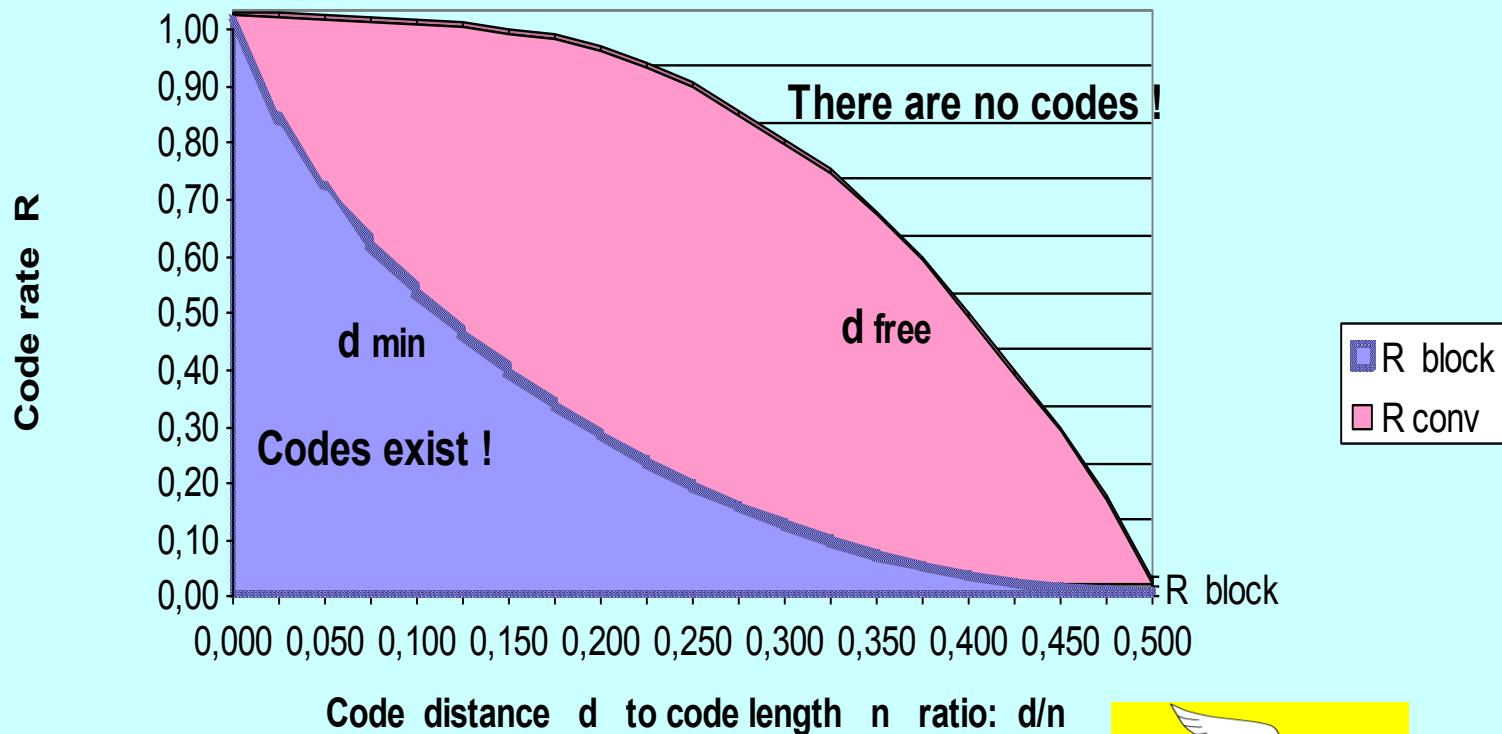
e-



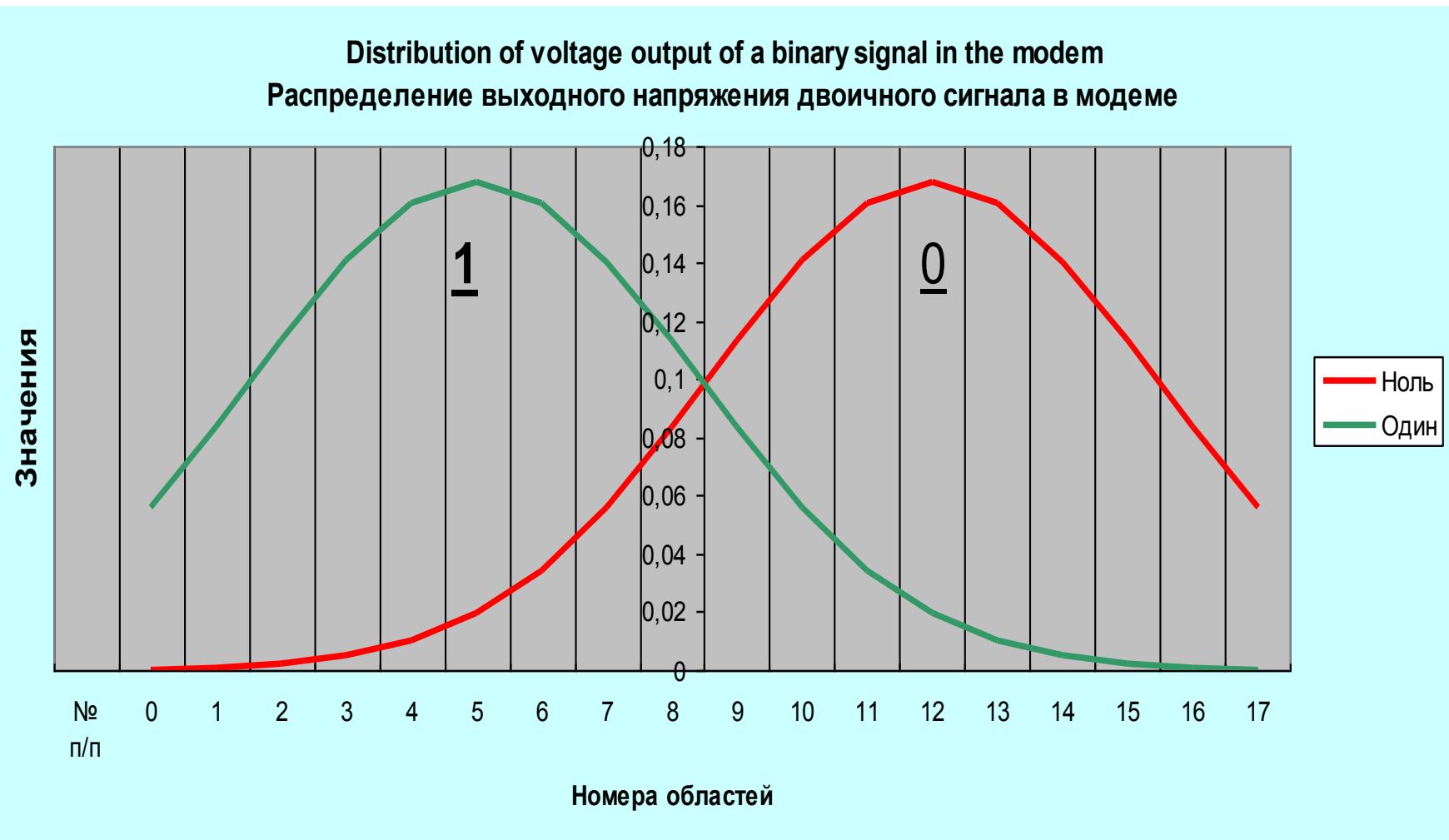
Limits of correcting properties for two code classes



Interconnection between C and R1
for different values of d/n ratio



Организация работы мягкого модема в АБГШ канале



ФУНКЦИИ НАДЁЖНОСТИ БЛОКОВЫХ И СВЁРТОЧНЫХ КОДОВ [Forney]

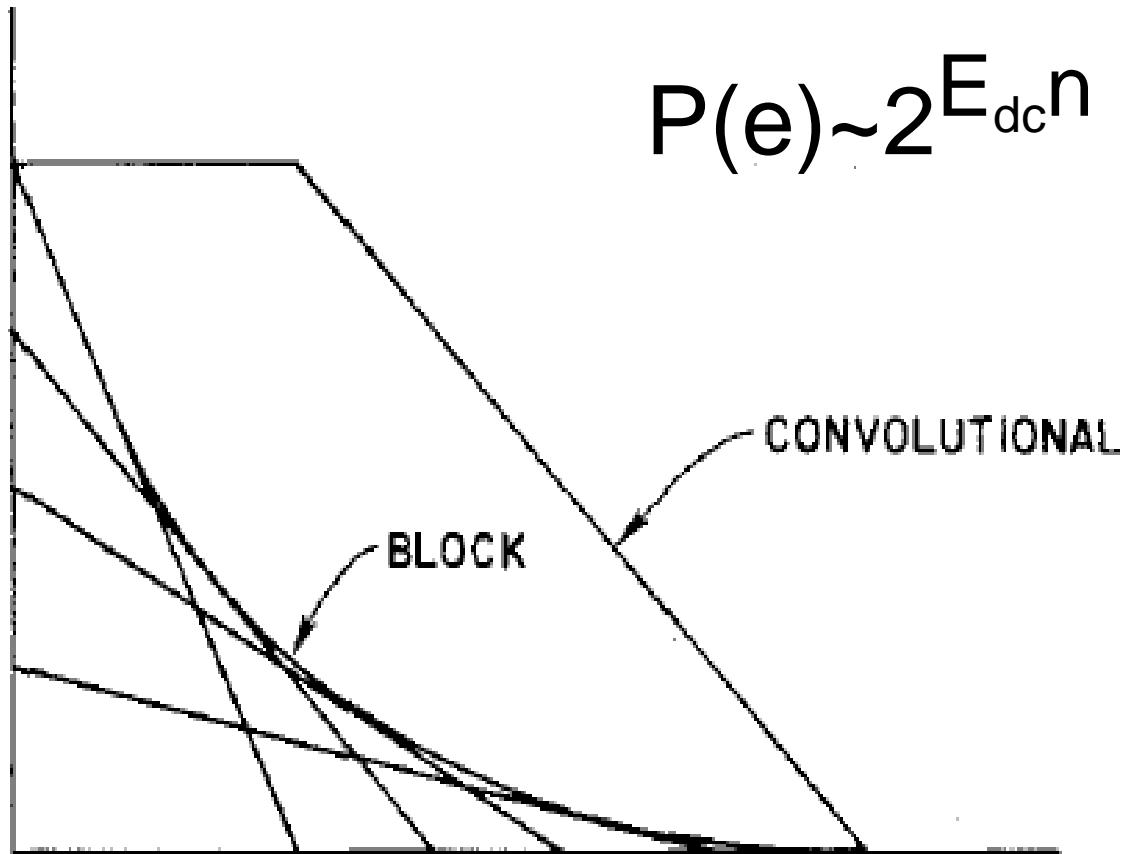
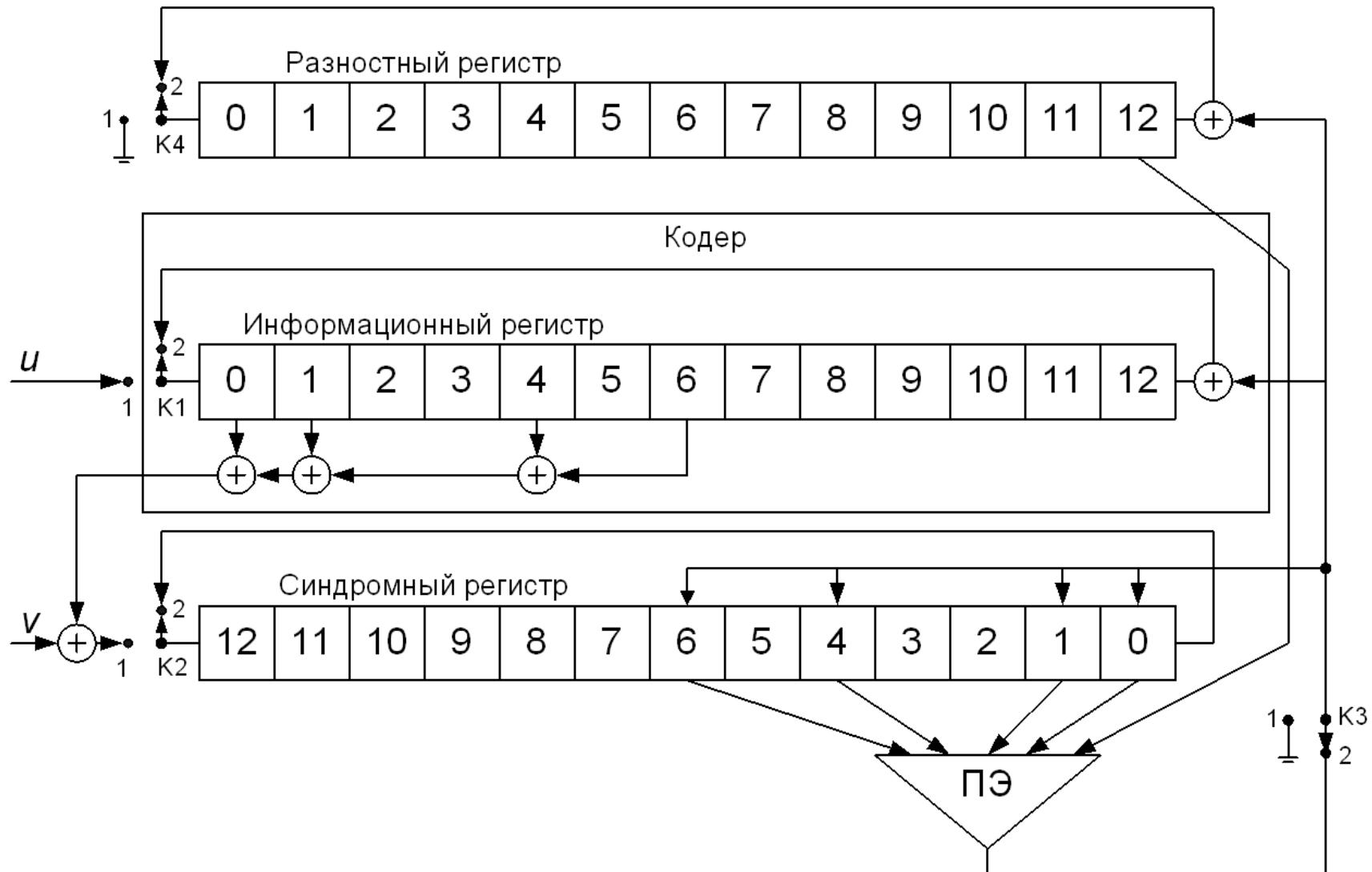
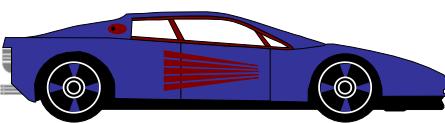
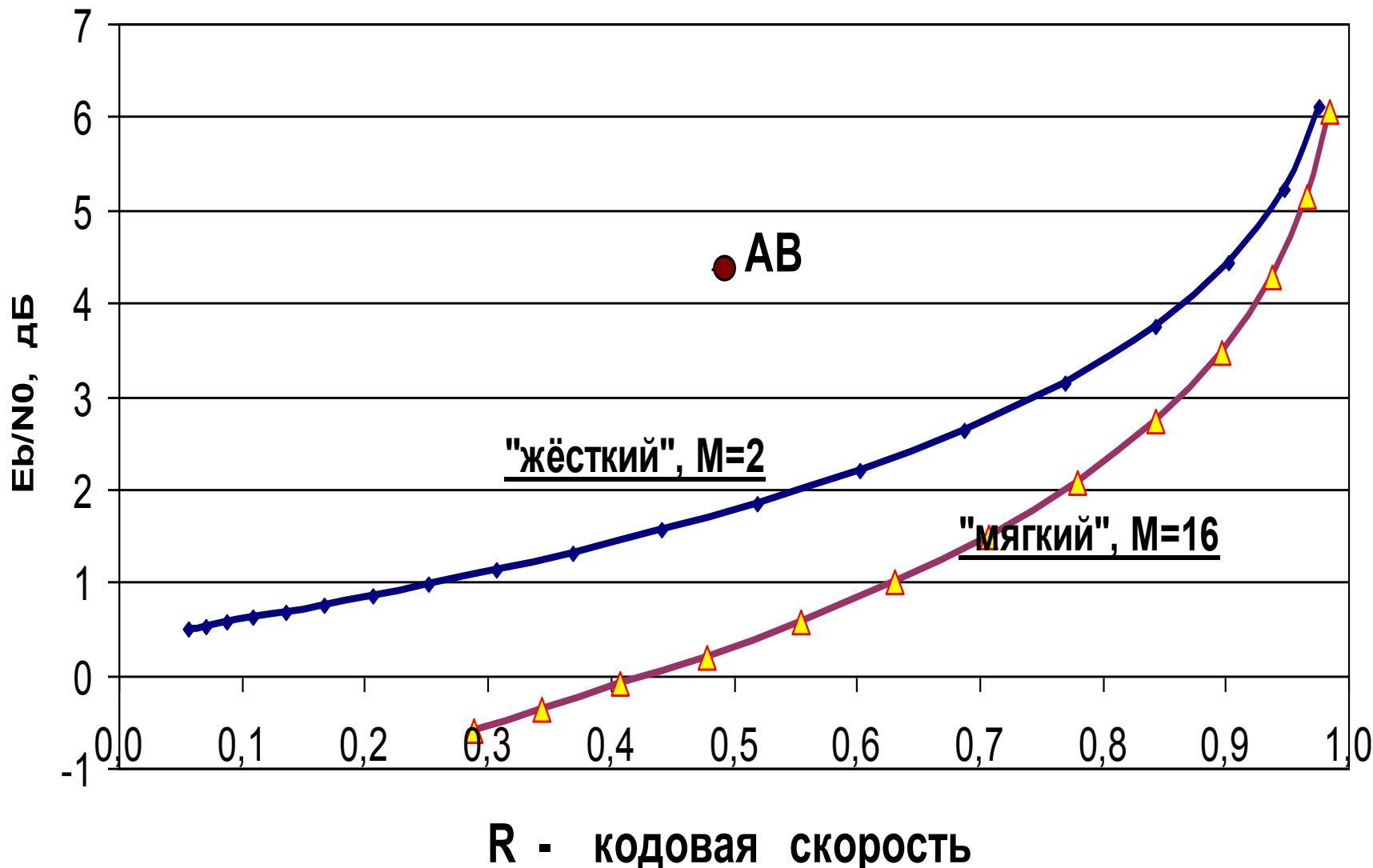


FIG. 11. List-of-2 decoding exponents for very noisy channel.

БЛОКОВЫЙ МПД



Зависимость предельной энергетики канала E_b/N_0 от кодовой скорости R



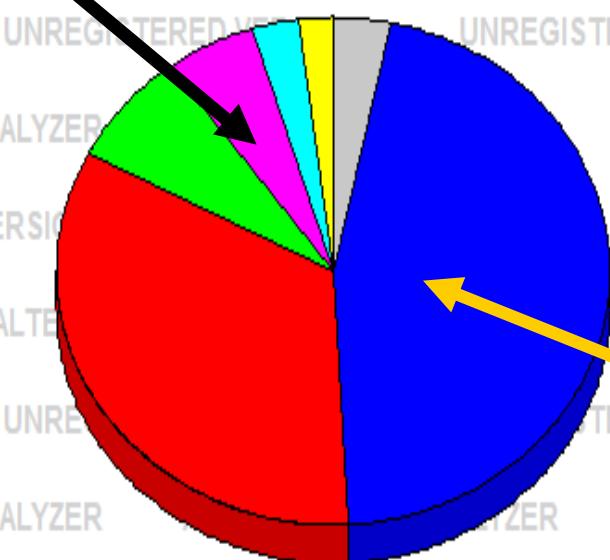
Новые порталы по методам кодирования

[www.mtdbest.ru.](http://www.mtdbest.ru)

[www.mtdbest.iki.rssi.ru.](http://www.mtdbest.iki.rssi.ru)

За 2014 год - более 93 тыс. читателей
на наших порталах из 70 стран мира

Россия



ALTERWIND LOG ANALYZER

United States

Not determined

Germany

Russian Federation

Ukraine

China

Other

ALTERW

Rank

Country

Visitors

1 United States

13988 45.79%

2 Not determined

10280 33.65%

3 Germany

2178 07.13%

4 Russian Federation

1607 05.26%

5 Ukraine

859 02.81%

6 China

619 02.03%

7 United Kingdom

228 00.75%

8 Kazakhstan

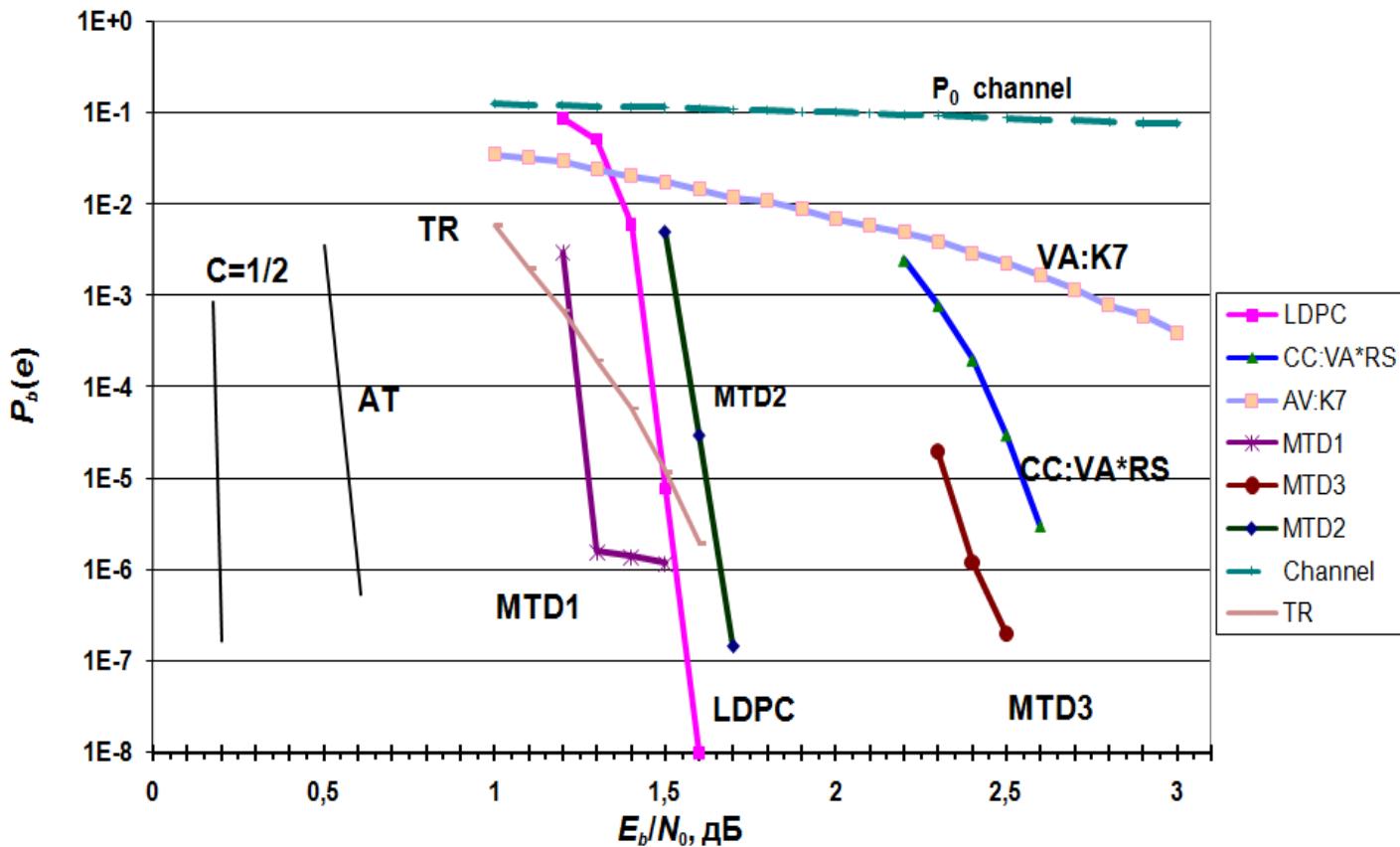
103 00.34%

9 Belarus

80 00.26%

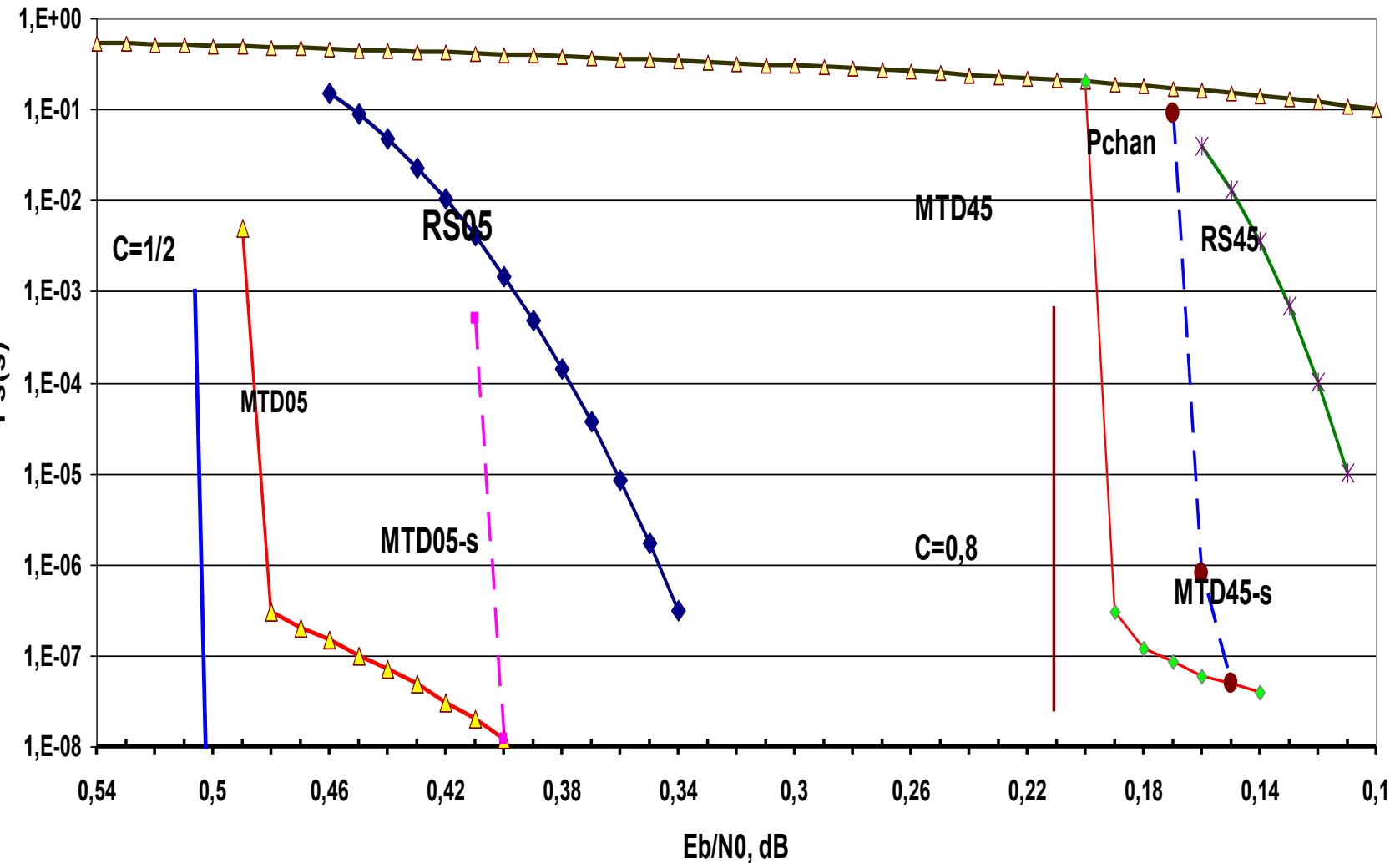
10 Italy

52 00.17%



Характеристики МПД и кодов РС в каналах со стираниями

в



- ОТДЕЛЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РАН
- Основные научные направления исследований
- 1. Теория информации, научные основы информационно-вычислительных систем и сетей, информатизации общества. Квантовые методы
- 2. Когнитивные системы и технологии,
- 3. Системы автоматизации,
- 4. **Научные основы и применения информационных технологий** в медицине
- 5. Проблемы создания глобальных и интегрированных информационно-телекоммуникационных систем и сетей. Развитие технологий и стандартов GRID
- 6. Архитектура, системные решения, программное обеспечение,
- 7. Элементная база микроэлектроники,
- 8. Опто-, радио- и акустоэлектроника, оптическая и СВЧ-связь, лазерные технологии
- 9. Локационные системы. Геоинформационные технологии и системы
- 10. **Нанотехнологии**, нанобиотехнологии, наносистемы, наноматериалы, нанодиагностика, наноэлектроника и нанофотоника

Достигнутые за 40 лет работы результаты полностью решают задачи, выделенные на слайде направлений исследований ОНИТ красным цветом по самым главным аспектам теории кодирования: быстродействия алгоритмов и достоверности цифровых потоков при больших шумах канала.

Российская школа помехоустойчивого кодирования уже длительное время занимает лидирующее положение по главным теоретическим и прикладным вопросам этой отрасли теории информации.

Развитие этой тематики позволит сохранить и укрепить приоритеты российской науки в важнейшей для современной цивилизации отрасли теории информации – в теории помехоустойчивого кодирования!

Этот и последующие слайды – справочные, для ответов на вопросы



Многопороговое декодирование (МПД)

МПД многократно изменяет символы принятого сообщения и может при линейной сложности реализации достичь решения **оптимального переборного декодера** (ОД).

- Это - результат применения итеративного подхода к коррекции ошибок, открытого у нас на 22 года раньше, чем на Западе.
- Обычно “цена” оптимального декодирования (ОД) (как для алгоритма Витерби) - полный перебор, а сложность МПД - всего лишь линейная функция от длины кода!!!



Докладчик

В.В.Золотарёв –

**ведущий научный сотрудник
Института космических
исследований РАН,
доктор технических наук,
профессор,
лауреат премии
Правительства РФ**

Что нужно от кодов для сетей связи?

Проф. Берлекэмп (США) указал в 1980г. в обзоре, опубликованном в ТИИЭР:

‘**Это - энергетический выигрыш! - ЭВК”,**

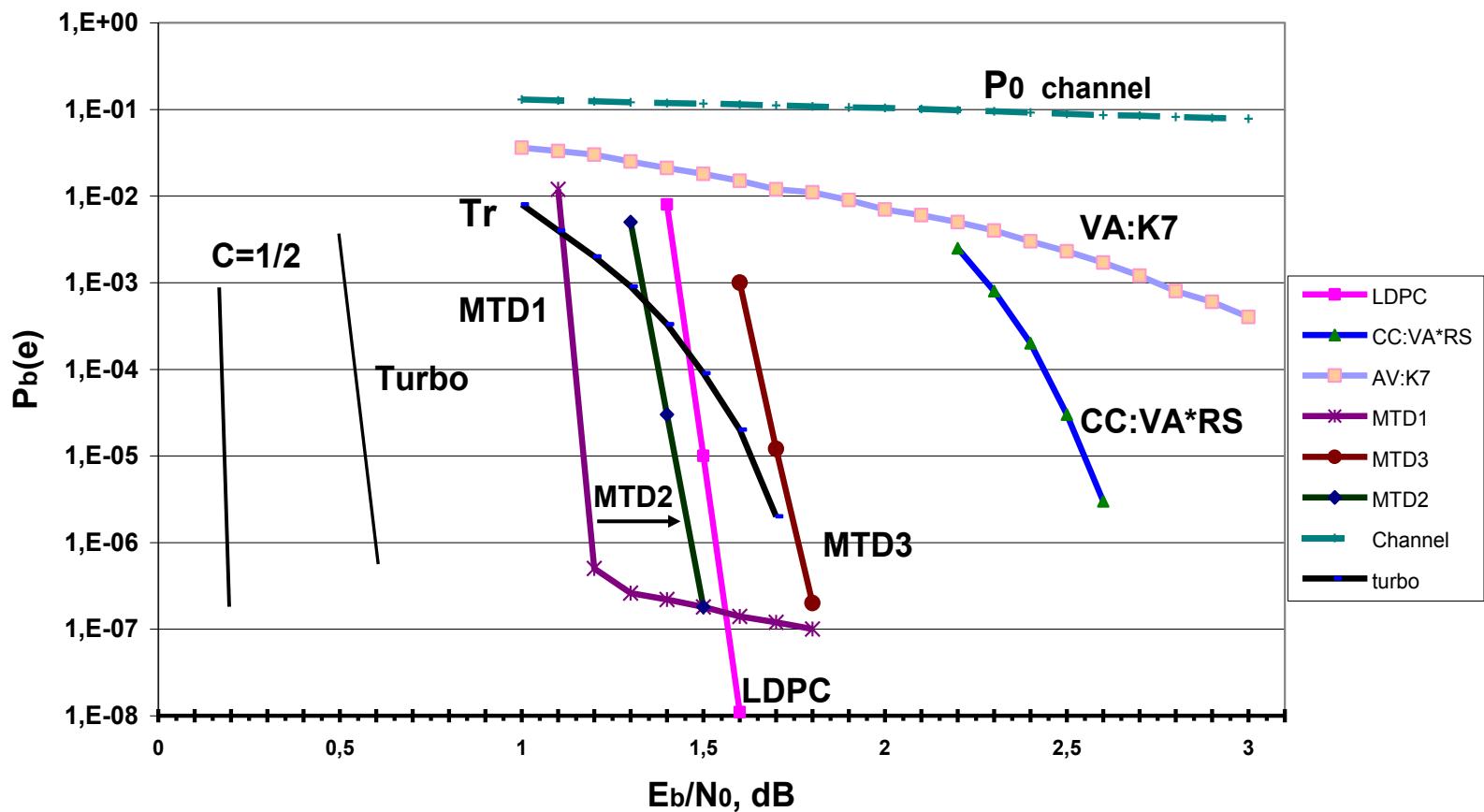
- мера эффекта увеличения энергии сигнала , оцениваемая как ~\$1 миллион на 1 дБ ЭВК.

- Теперь это **ещё более важно.**
- { см. обзоры на нашем веб-сайте ИКИ РАН **www.mtdbest.iki.rssi.ru** }
- Сейчас **каждый дополнительный 1 дБ ЭВК даёт в больших сетях экономический эффект в сотни миллионов долларов!**
- **Это-размеры антенн, скорость, надёжность и дальность связи**

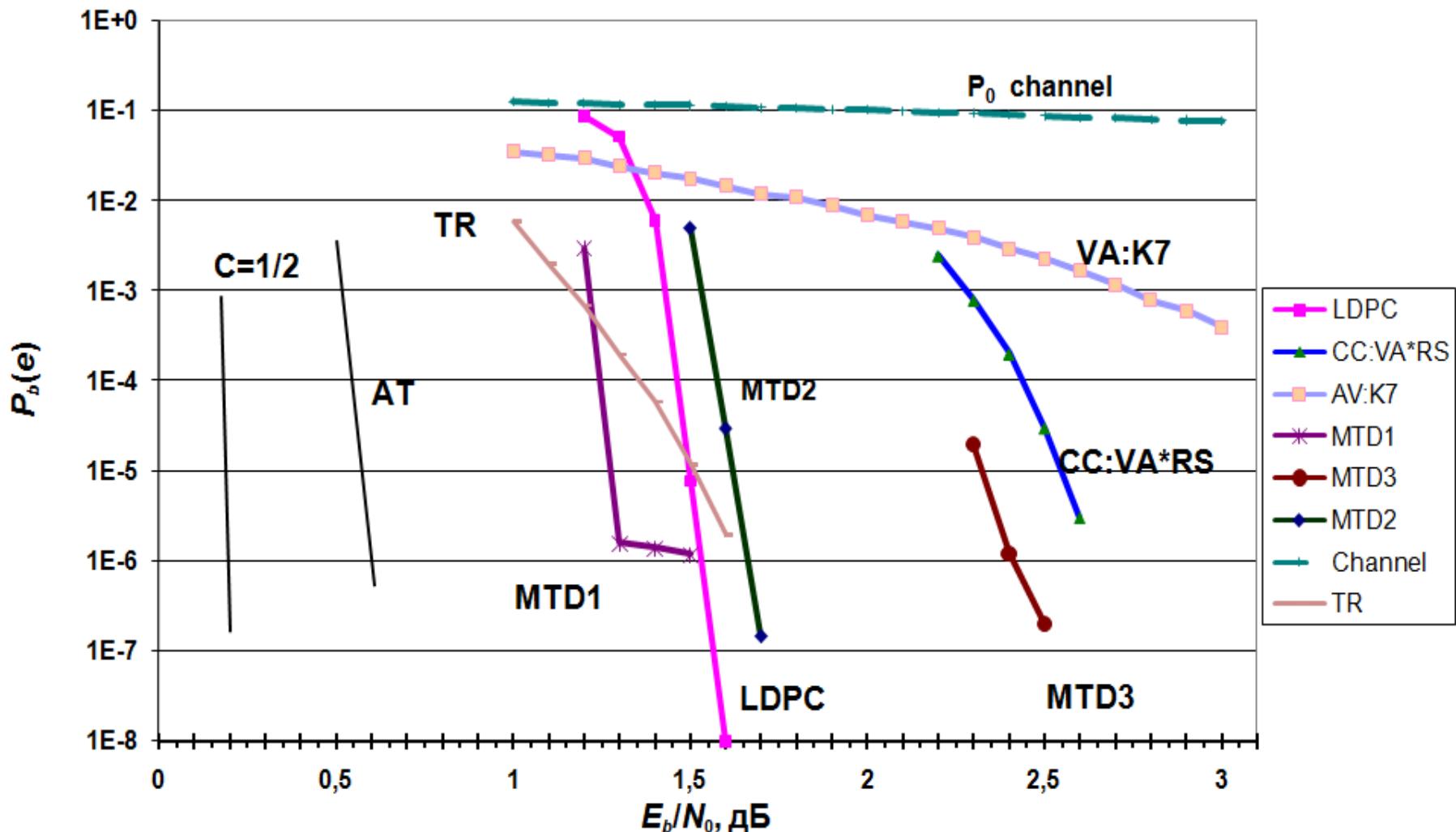
Характеристики методов декодирования гауссовских каналах

в

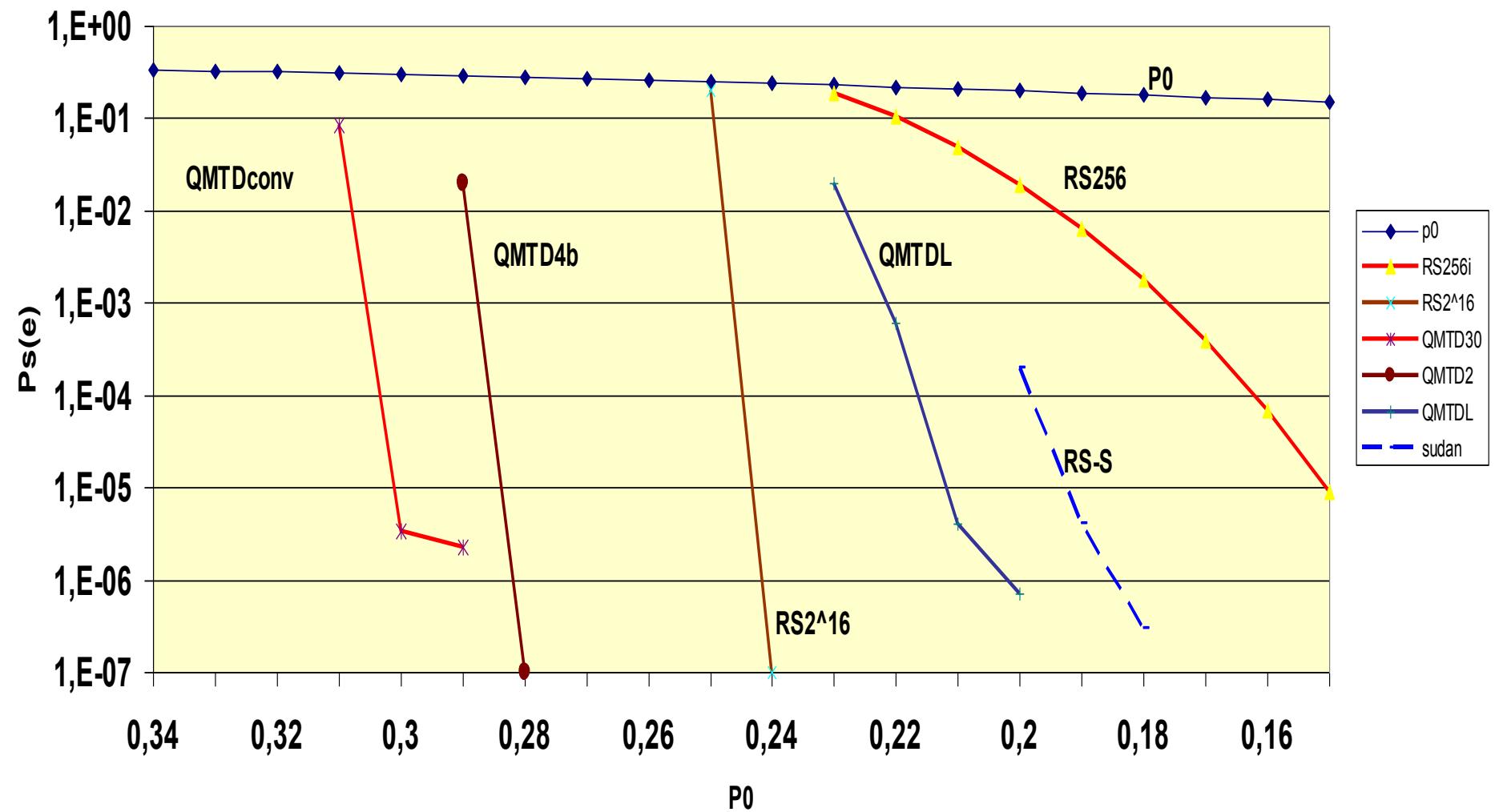
Perfomance of AV, new MTD and other decoders



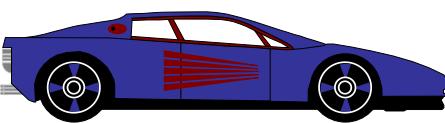
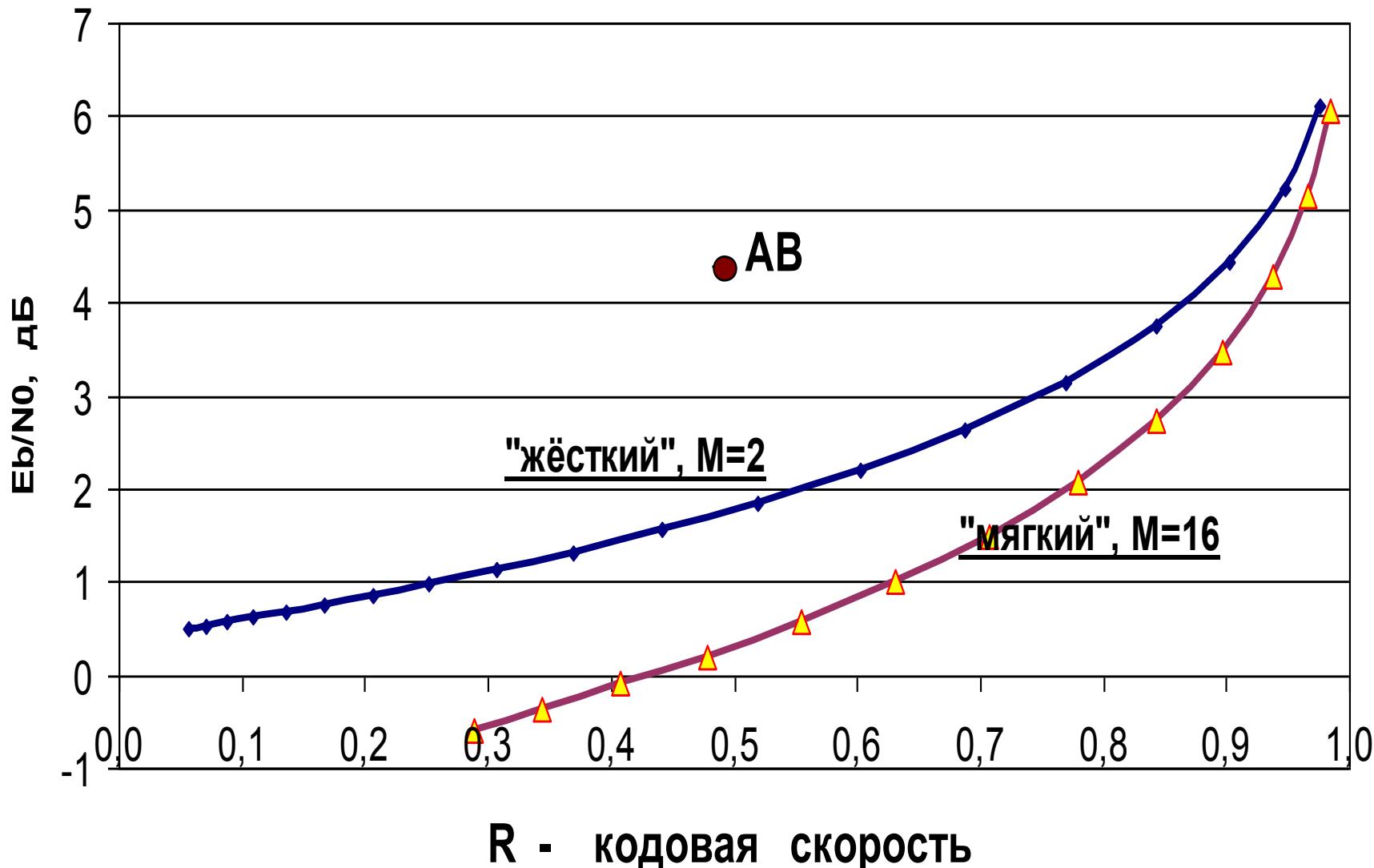
Performance MTD,LDPC,turbo,VA,CC



Performance QMTD and codes RS

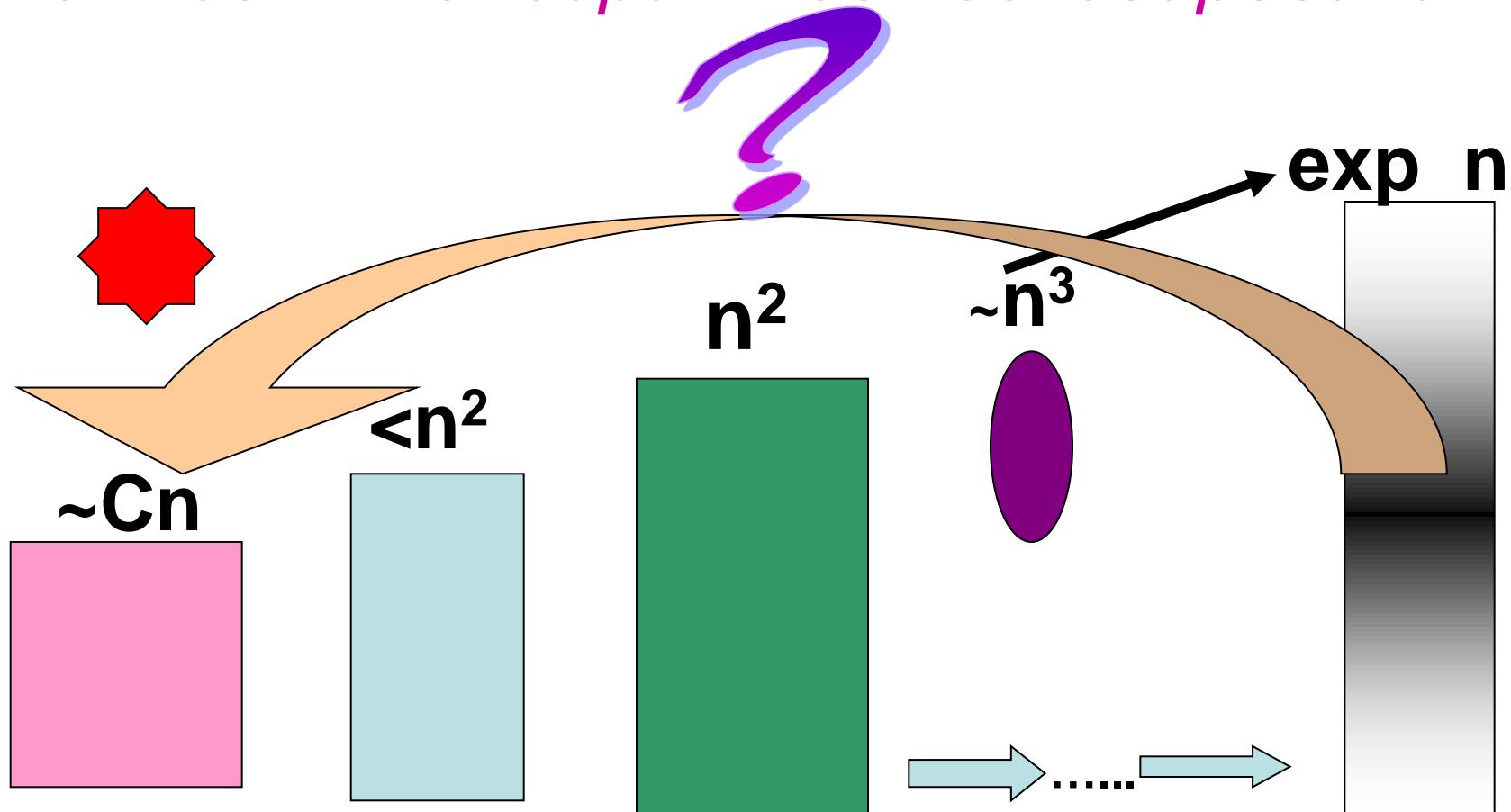


Зависимость предельной энергетики канала E_b/N_0 от кодовой скорости R



Обновление главной парадигмы теории кодирования

Сложность алгоритмов декодирования



www.mtdbest.ru

Спасибо!

ИКИ РАН т.(495)-333-24-12

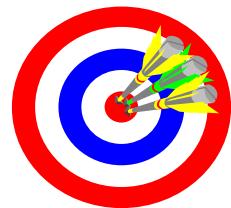
www.mtdbest.iki.rssi.ru

е-mail: zolotasd@yandex.ru

моб.: +7-916-518-86-28

В.В.Золотарёв

26.10.2015 г.



Мир недвоичных кодов

**QMПД, символьные
коды длины 10^5 и
более
с кодовой скоростью
 $R=0,16 \div 0,97$**

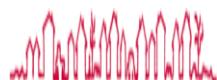
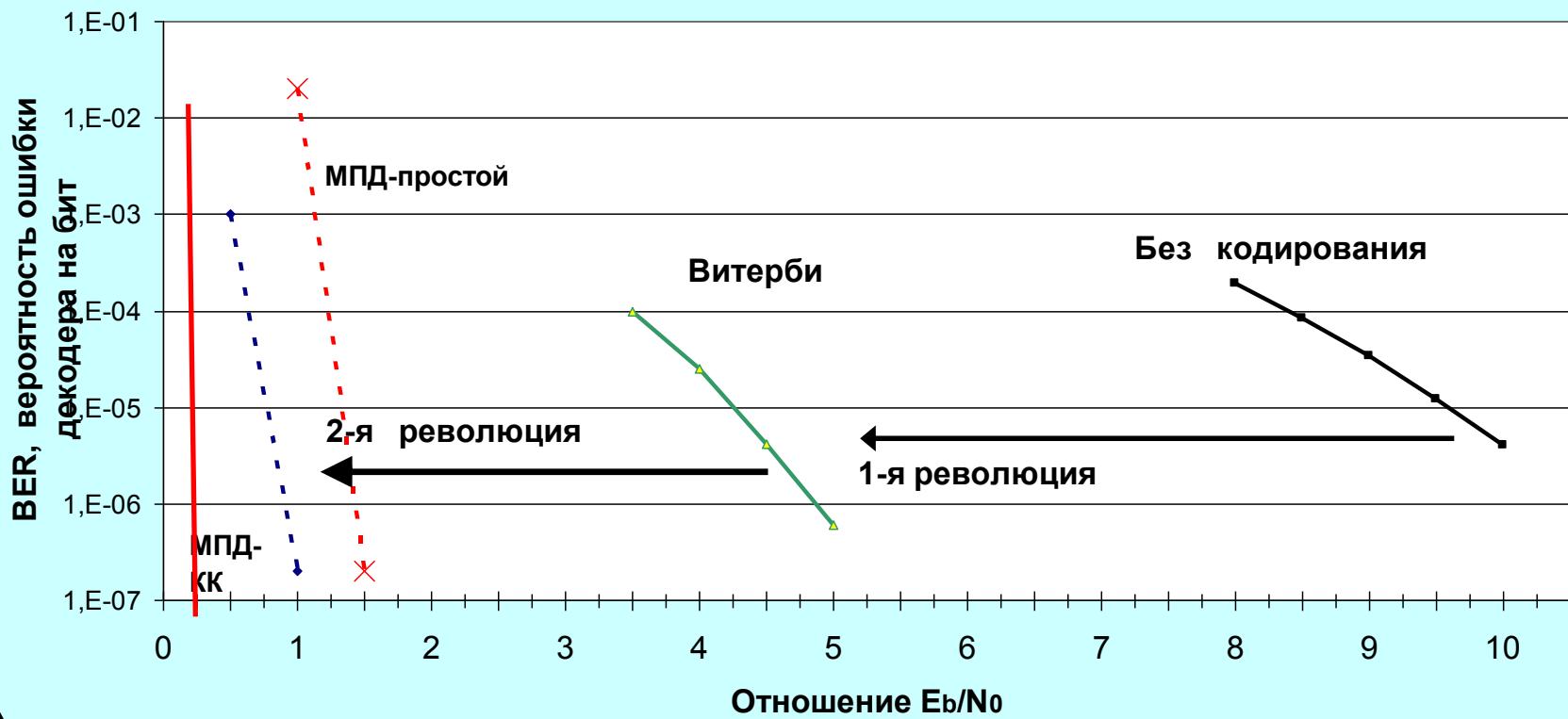


Коды Рида-Соломона
длины до 255



Новая научная и технологическая революция – передача информации при минимальной энергетике канала

Эффективность новых и старых методов кодирования
для двоичной передачи при кодовой скорости $R=1/2$



Мир двоичных кодов для спутниковых, а также оптических каналов и флеш памяти

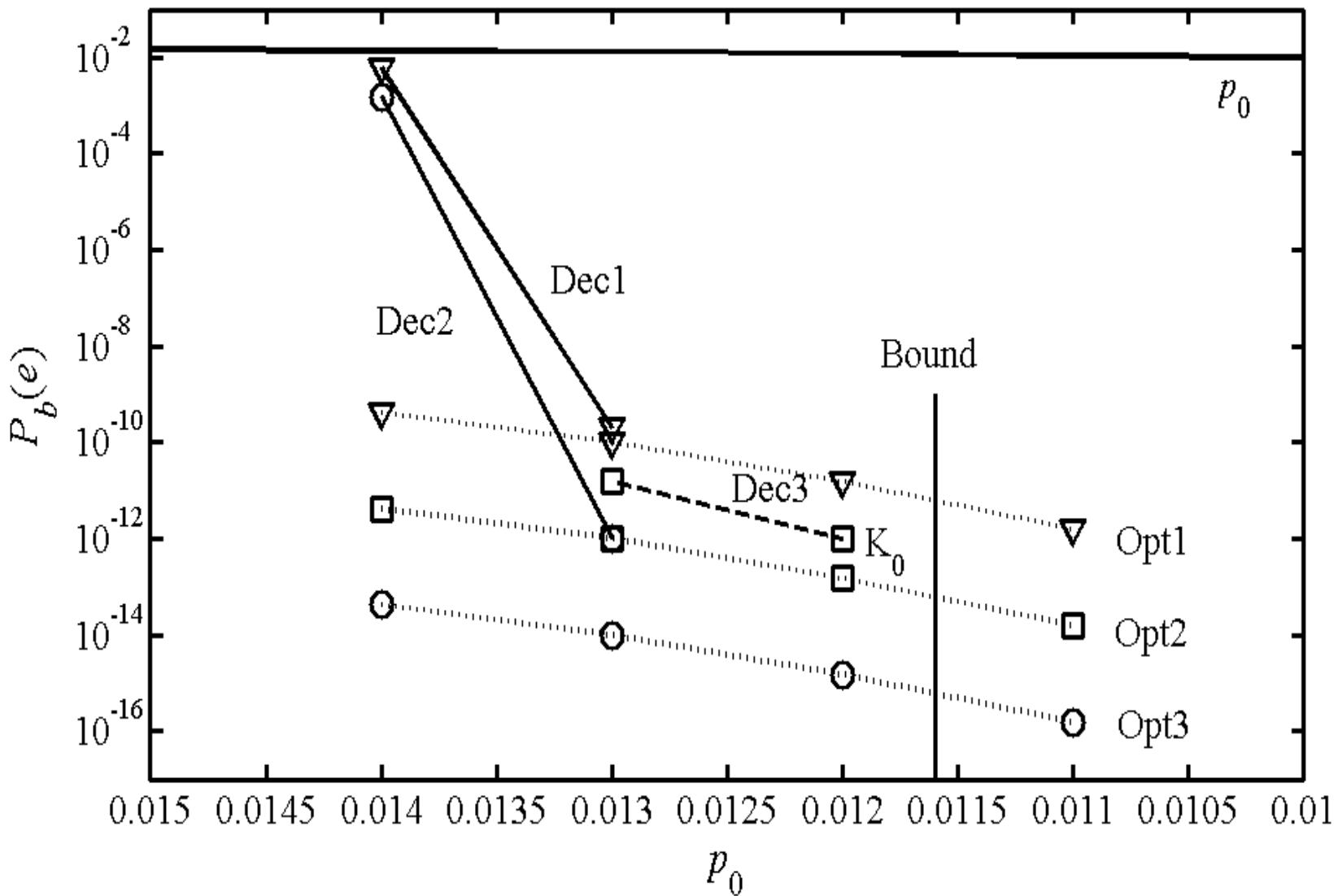
Двоичные коды для **МПД**
длины 10^5 и более
с кодовой скоростью
 $R=0,16 \div 0,9$

Турбо коды

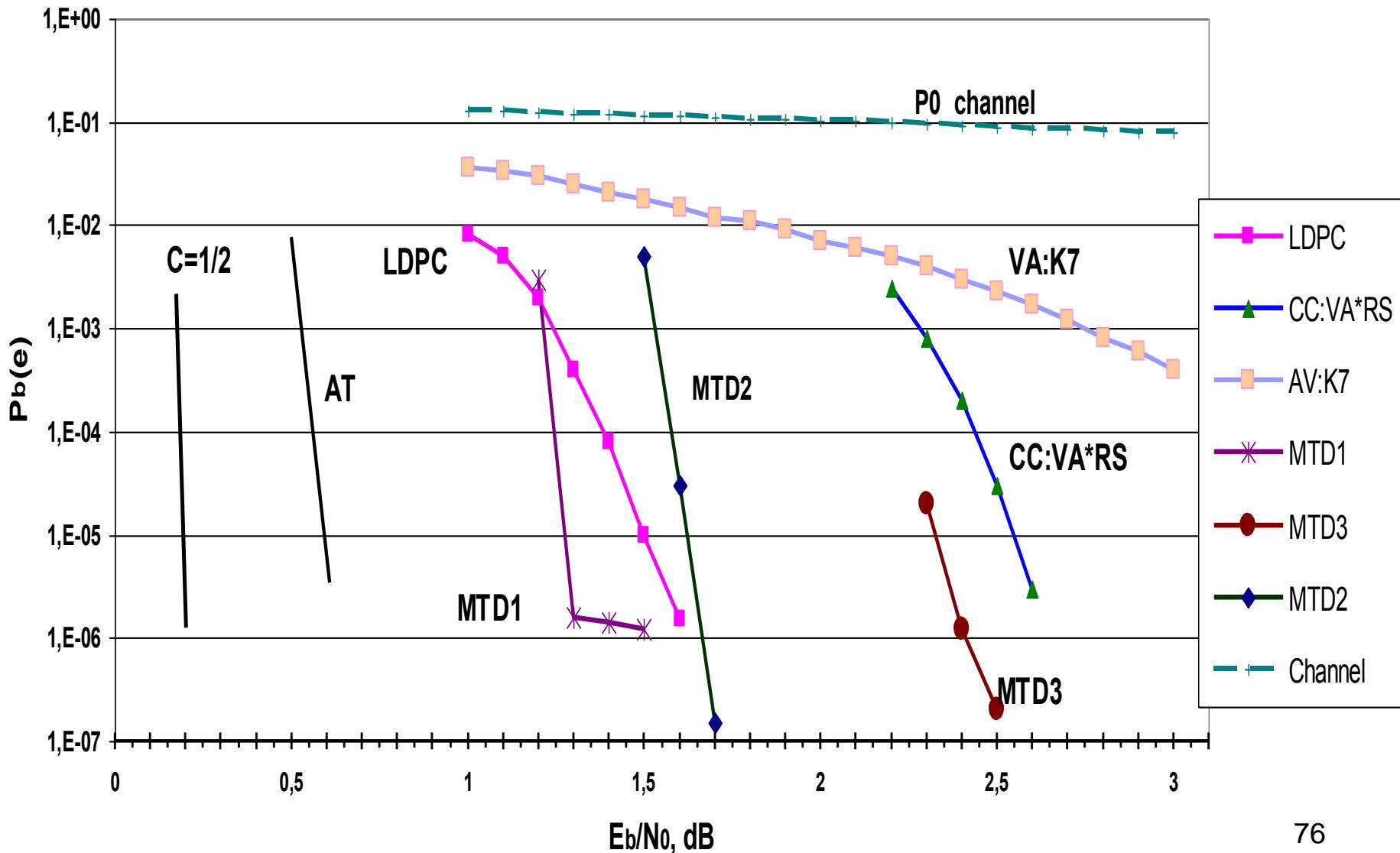
Каскадные коды
AB и PC

LDPC коды

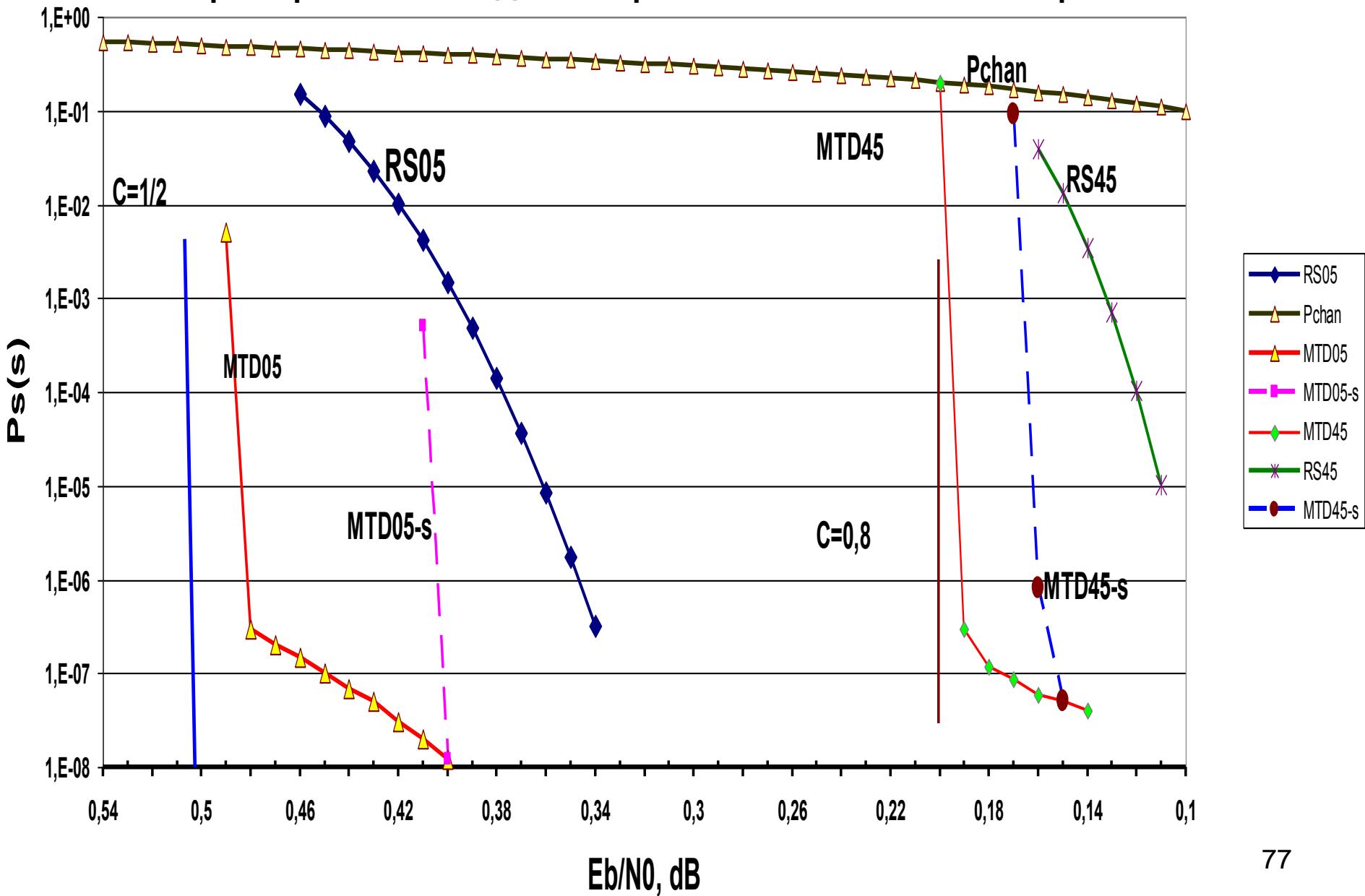
Decoder for flesh memory



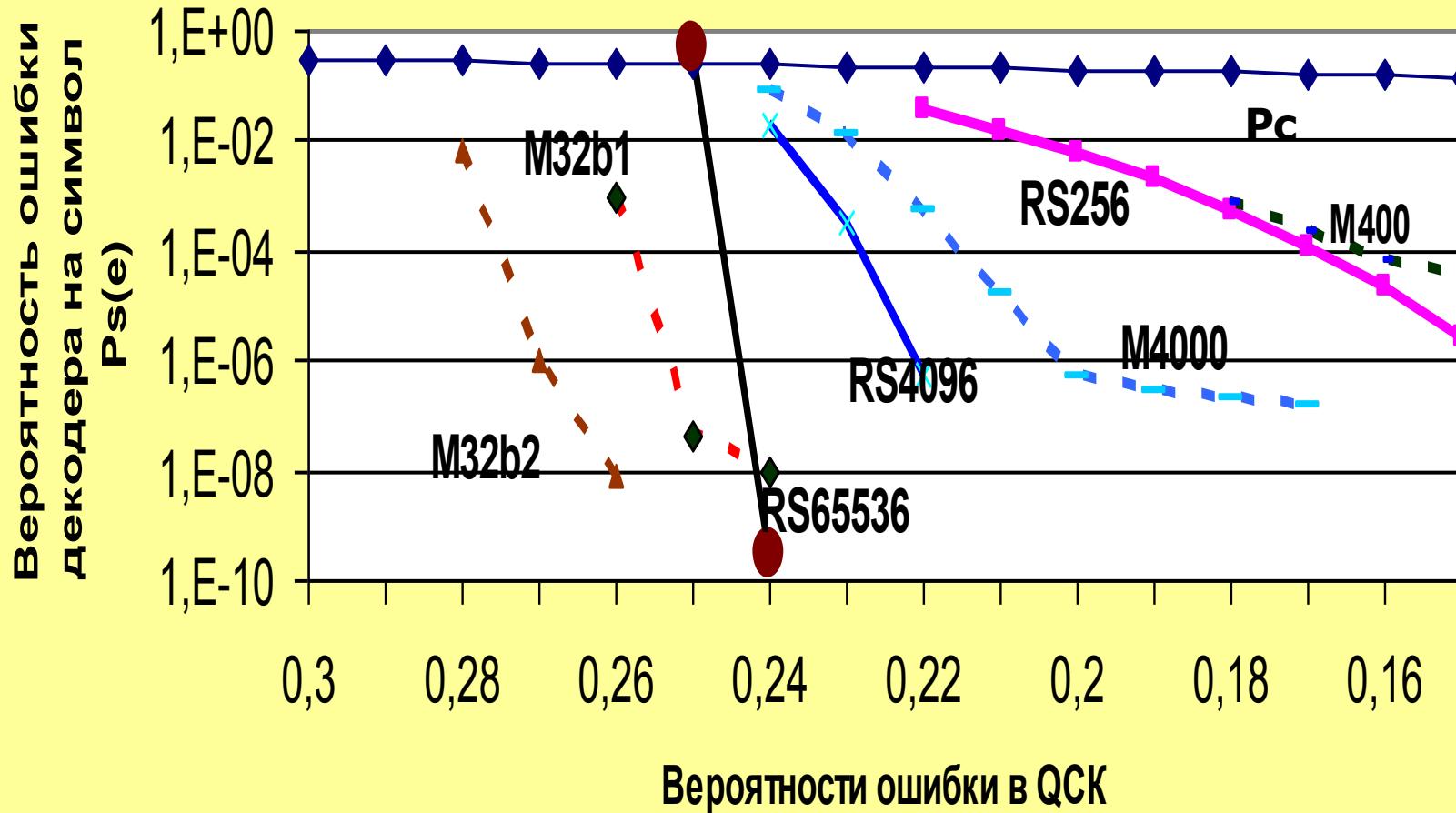
Perfomance of AV, CC, LDPC and new MTD september 2015



Характеристики МПД и РС при R=1/2 в канале со стираниями



Характеристики недвоичных блоковых МПД и кодов РС с $R=1/2$



Поскольку многие цифровые каналы очень дороги, а передавать и хранить данные необходимо с очень высокой достоверностью, то именно проблемы наиболее полного использования ёмкости каналов связи, повышения их к.п.д. и достижения высокой достоверности цифровых потоков при высоких уровнях шума канала и носителей данных оказываются в ряду наиболее актуальных исследований.

Что нужно от кодов для сетей связи?

- Проф. Берлекэмп (США) указал в 1980г. в обзоре, опубликованном в ТИИЭР:

**“ Это - энергетический выигрыш! -
ЭВК”,**

- мера эффекта увеличения энергии сигнала ,
оцениваемая тогда как ~\$1 миллион на 1 дБ ЭВК.

Сейчас каждый дополнительный 1 дБ ЭВК даёт в
больших сетях экономический эффект
сотни миллионов долларов!

- Это - размеры антенн, скорость,
надёжность и дальность связи

Что нужно от кодов для сетей связи?

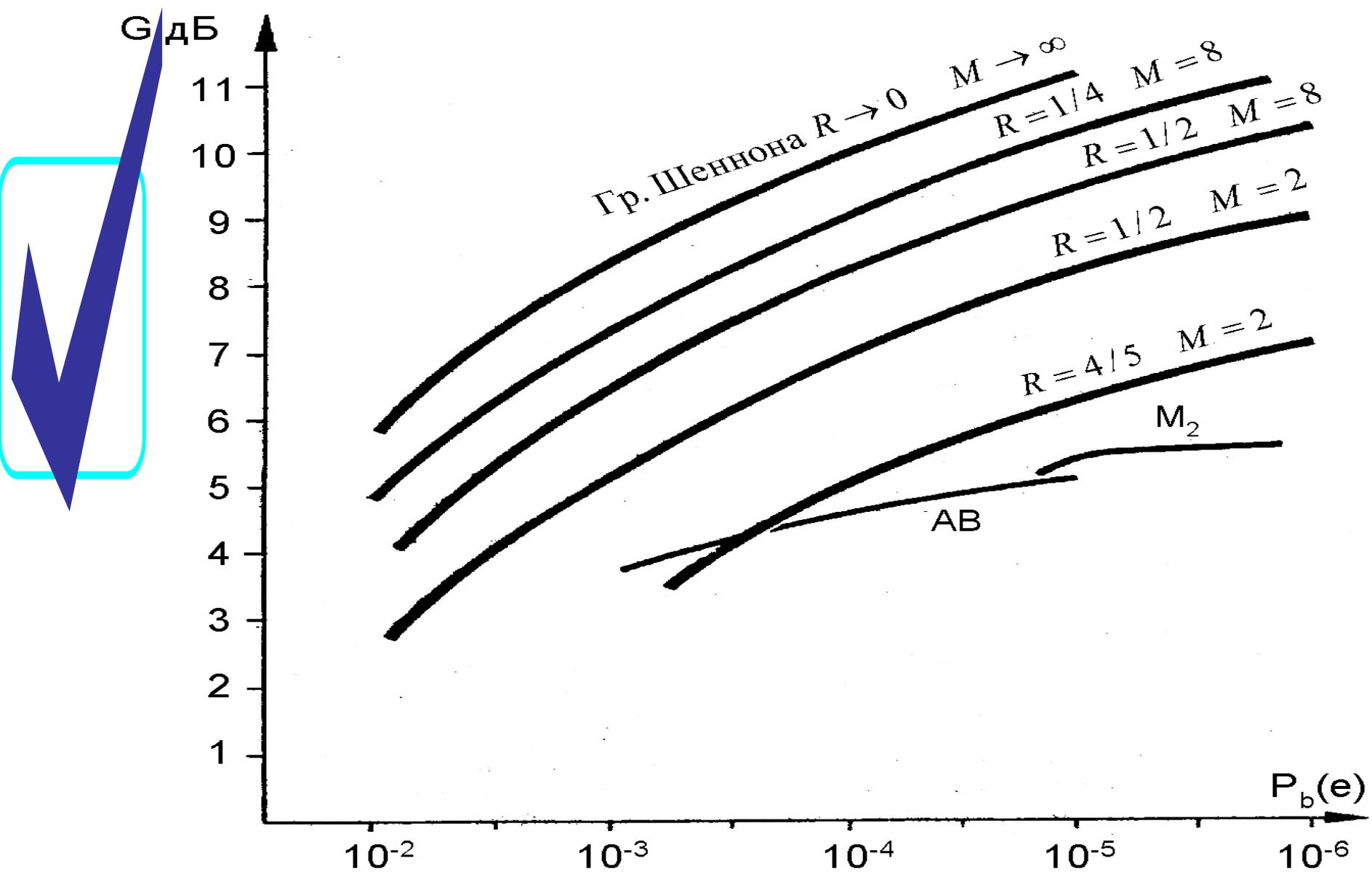
- Проф. Берлекэмп (США) указал в 1980г. в обзоре, опубликованном в ТИИЭР:

**“ Это - энергетический выигрыш! -
ЭВК”,**

- мера эффекта увеличения энергии сигнала ,
оцениваемая тогда как ~\$1 миллион на 1 дБ ЭВК.

- Теперь это ещё более важно.
- { См. обзоры на наших веб-сайтах ИКИ РАН www.mtdbest.iki.rssi.ru и РГРТУ www.mtdbest.ru }
- Сейчас каждый дополнительный 1 дБ ЭВК даёт в больших сетях экономический эффект в сотни миллионов долларов!
- Это - размеры антенн, скорость, надёжность и дальность связи

Предельный ЭВК из условия $R < C$



Аппаратная реализация МПД на ПЛИС

- 1. МПД состоит почти полностью из регистров сдвига - самых быстрых и компактных элементов ПЛИС и БИС.**
- 2. Запатентованы МПД декодеры с теоретически максимальным аппаратным быстродействием**



Основное ограничение теории информации для кодирования (К.Шенон)

- Всегда должно выполняться условие

$$\underline{R < C !}$$

- - Кодовая скорость меньше пропускной способности канала

- Тогда возможна передача цифровой информации со сколь угодно малой вероятностью ошибки, если длина блока данных будет достаточно велика.
- С этого результата началась теория помехоустойчивого кодирования

Применение наиболее мощных систем кодирования канала и источника

- 1. **Кодирование канала.**

Повышает достоверность передачи данных на $2 \div 9$ десятичных порядков, для чего требуется достижение **ЭВК~8÷15 дБ**

- 2. **Кодирование источника.**

Достигается сжатие данных в 2-5 и более раз.

- 3. **Общий итоговый энергетический выигрыш от применения методов теории информации - до 40÷80 раз!**

Применение наиболее мощных систем кодирования канала и источника

- 1. Кодирование канала.

Повышает достоверность передачи данных на 2-9 десятичных порядков,

ЭВК~8-15 дБ

- 2. Кодирование источника.

Достигается сжатие данных в 2-5 и более раз.

- 3. Общий итоговый энергетический выигрыш от применения методов теории информации - **до 40 - 80 раз !**

Главные проблемы техники кодирования

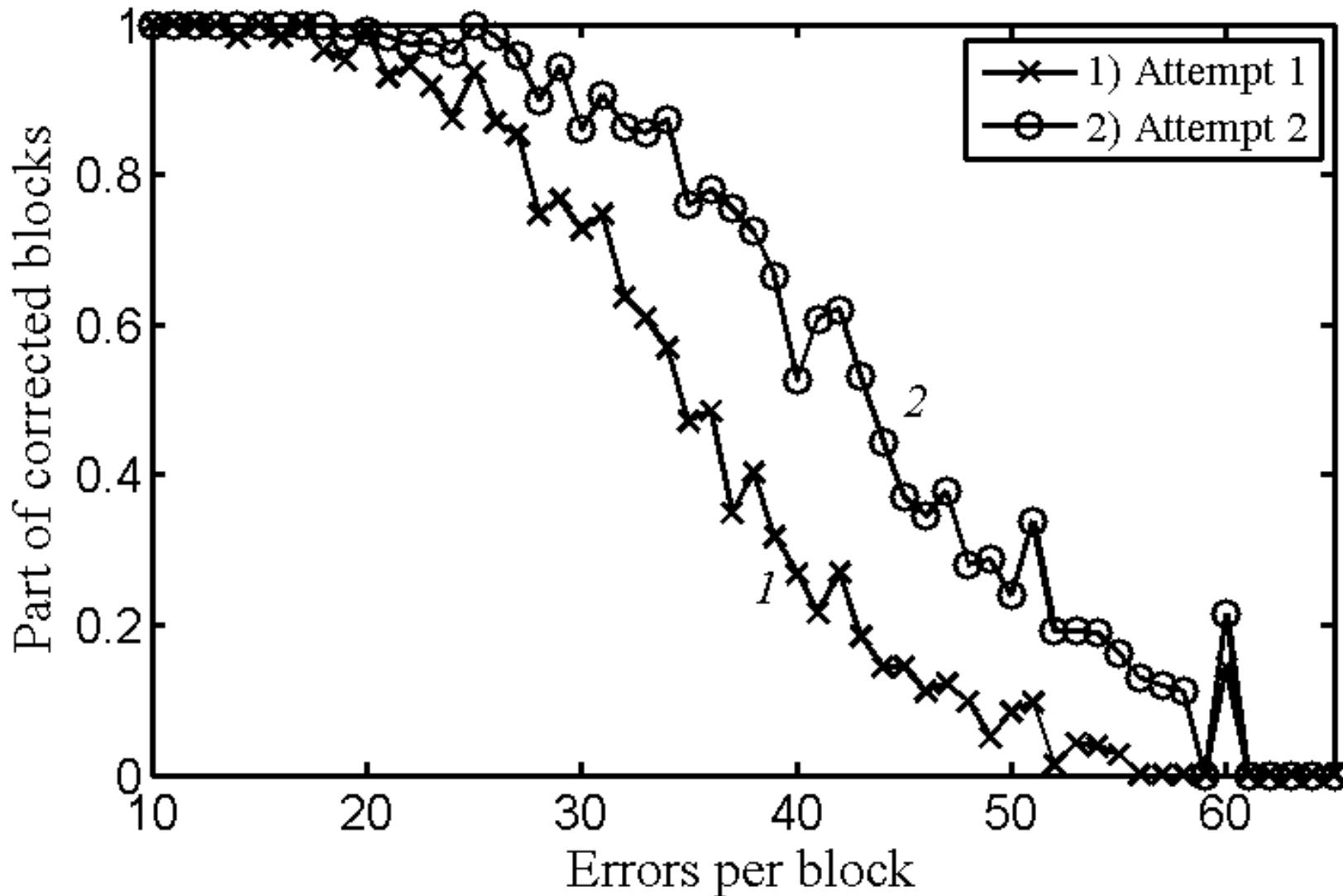
- 1. Декодирование – проще!
 - 2. Достоверность – выше!
 - 3. К.п.д. каналов – больше!
- Как всего этого достичь?**

**На основе оптимизационной
теории и многопороговых
декодеров (МПД) !!!**



Repeated threshold decoding

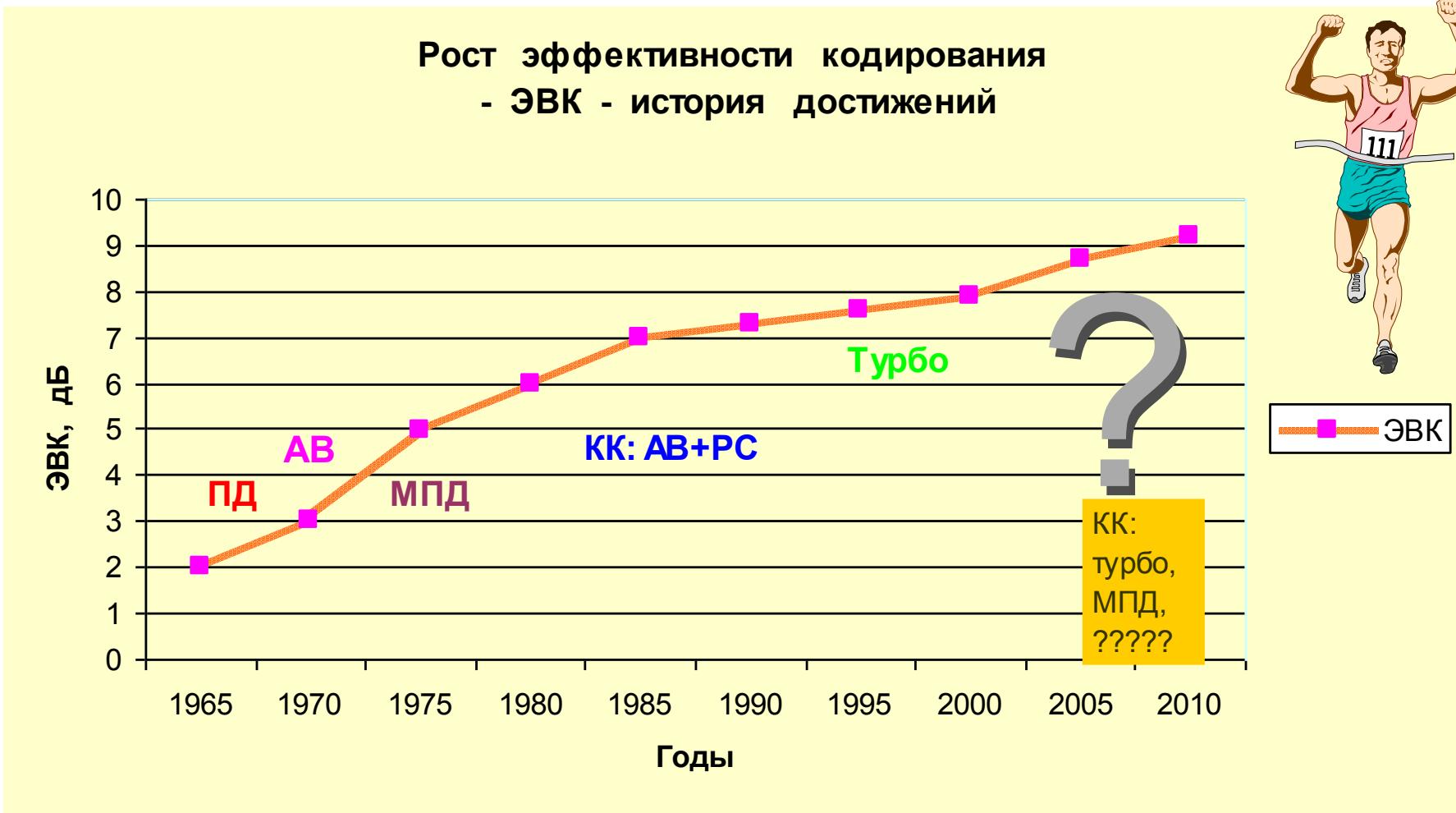
$d=11, R=1/2$



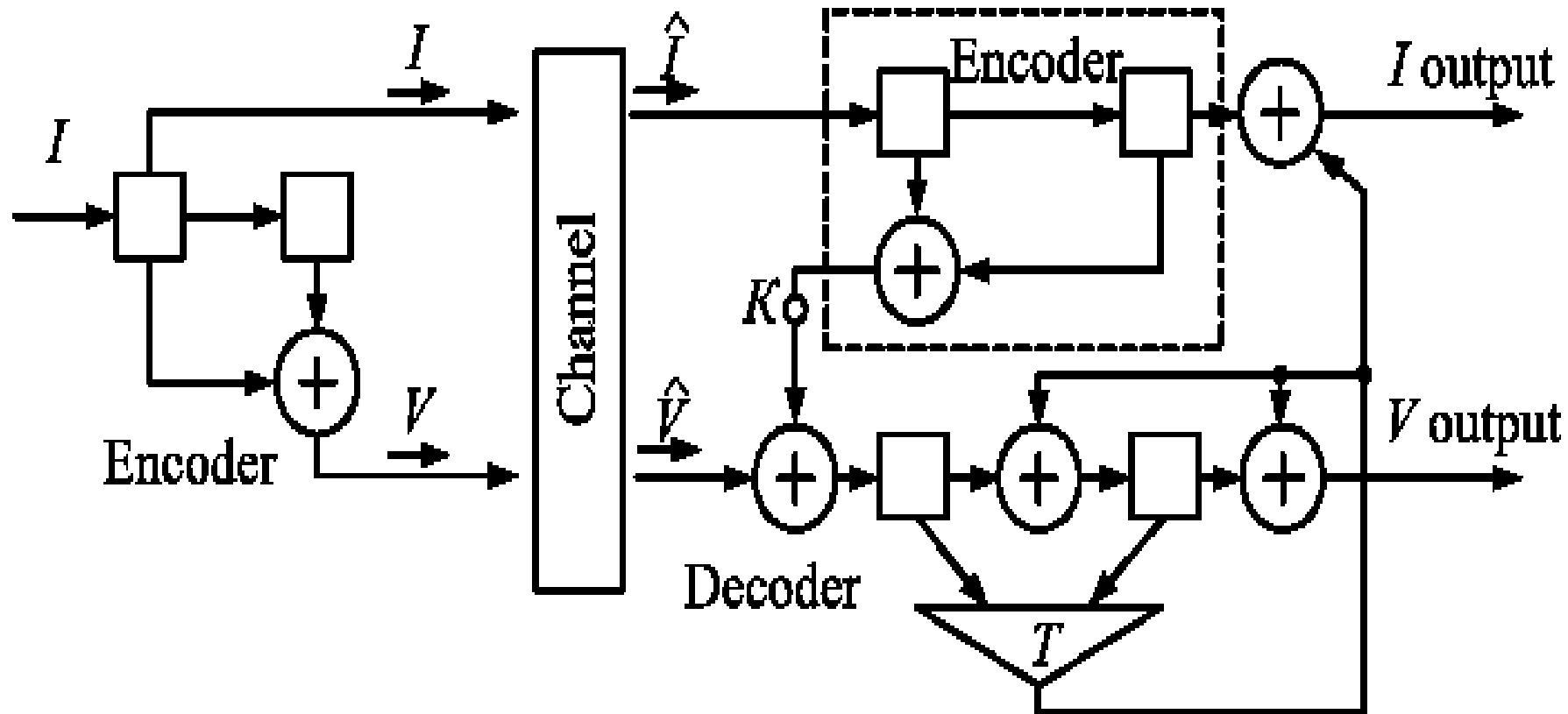
Что будем использовать?

-Наиболее простые и эффективные методы

!!!



Main idea of the syndrome entity



Обновление главной парадигмы теории кодирования

Сложность алгоритмов декодирования

