

***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 именно для цифровых систем передачи и хранения данных.

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

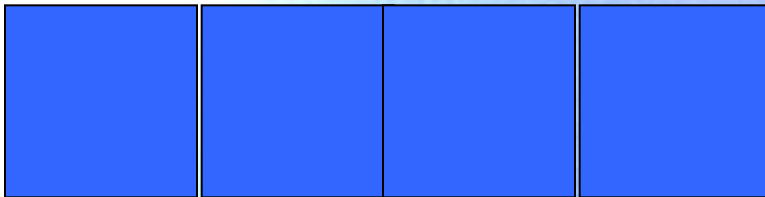
Их решение достигается на основе теории информации и её важнейшего раздела:

Теории
помехоустойчивого кодирования

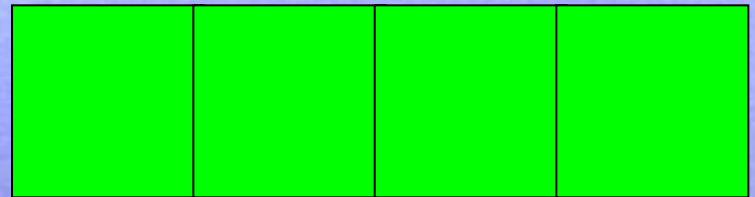
Кодирование - это введение избыточности

К - информация

r - избыточные символы



+



$n=k+r$ - длина блока

$R=k/n < 1$ -

кодovая скорость

Кодировать проще!!!

Пример

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

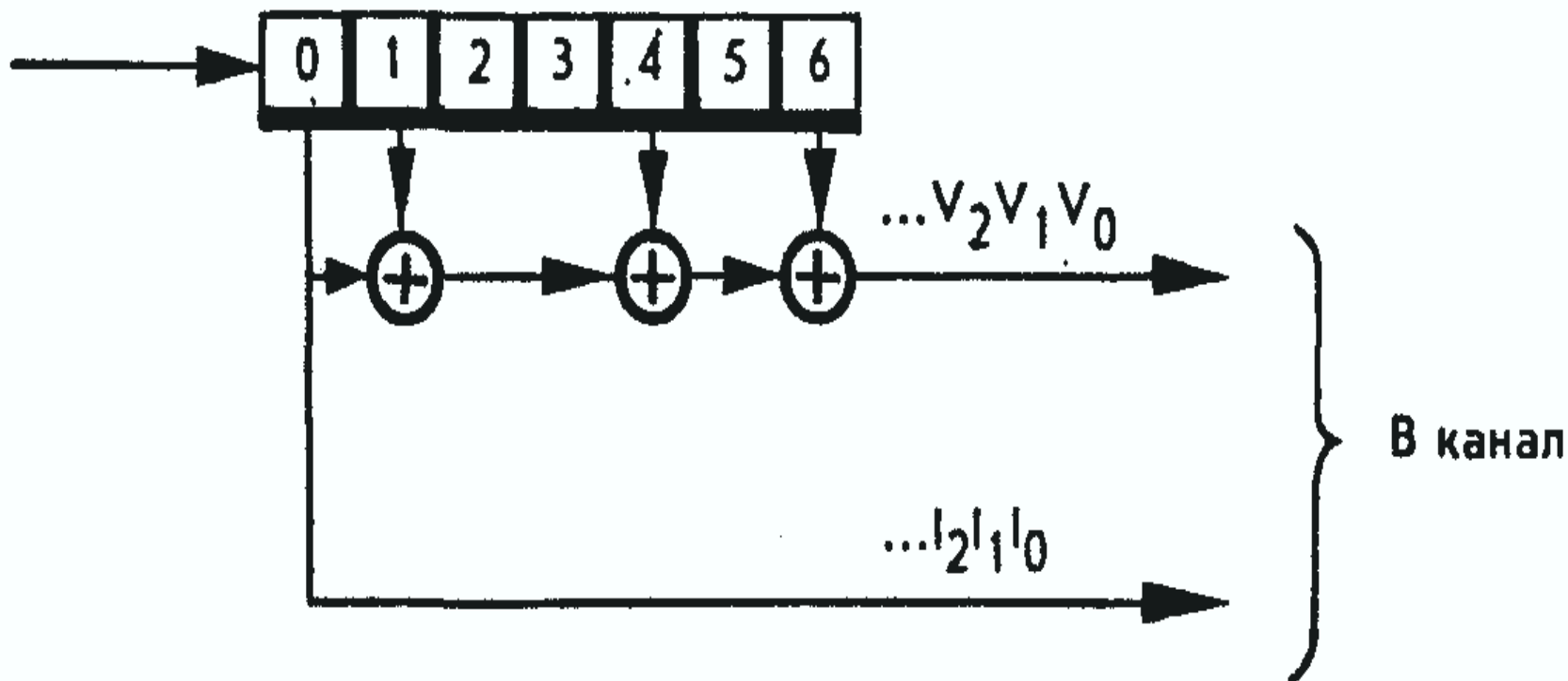


Рис.4,б. Кодер сверточного кода

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:

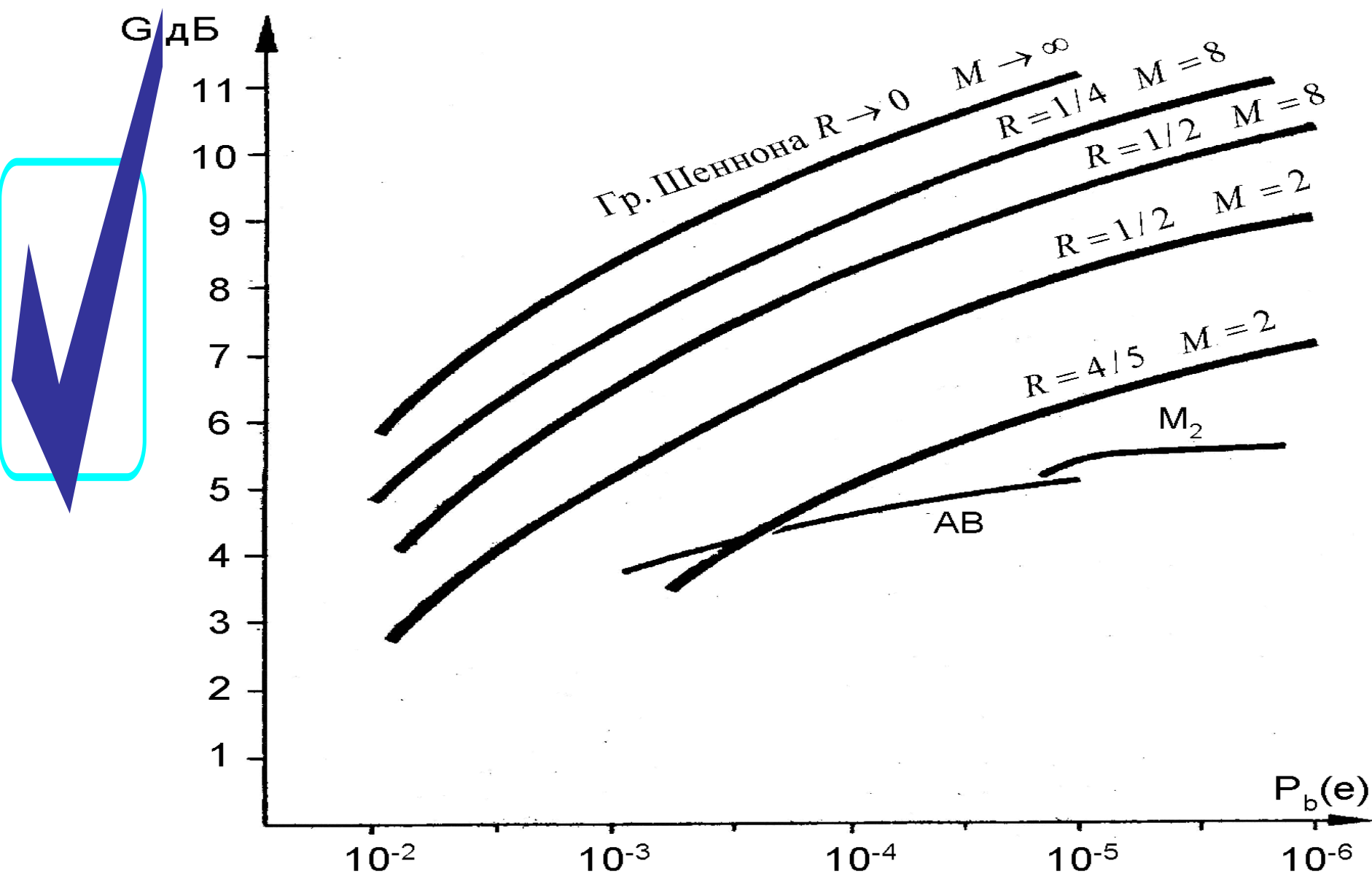
При меньшей энергетике канала E_b/N_0

– Максимально быстро – аппаратно

– Минимально просто - программно

– Почти абсолютно достоверно!

Предельный ЭВК из условия $R < C$



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

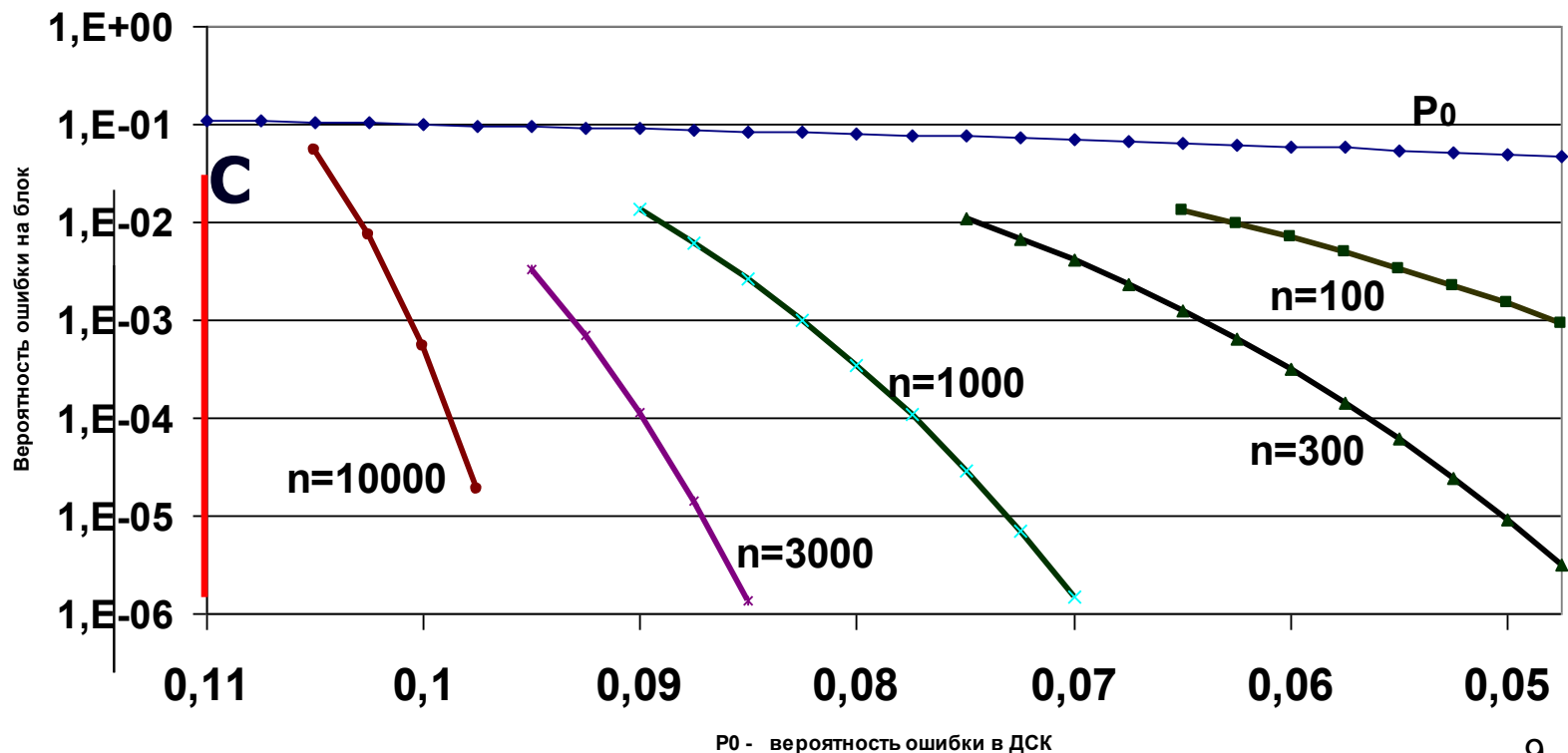
Даже коды длины $n=1000$ неэффективны при вероятности
ошибки в канале $P_0 > 0.08$. А теория-то утверждает,
что можно успешно работать при $P_0 < 0.11$!!!

И это при 2^{500} вариантах!

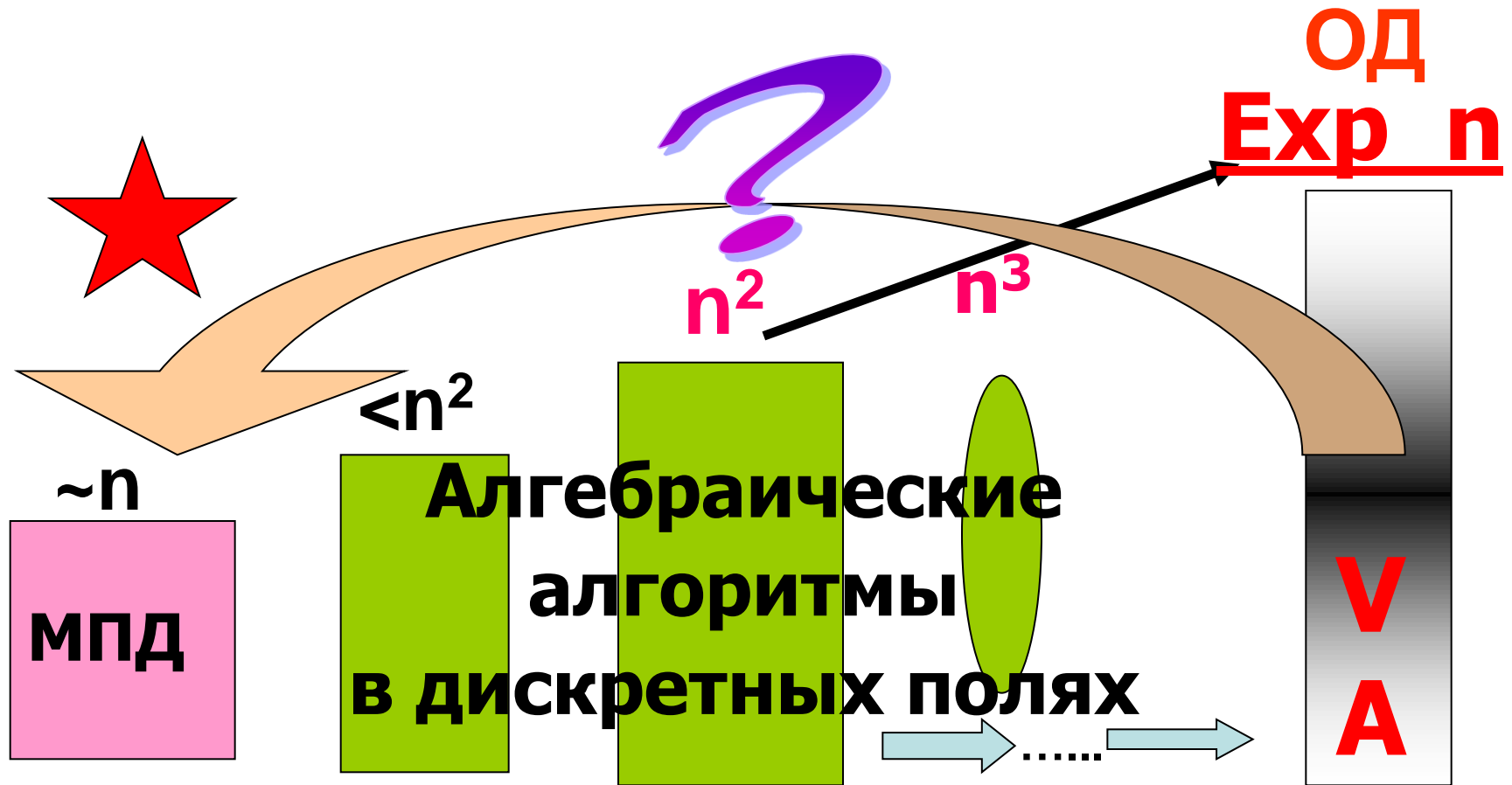
2^n



2^k

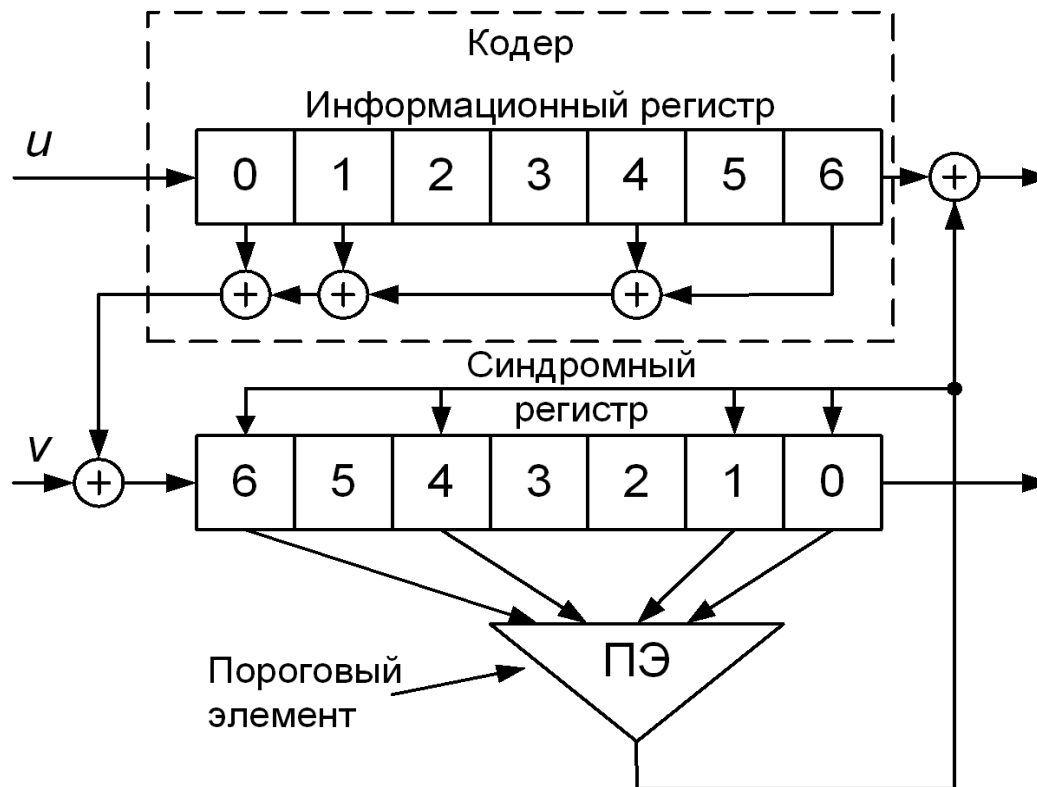


Обновление главной парадигмы Оптимизационной Теории помехоустойчивого кодирования

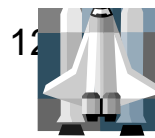
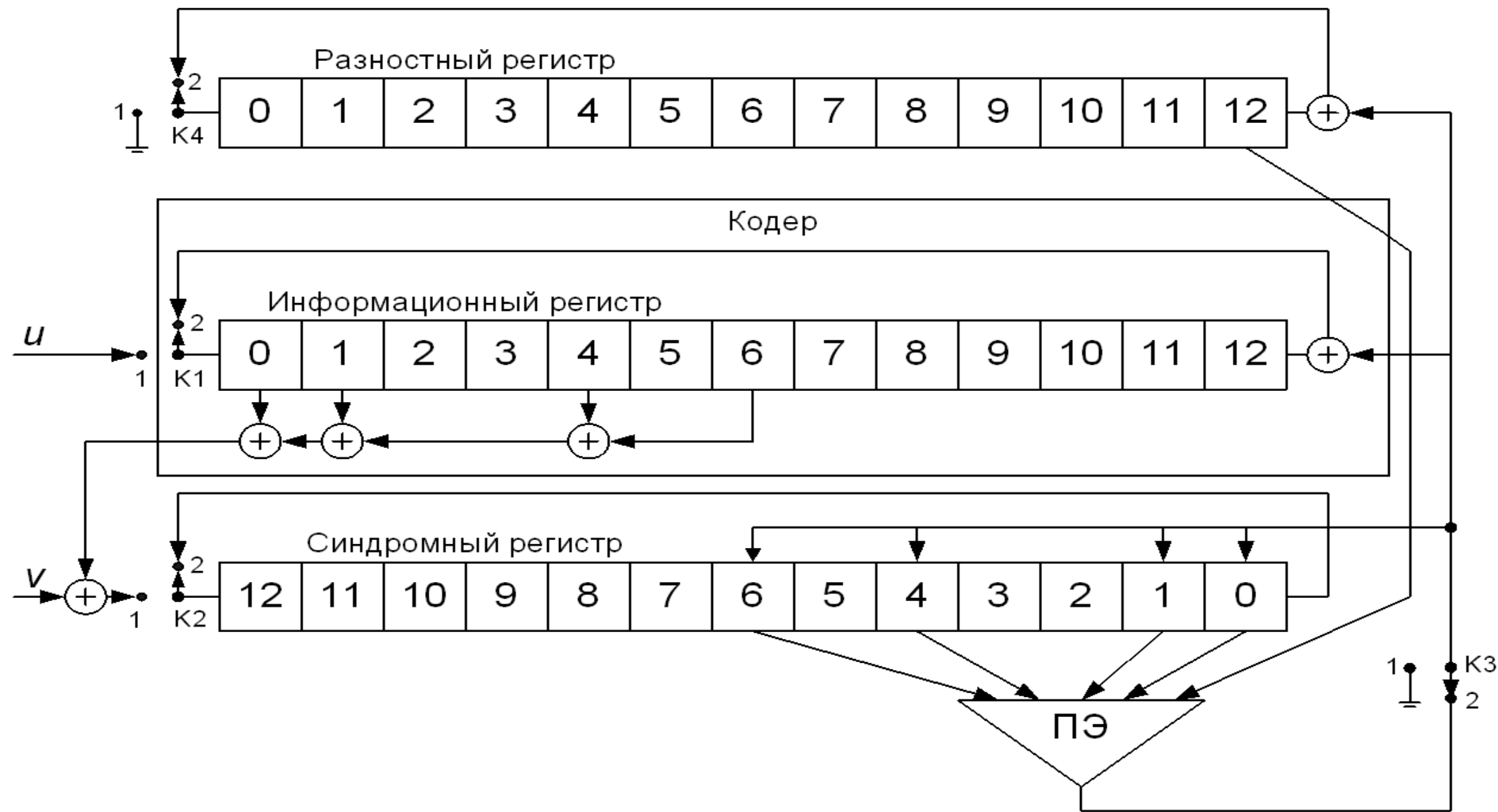


Сложность алгоритмов декодирования

Исходный метод: пороговое декодирование – простейший метод коррекции ошибок

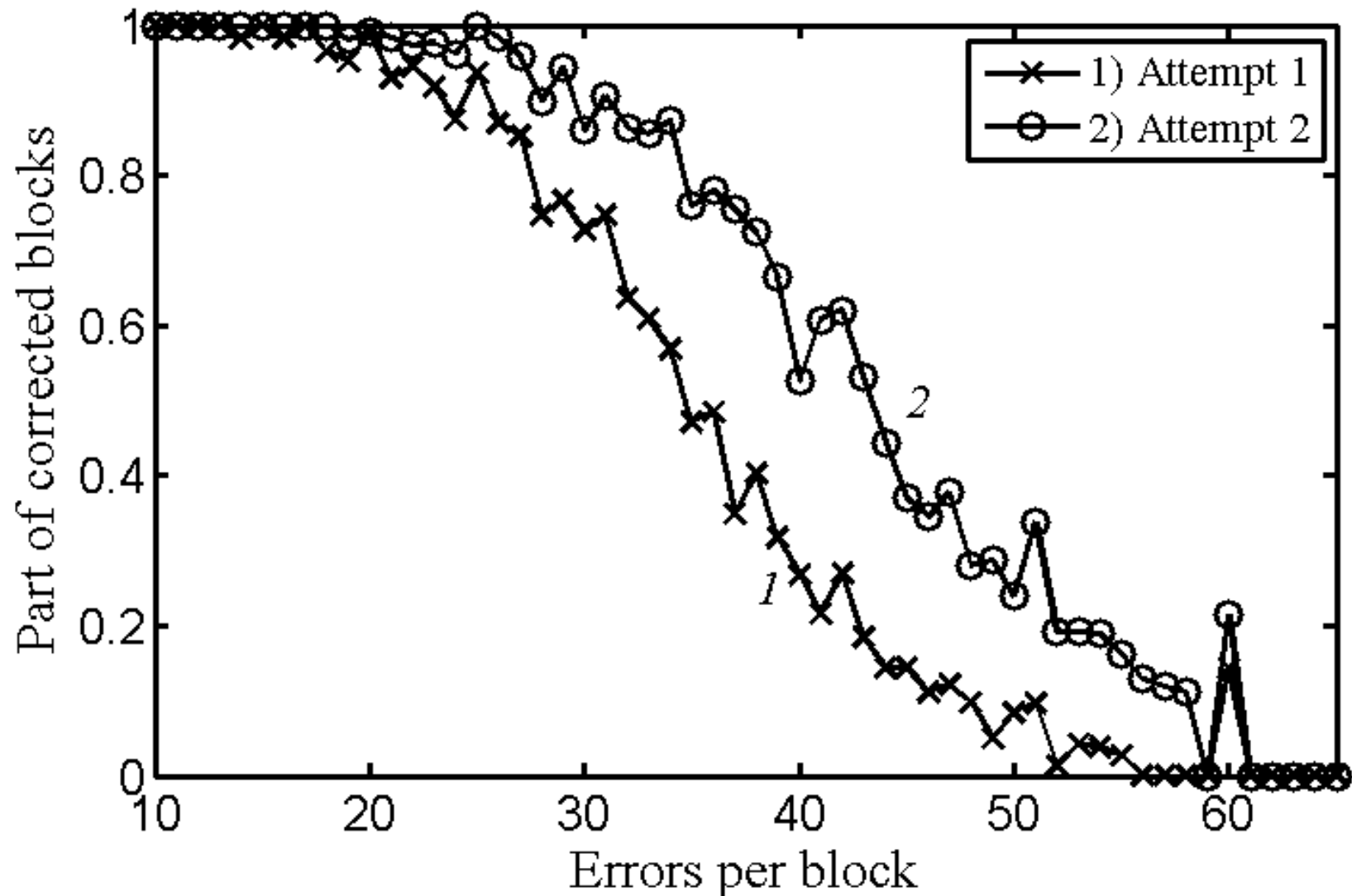


Блочный многопороговый декодер для кода с $R=1/2$, $d=5$ и n итерациями



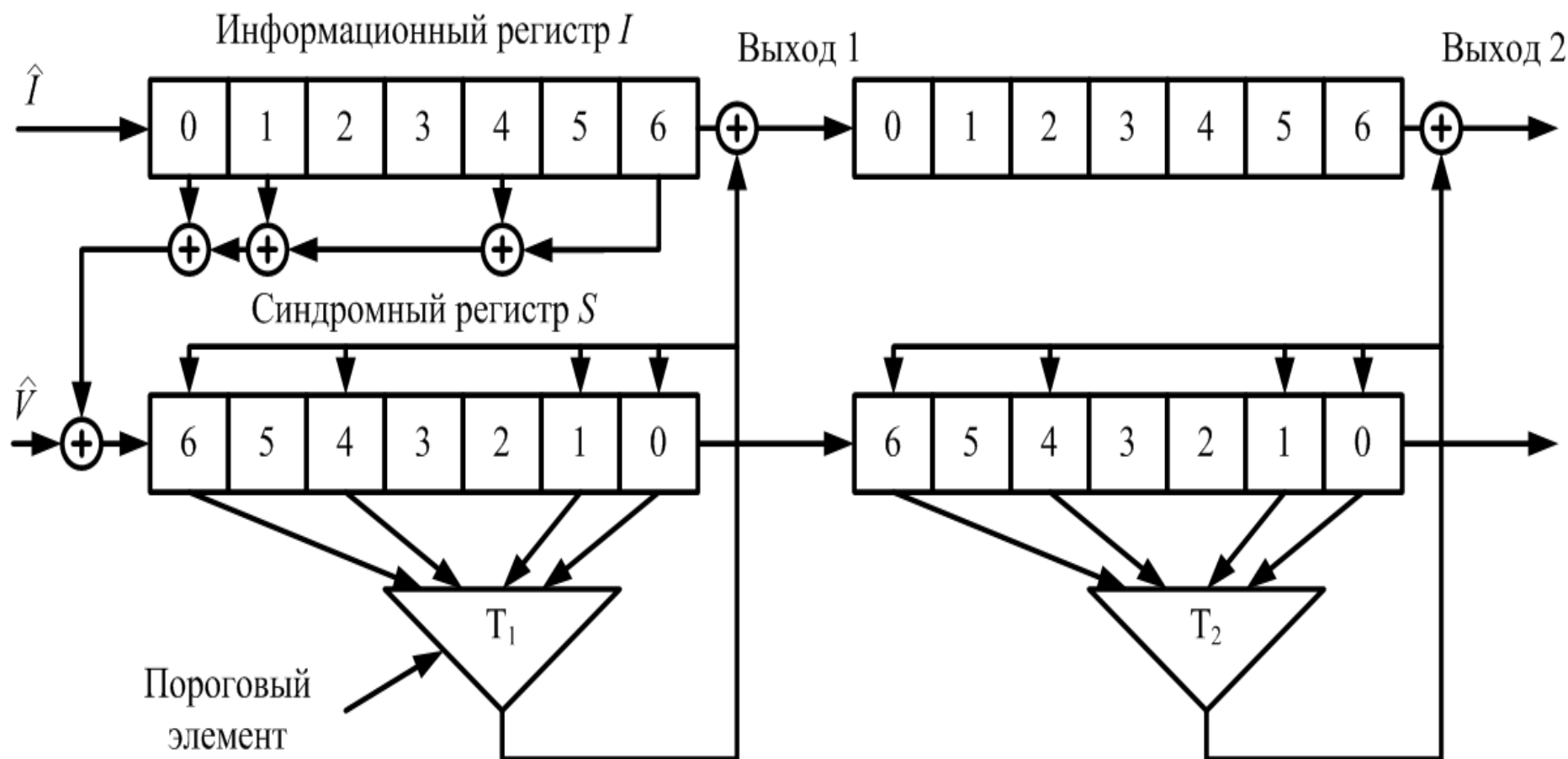
Repeated threshold decoding

$d=11, R=1/2$

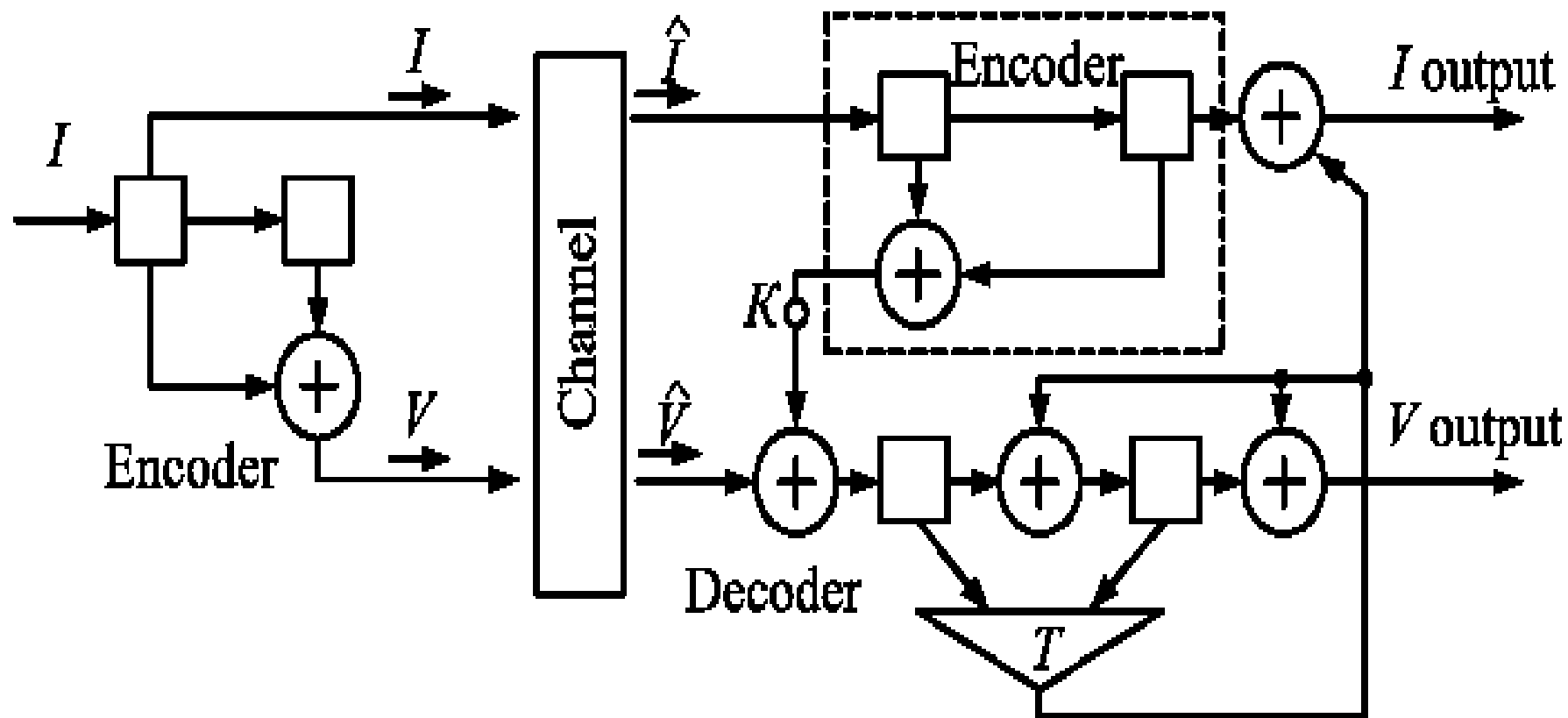


Пороговое повторное декодирование свёрточного кода с $R=1/2$, $d=5$ и $n_A=14$.

Это – слабо!



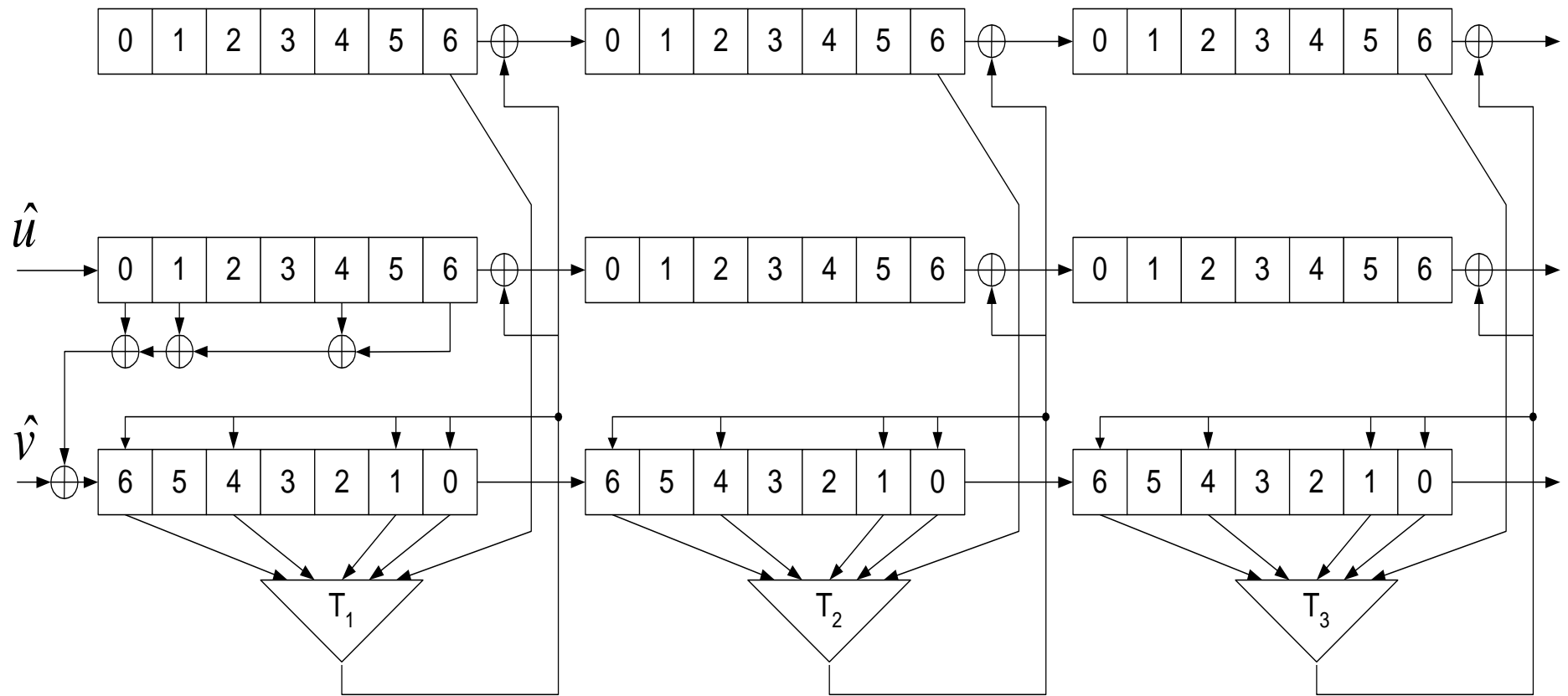
Main idea of the syndrome entity



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

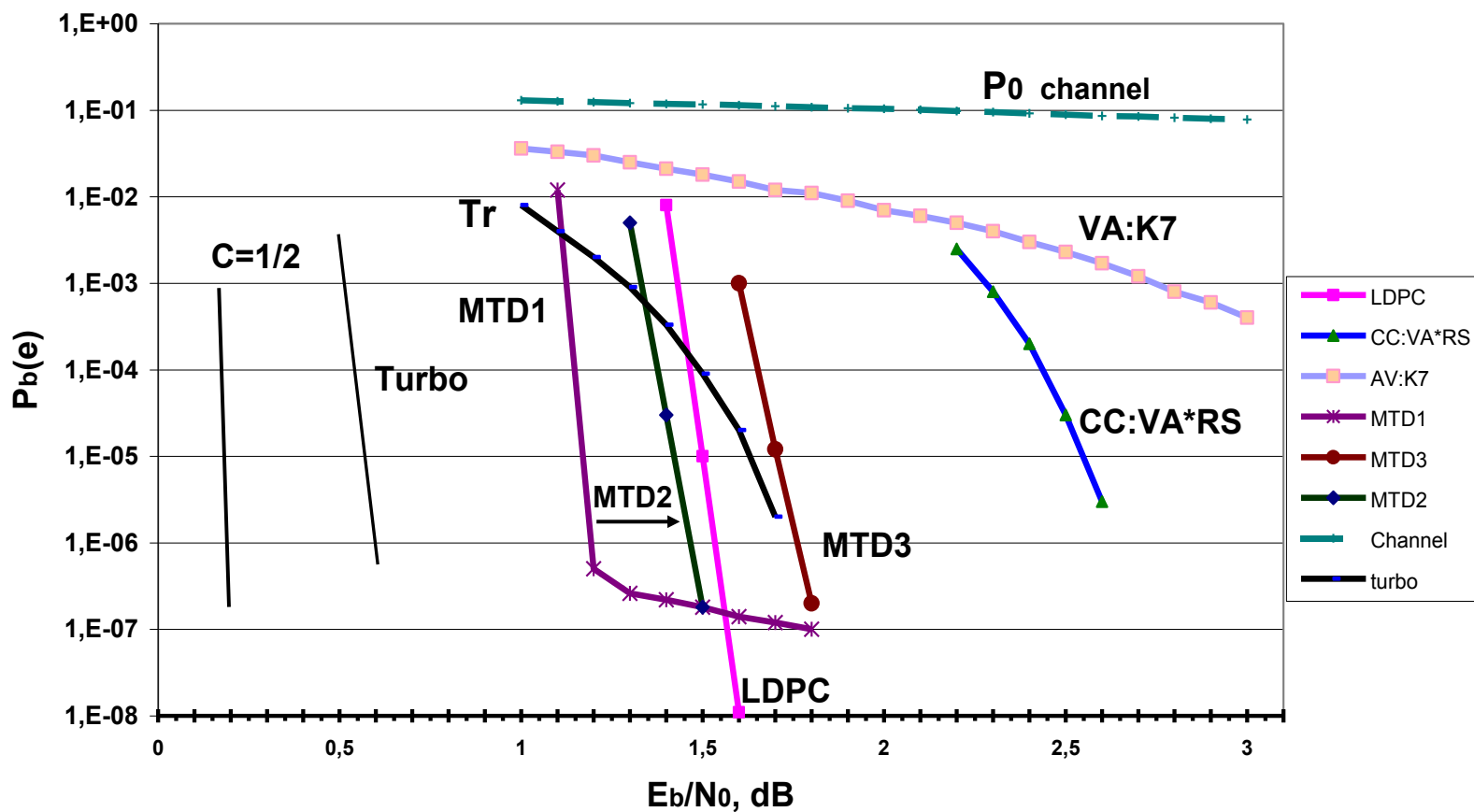
Оптимизационная теория

- **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.

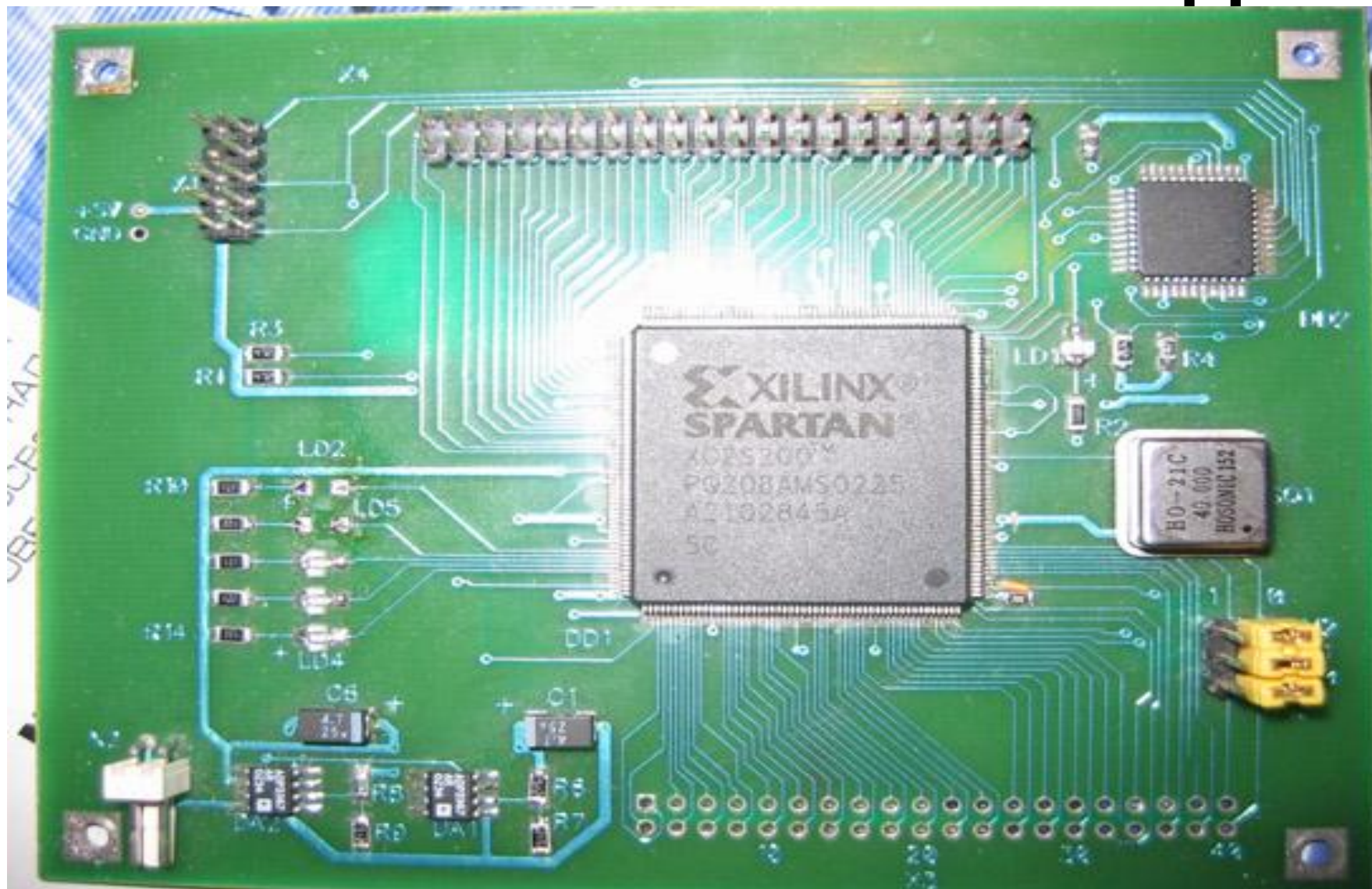


Характеристики методов декодирования в гауссовских каналах

Performance of AV, new MTD and other decoders



Чипсет МПД декодера на ПЛИС Xilinx - НИИ Радио



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

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**

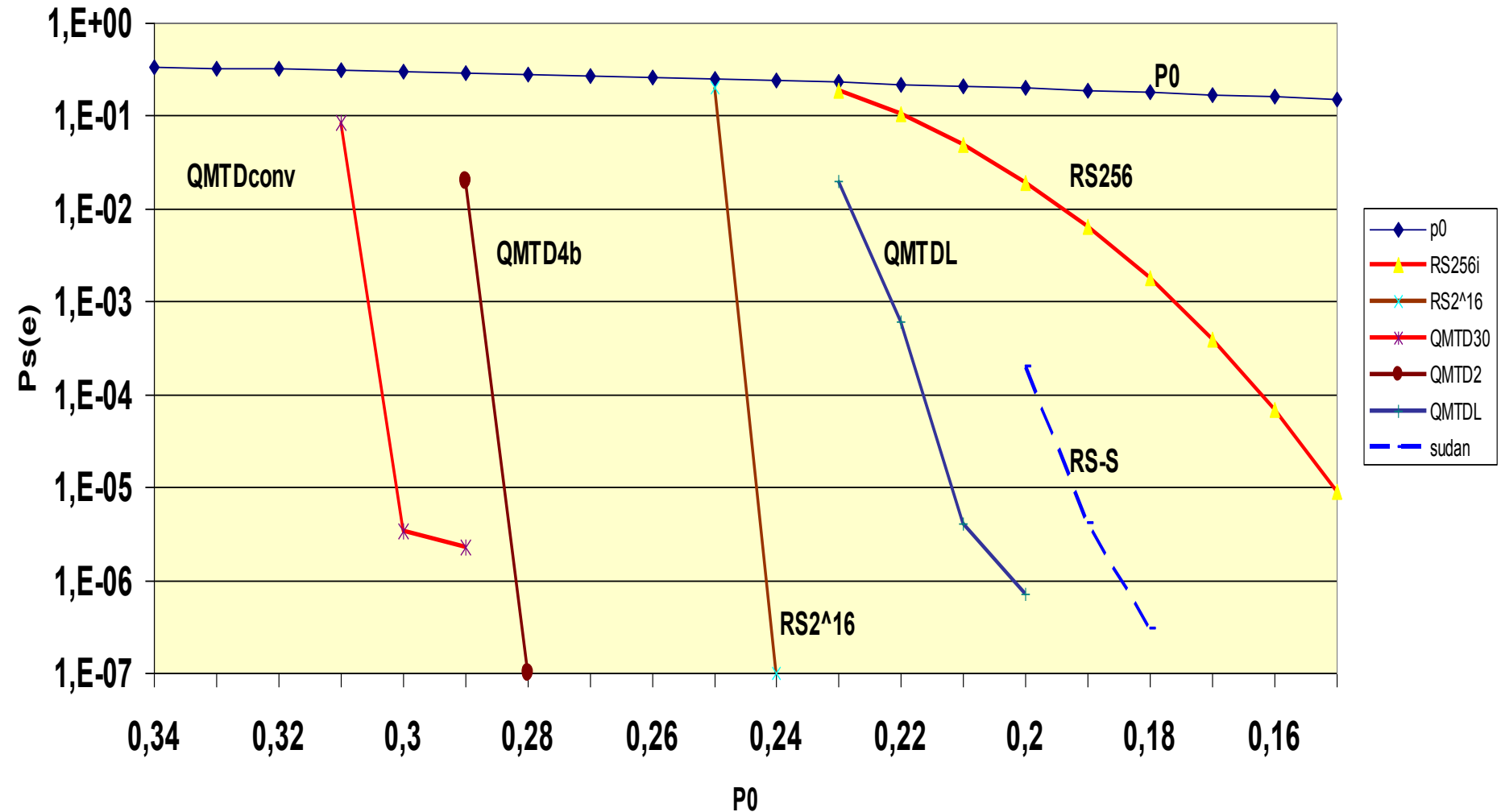


ИКИ

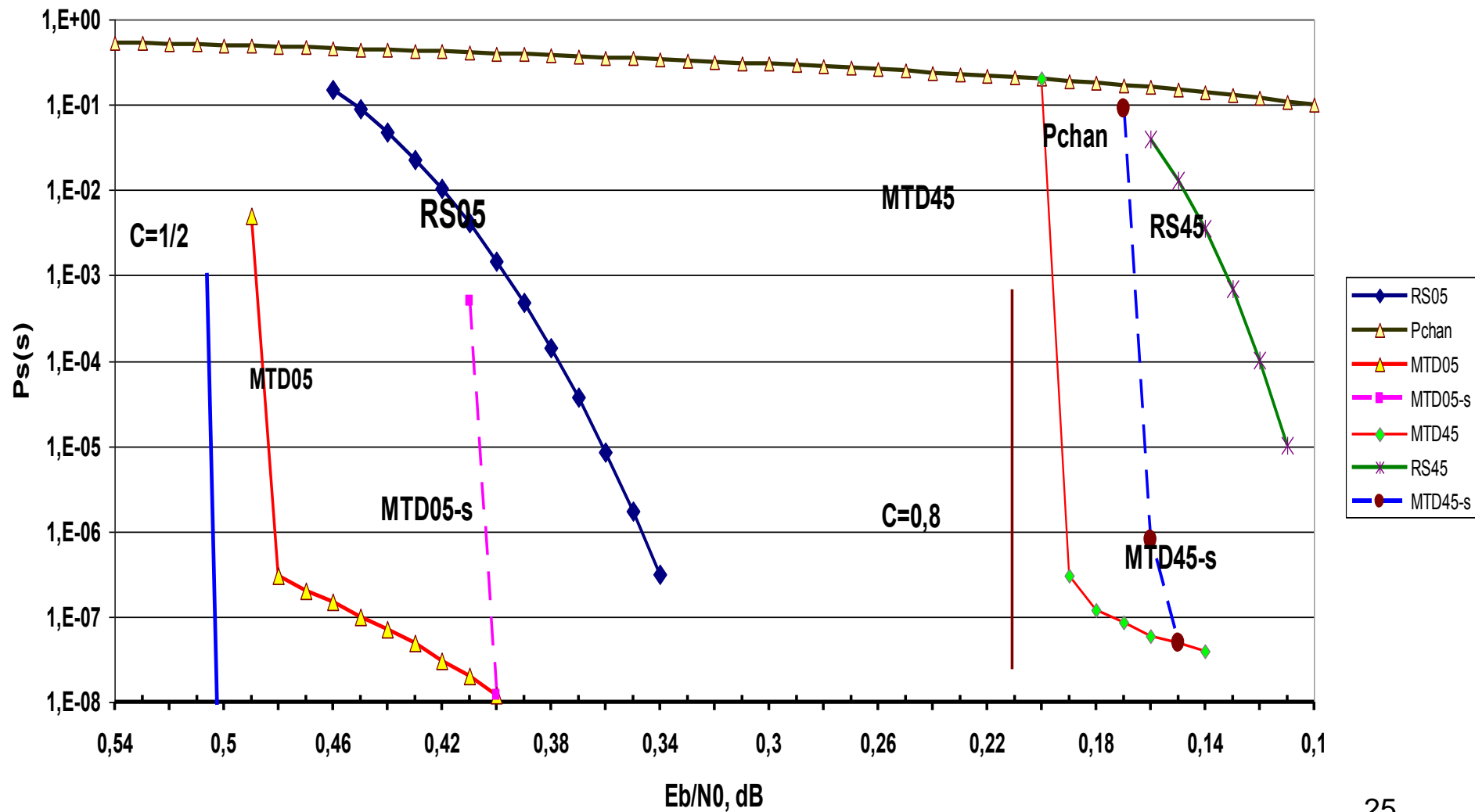
РАН

МД для космоса, оптических каналов и флеш-памяти

Performance QMTD and codes RS



Характеристики МПД и кодов РС в каналах со стираниями



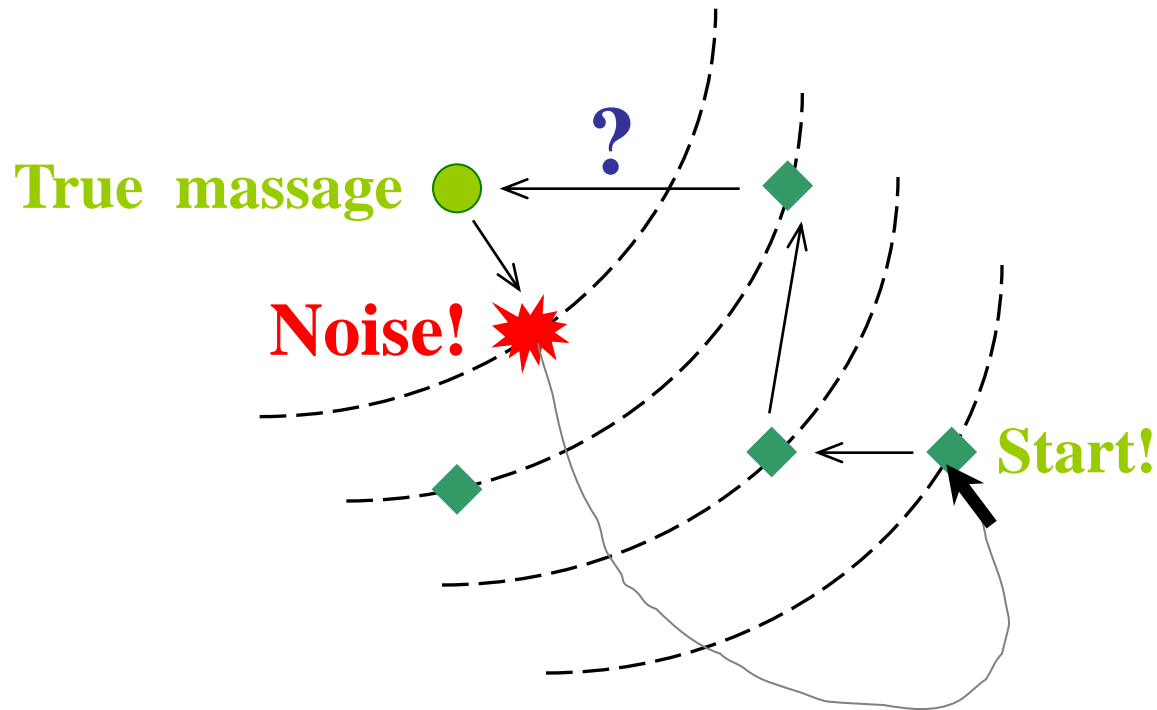
Объём покрытия ОТ - основные кодовые кластеры

- 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 блочных кодов: $L \sim 2^{En}$

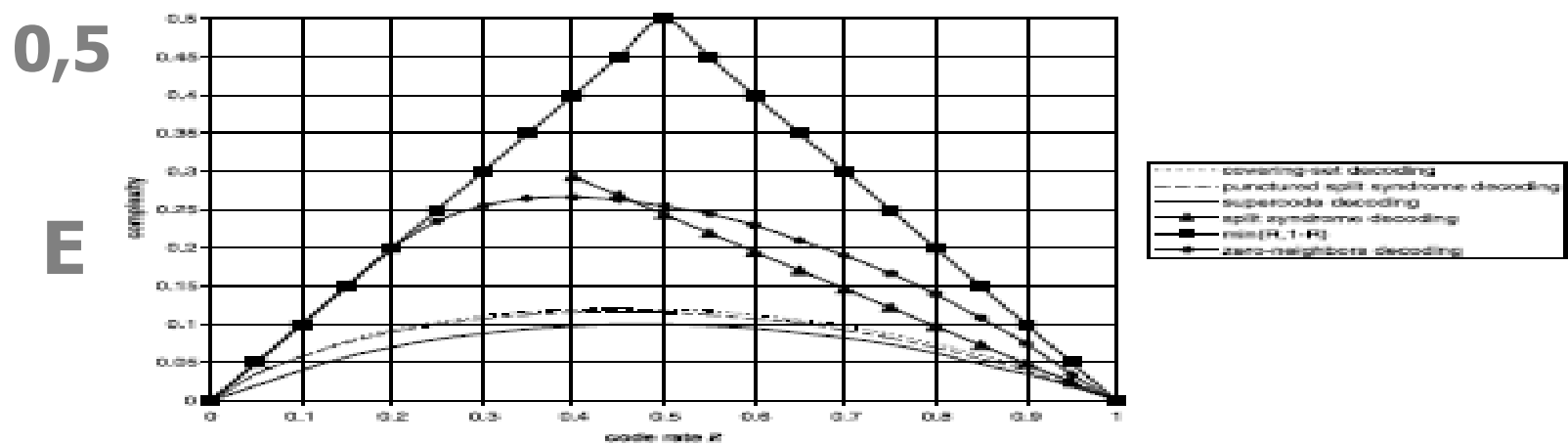


Figure 3.1 Complexity of the hard-decision decoding algorithms for binary codes

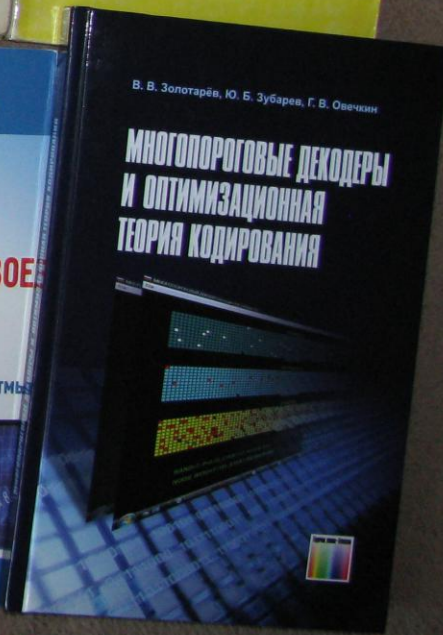
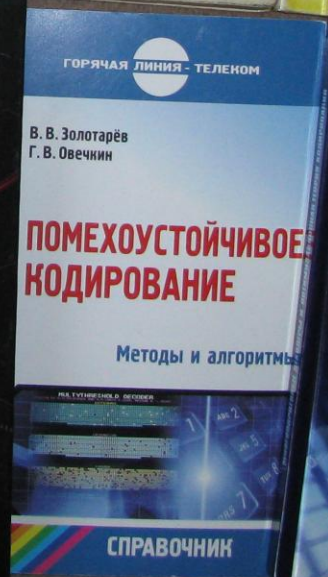
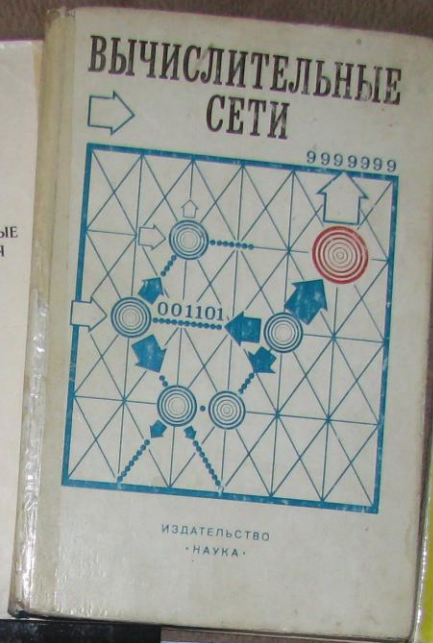
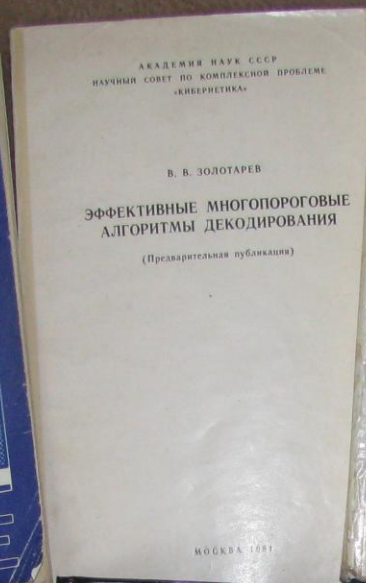
Сложность АВ порядка $2^{2 \cdot K}$ тоже хороша?! - Обычно 2^K . Почему это возможно?

K=10

K=20

n=200





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ
ЗНАКАМ



НАГРАЖДАЕТСЯ

ФГБУН Институт космических исследований РАН
за разработку «Многopoppogовый декодер
помехоустойчивых кодов для каналов спутниковой
и космической связи с большим уровнем шума»

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL
PROPERTY, PATENTS
AND TRADEMARKS



СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ
АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 492878

На основании полномочий, предоставленных Правительством СССР,
Государственный комитет Совета Министров СССР по делам
изобретений и открытий выдал настоящее авторское свидетельство
ЗОЛОТАРЕВ Валерий Владимировичу

за изобретение
"Устройство для декодирования линейных свер-
точных кодов"

в соответствии с описанием изобретения и приведенной в нем формулой,
по заявке № 1816498 с приоритетом от 31 июля 1972 г.
заявитель изобретения: Институт космических исследований Академии
Наук СССР (Институт космических исследований)



«АРХИМЕД-2012»

ДИПЛОМ

Решением Международного Жюри
награждается

ЗОЛОТОЙ МЕДАЛЬЮ

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

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ
НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ
№ 73569

УСТРОЙСТВО МНОГООУРОВНЕВОВОГО
МАЖОРИТАРНОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ
КОДОВ

Патентообладатель(и): Золотарев Валерий Владимирович
(RU), Дмитриева Татьяна Александровна (RU)

Автор(ы): Золотарев Валерий Владимирович (RU),
Дмитриева Татьяна Александровна (RU)

Заявка № 2007141627

Приоритет заявлен от 13 ноября 2007 г.
Зарегистрировано в Государственном реестре интеллектуальной
собственности Российской Федерации 20 мая 2008 г.
Срок действия патента истекнет 13 ноября 2017 г.



В.И. Савин

В.И. Савин

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ
НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2377722

СПОСОБ ДЕКОДИРОВАНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО
КОДА

Патентообладатель(и): Золотарев Валерий Владимирович (RU)

Автор(ы): Золотарев Валерий Владимирович (RU)

Заявка № 2007123269

Приоритет изобретения: 21 ноября 2007 г.
Зарегистрировано в Государственном реестре
интеллектуальной собственности Российской Федерации 27 декабря 2009 г.
Срок действия патента истекнет 21 ноября 2027 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам

В.И. Савин

В.И. Савин

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
об официальной регистрации программы для ЭВМ
№ 2005611304

"Имитатор цифрового канала передачи данных"
(ChannelSim)

Правообладатель(и): Золотарев Валерий Владимирович (RU),
Овечкин Геннадий Владимирович (RU)

Автор(ы): Золотарев Валерий Владимирович,
Овечкин Геннадий Владимирович (RU)

Заявка № 2005610719

Дата поступления: 12 апреля 2005 г.
Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
31 мая 2005 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам

В.И. Савин

В.И. Савин

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

Основополагающие патенты

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

**Медаль Евросоюза (ЕС)
«За исключительные достижения»,
вручаемая 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. Зезюлин

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

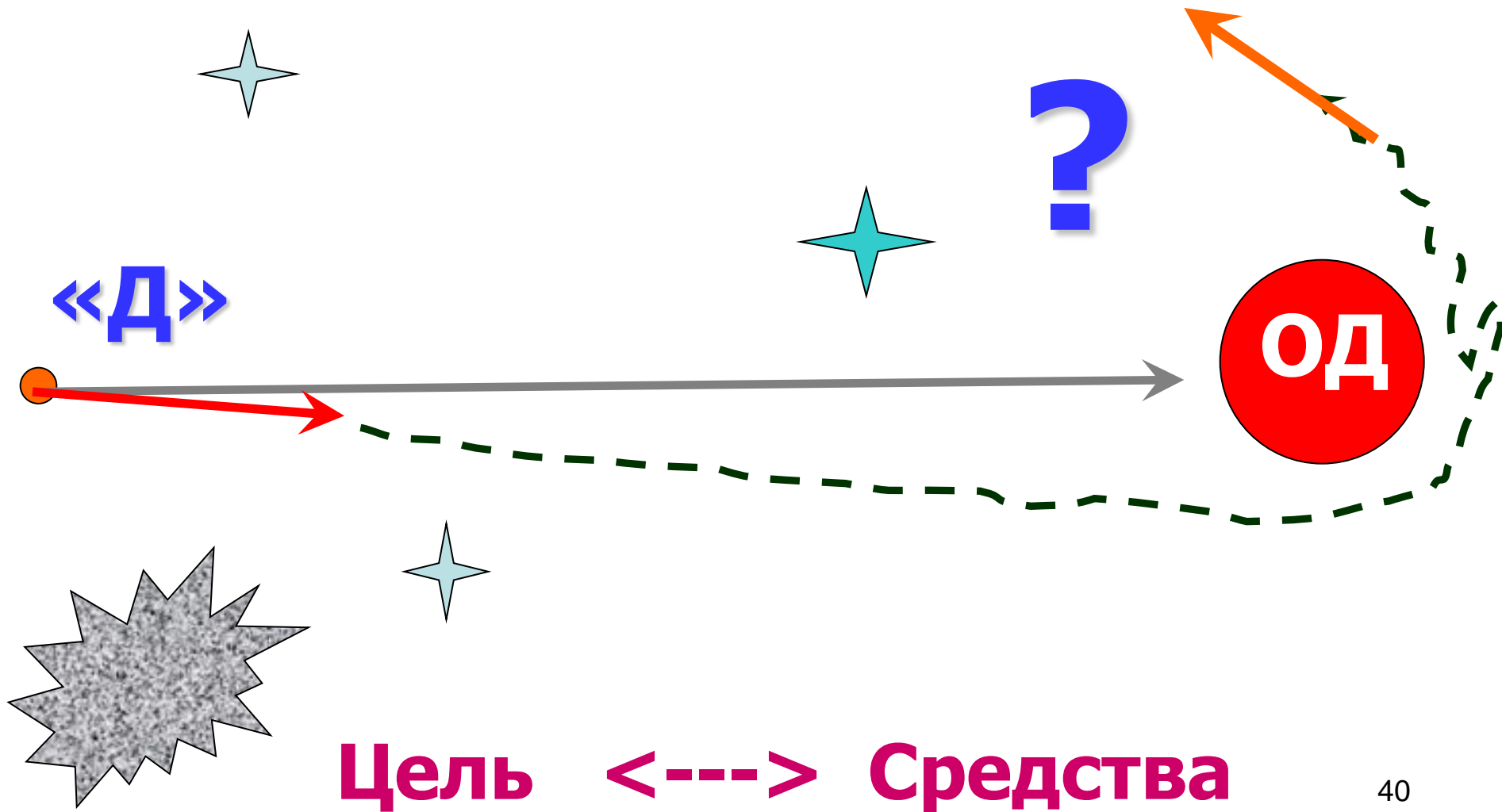
Jeneva, 2015



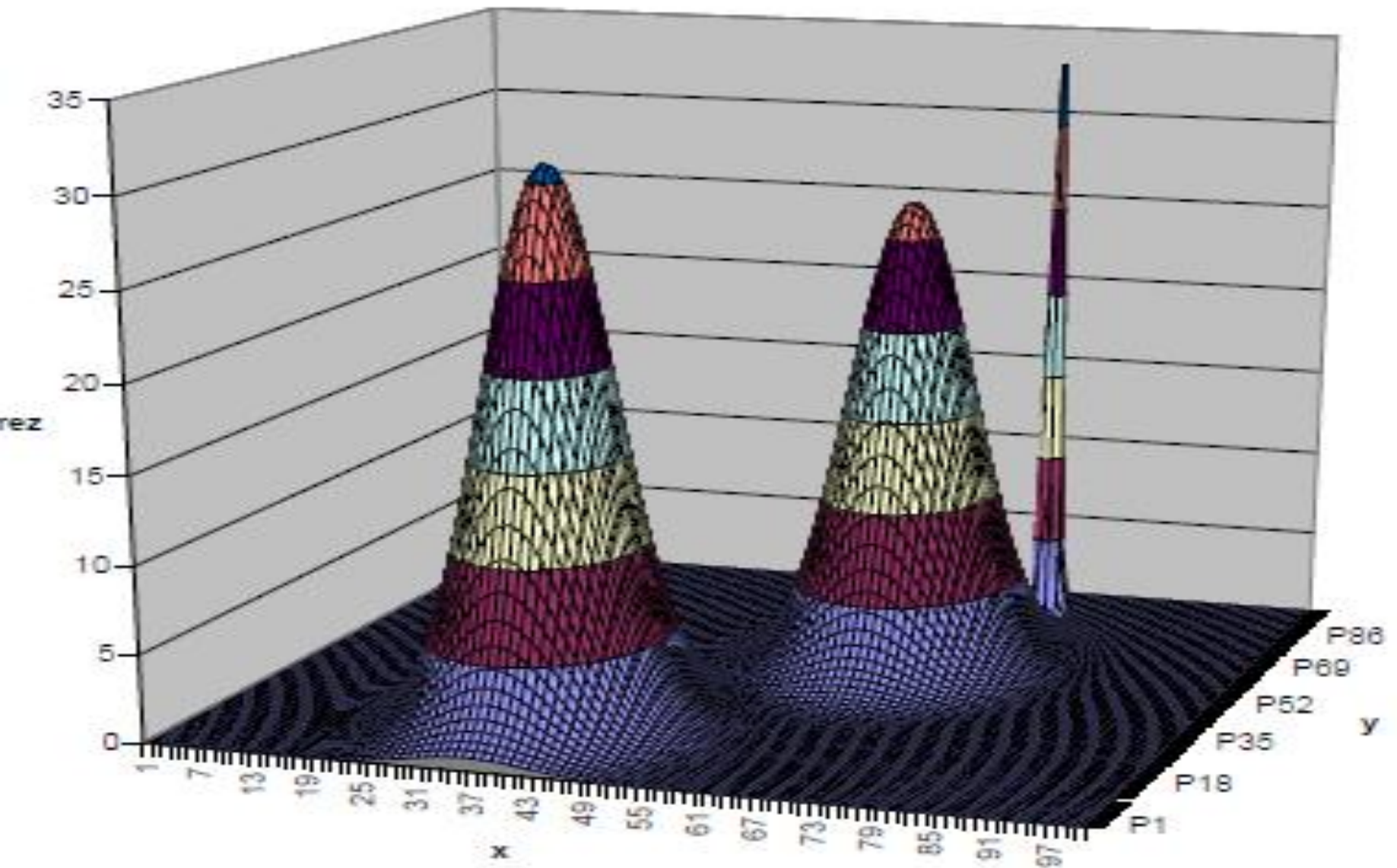
Общая идеология ОТ

- 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

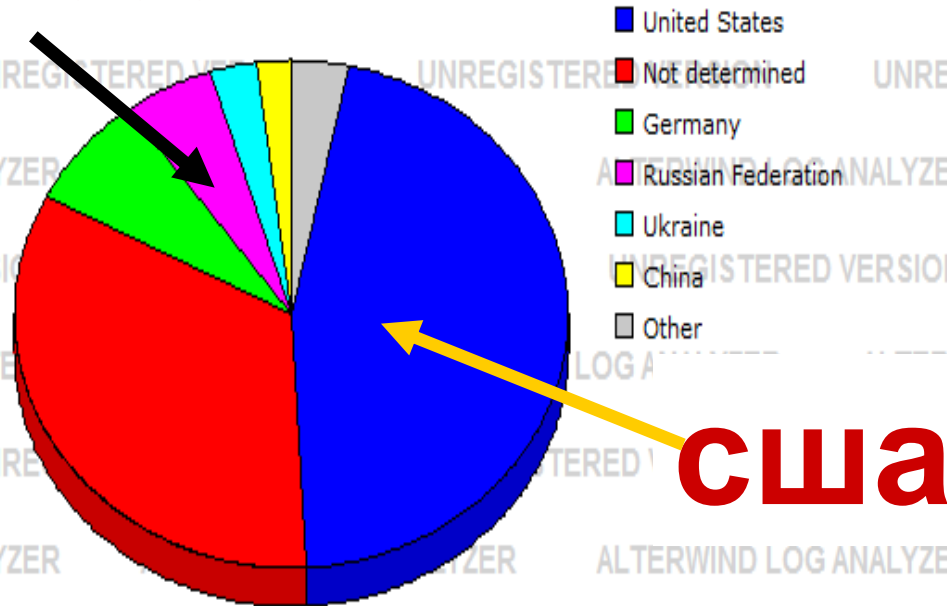
www.mtdbest.ru

www.mtdbest.iki.rssi.ru

**2016 год - более 105 тыс. читателей
наших порталах из 94 стран мира**

**За
на**

Россия



сша

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%

История важнейших открытий 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</u>	<u>- 2012</u>
<u>теория</u>	

Первый патент по оптимизации

Союз Советских
Социалистических
Республик



Государственный комитет
Совета Министров СССР
по делам изобретений
и открытий

О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 492878

(61) Дополнительное к авт. свид-ву —

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

с присоединением заявки № —

(51) М. Кл. G 06 f 11/08

(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

(34) 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.
- Оптимизационная 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 кодирования на основе 15 патентов и четырёх открытий в теории кодирования МПД алгоритмы выполняют 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 класте-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 **непосред-ственно вблизи**
пропускной способности C 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: zolotasd@yandex.ru

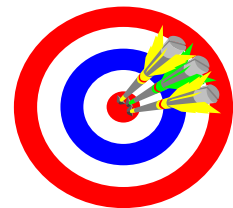
МОБ.: **+7-916-518-86-28**

g_ovechkin@mail.ru

24.05.2017 г.

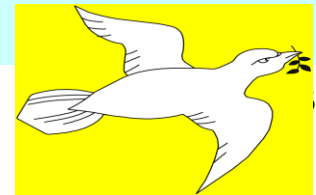
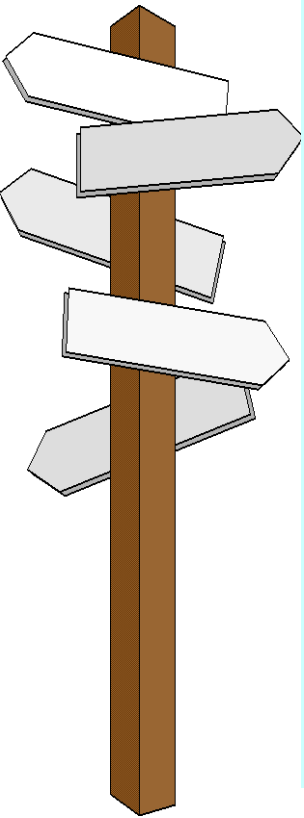
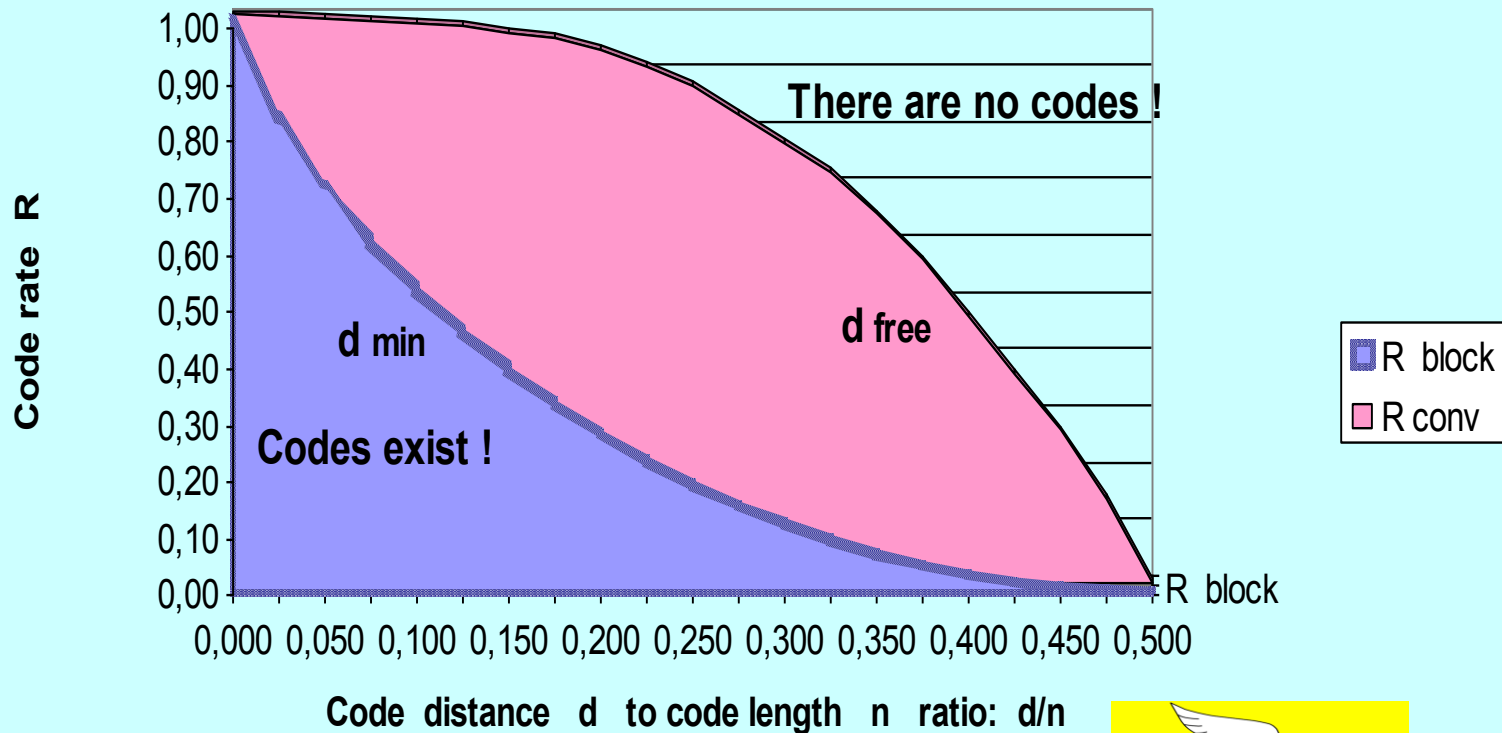
e-

ИКИ РАН



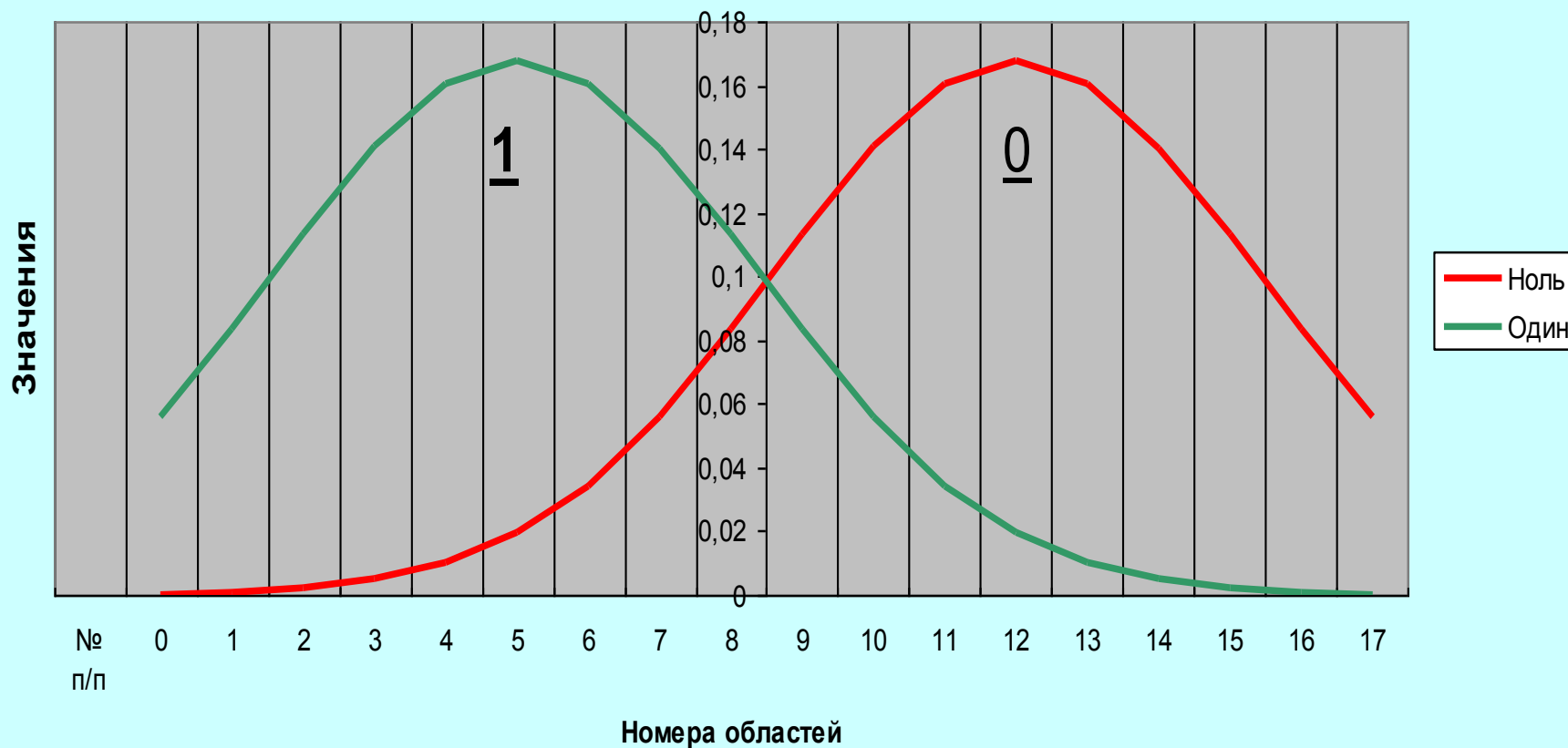
Limits of correcting properties for two code classes

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



Организация работы мягкого модема в АБГШ канале

Distribution of voltage output of a binary signal in the modem
Распределение выходного напряжения двоичного сигнала в модеме



Функции надёжности блочных и свёрточных кодов [Forney]

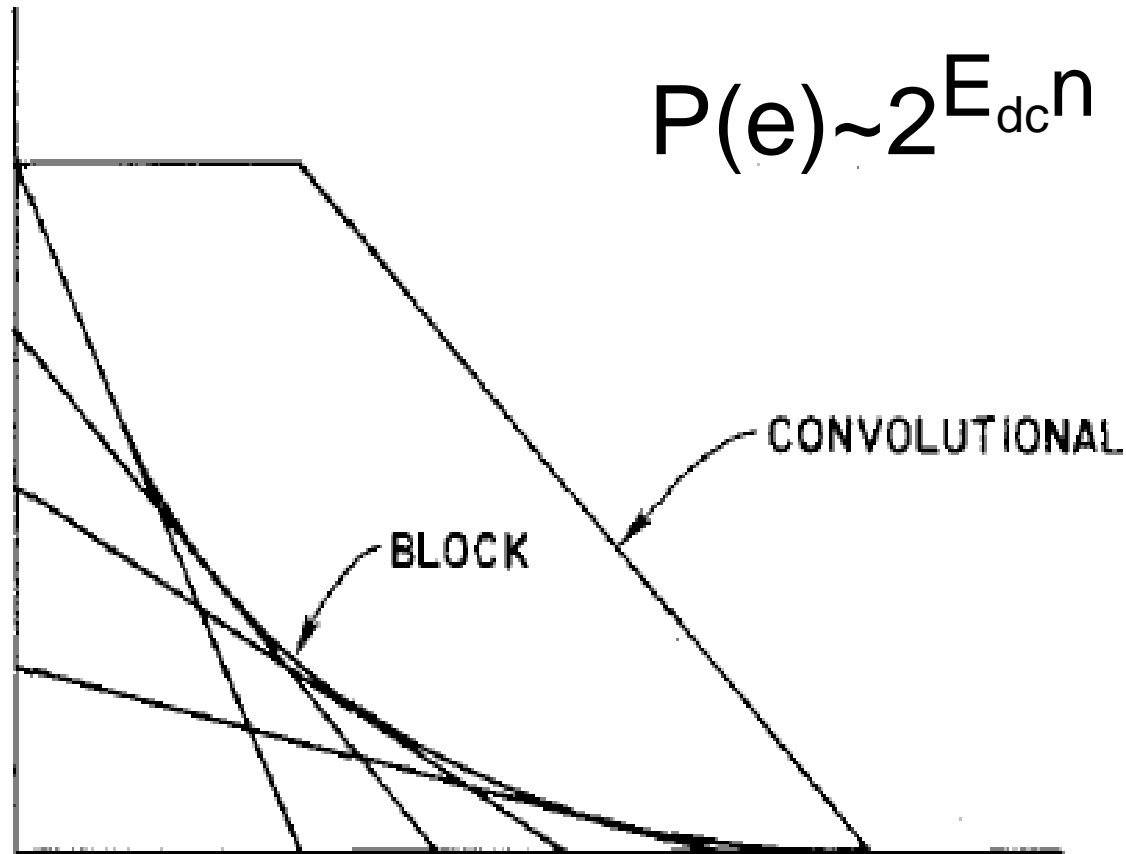
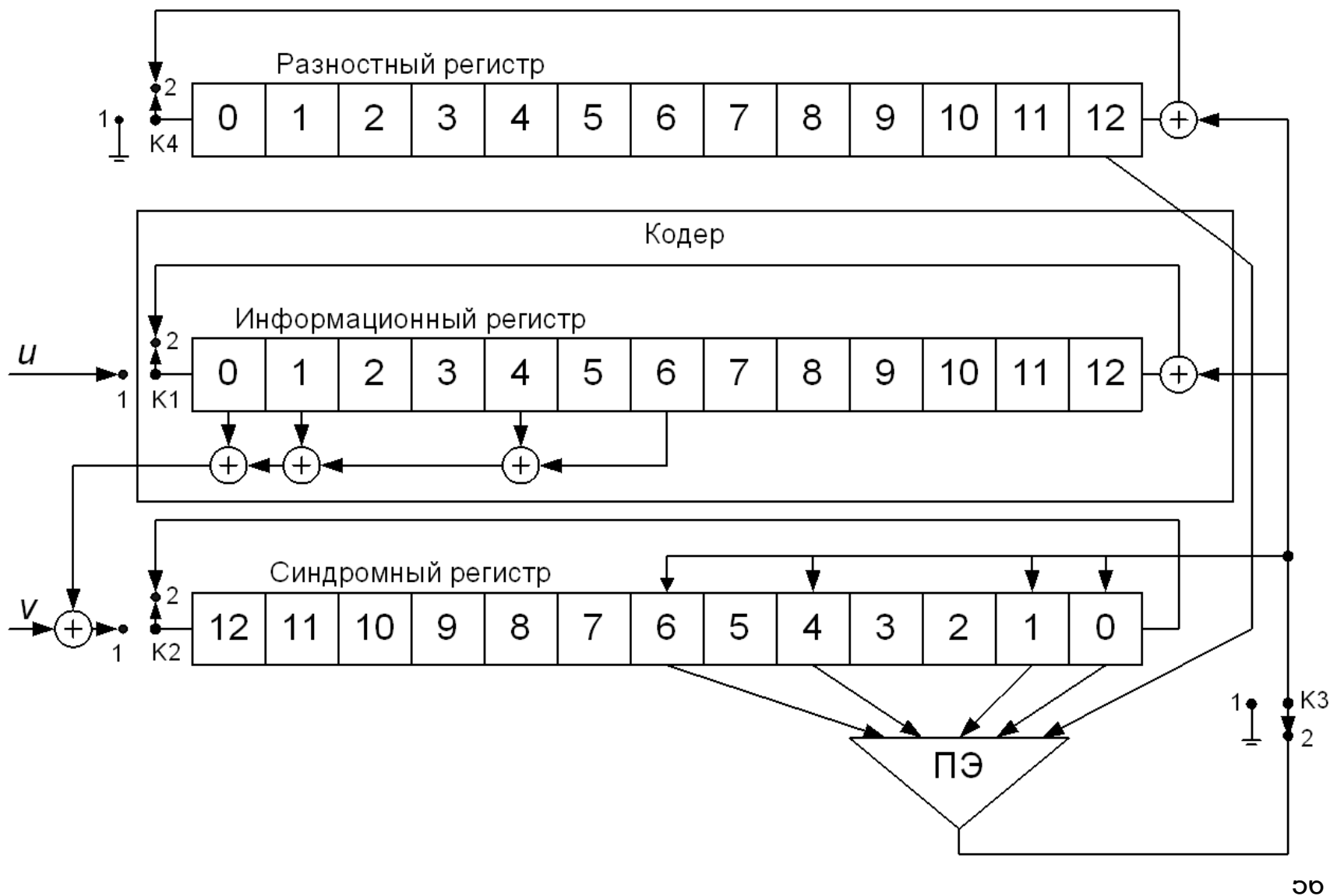
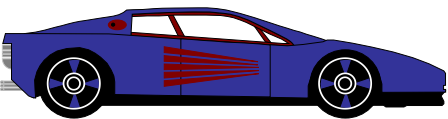
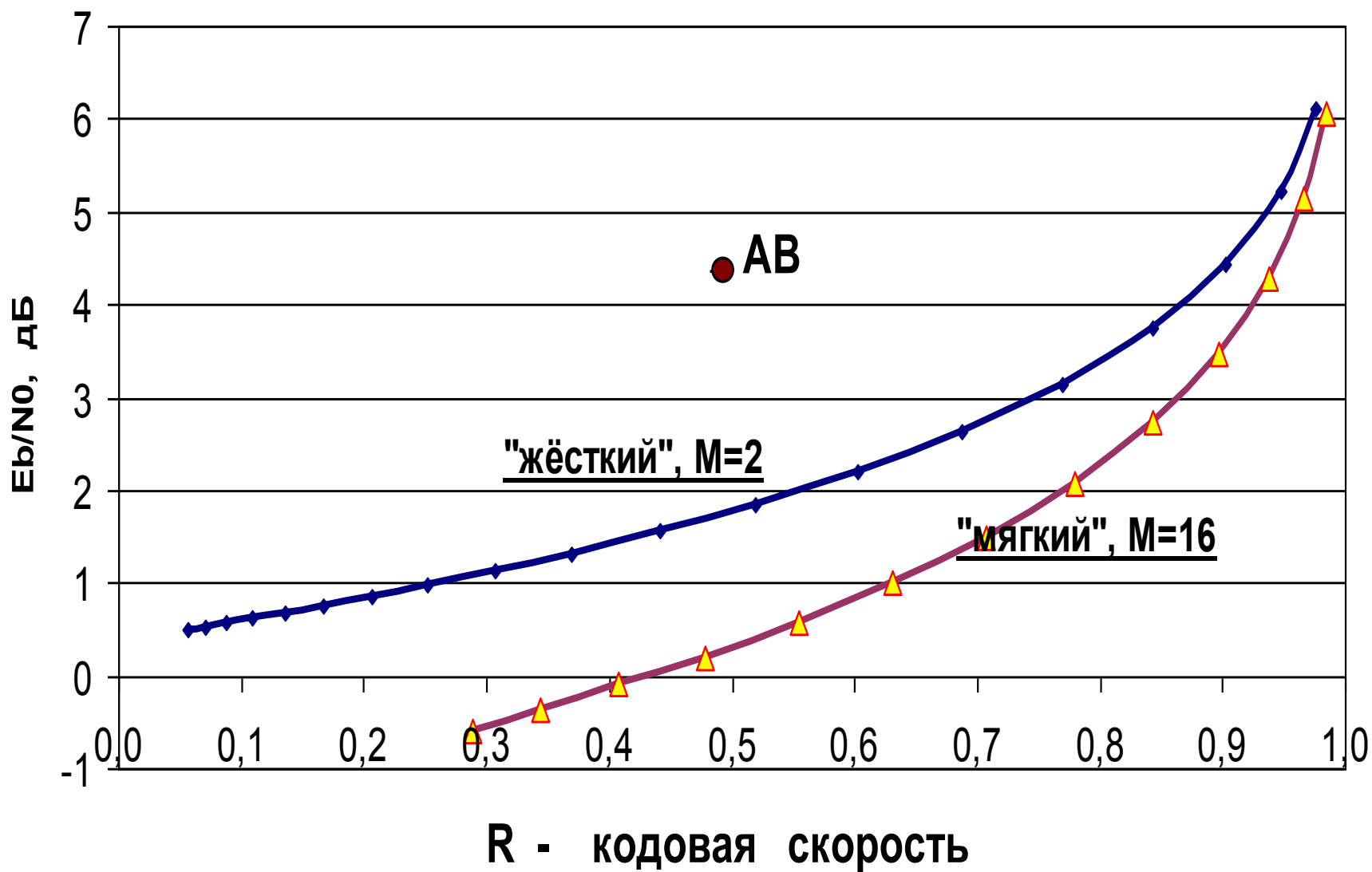


FIG. 11. List-of-2 decoding exponents for very noisy channel.

Блоковый МПД



Зависимость предельной энергетики канала E_b/N_0
от кодовой скорости R



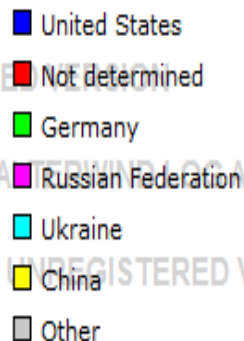
Новые порталы по методам кодирования

www.mtdbest.ru

www.mtdbest.iki.rssi.ru

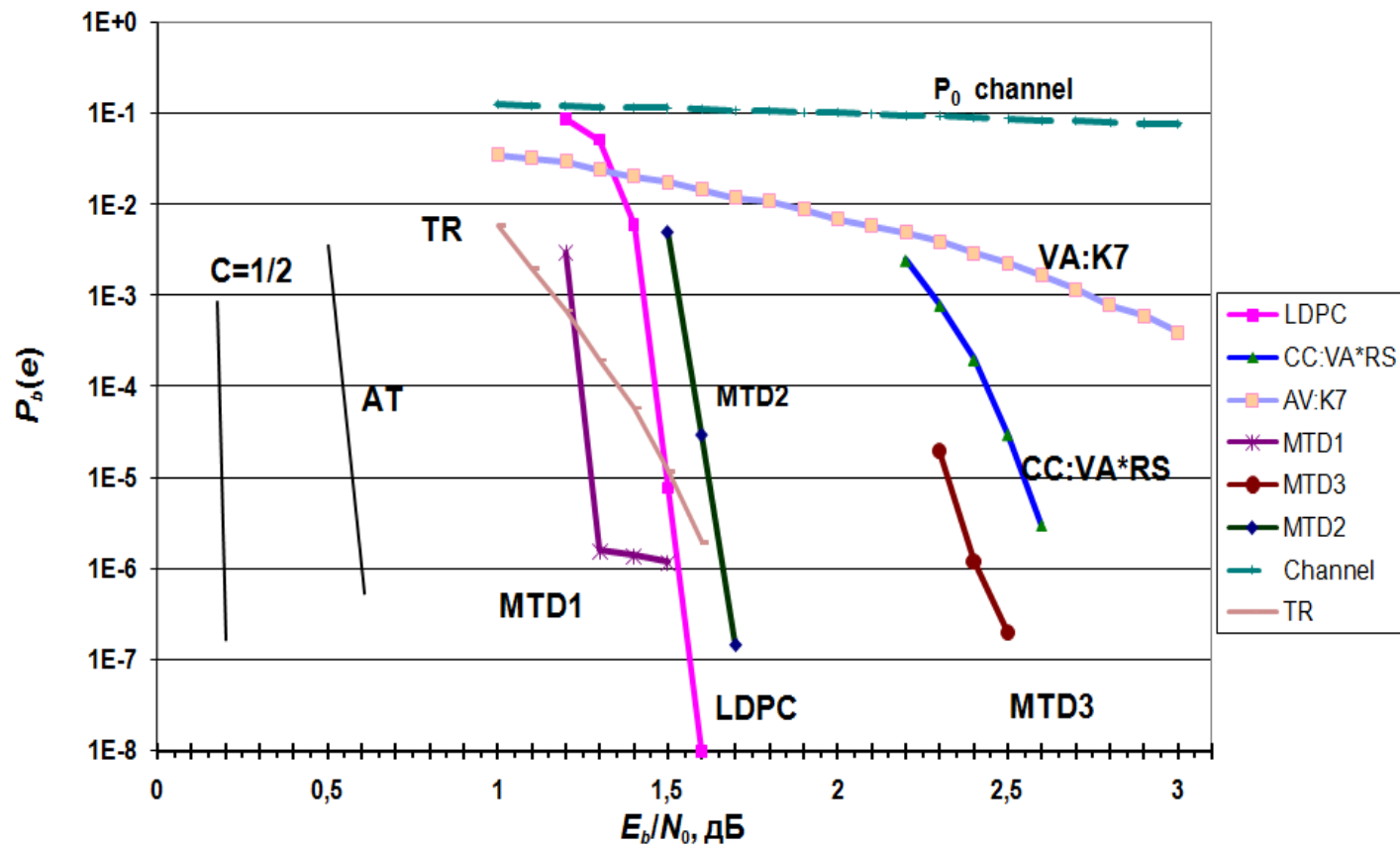
За 2014 год - более 93 тыс. читателей
на наших порталах из 70 стран мира

Россия



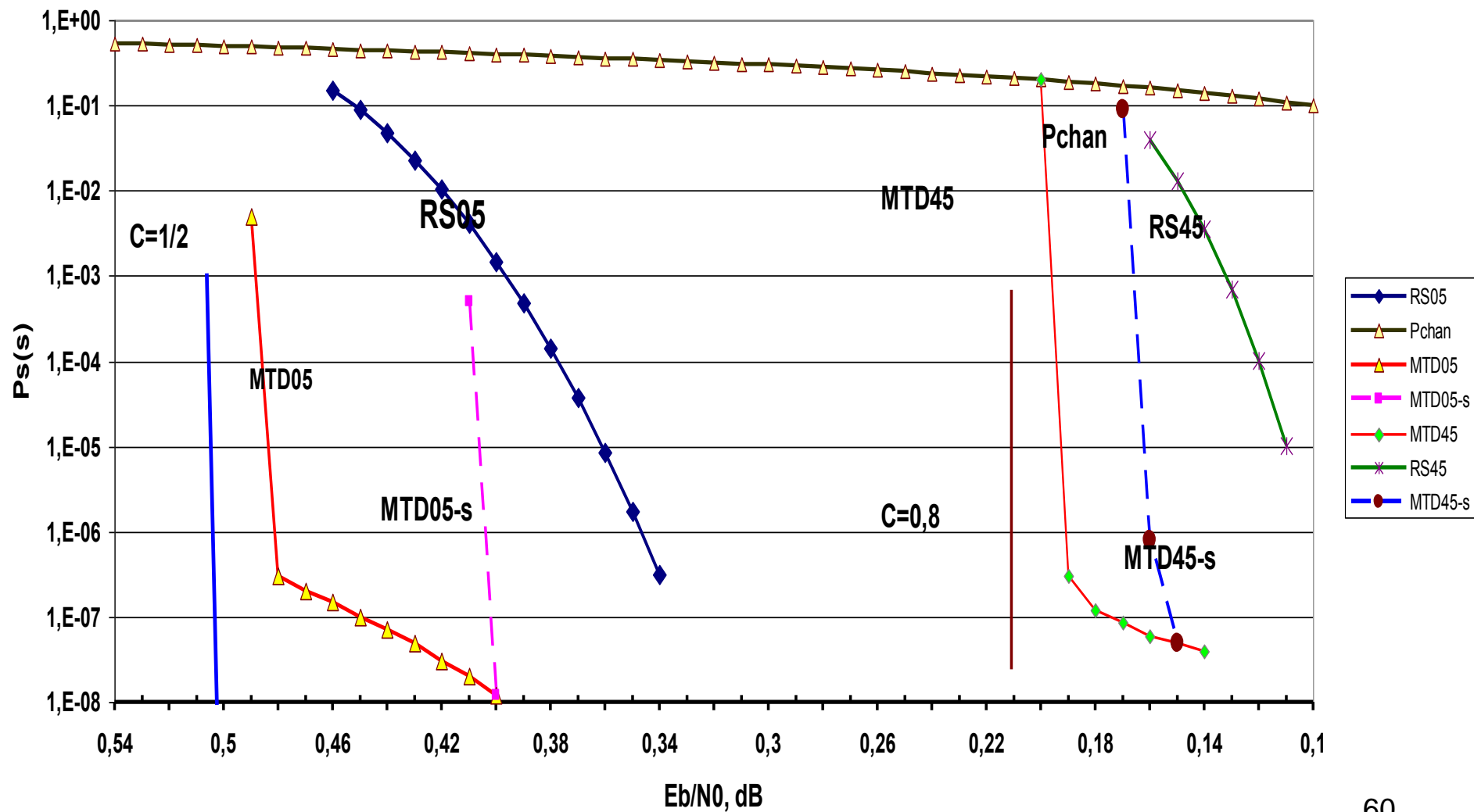
сша

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 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”,

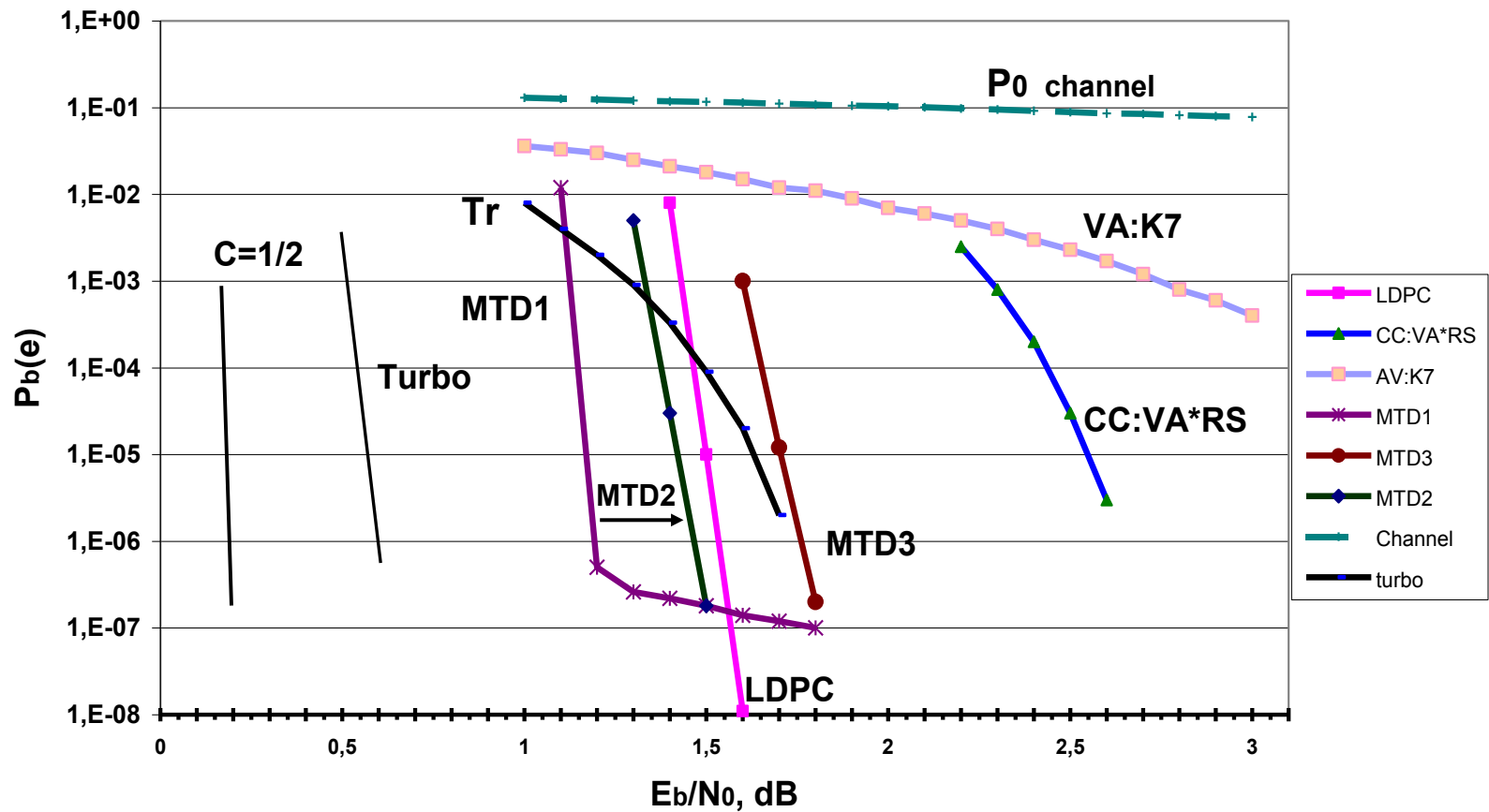
- мера эффекта увеличения энергии сигнала ,
оцениваемая как $\sim \$1$ миллион на 1 дБ ЭВК.

- 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

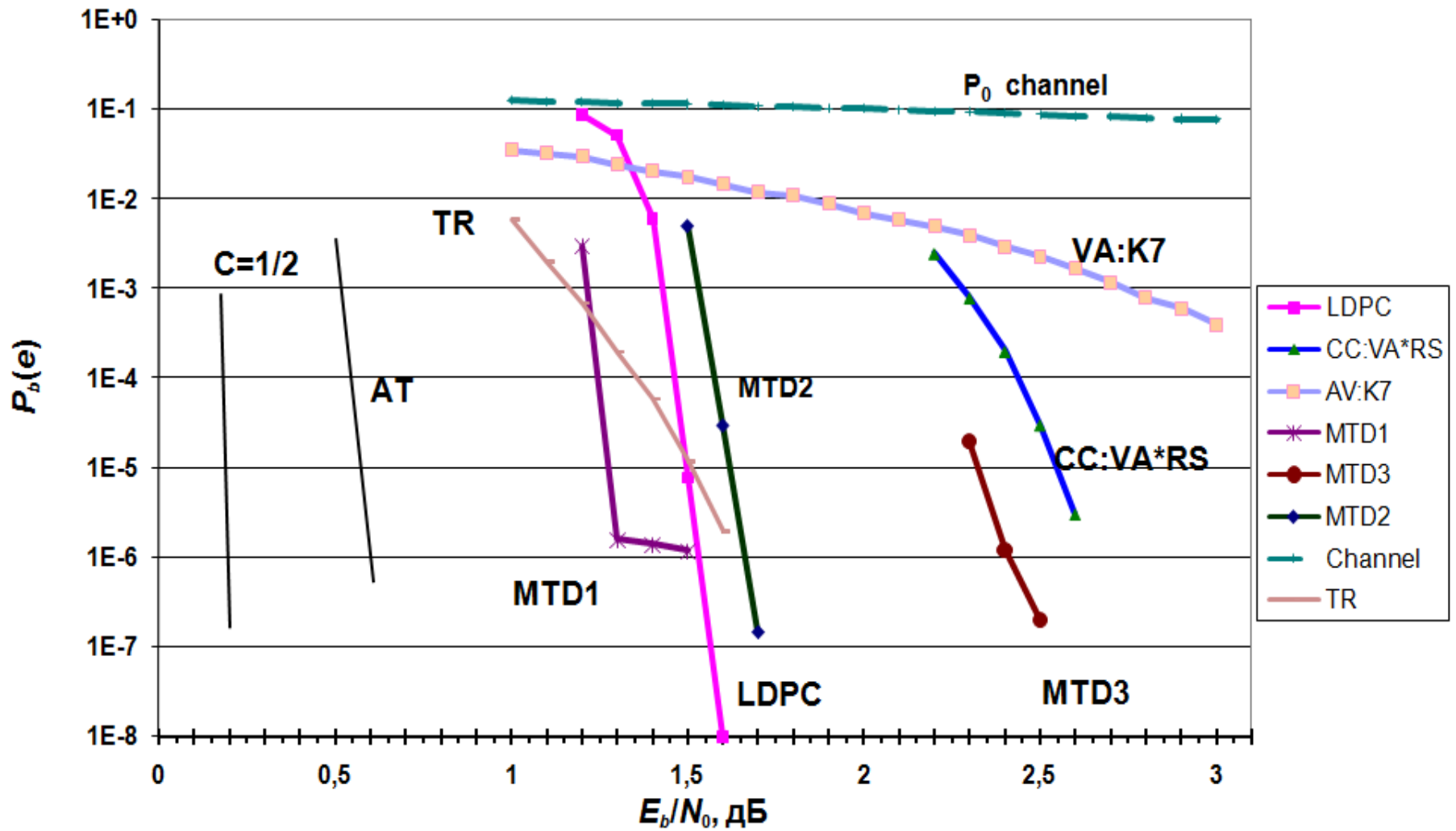
Характеристики методов декодирования гауссовских каналах

В

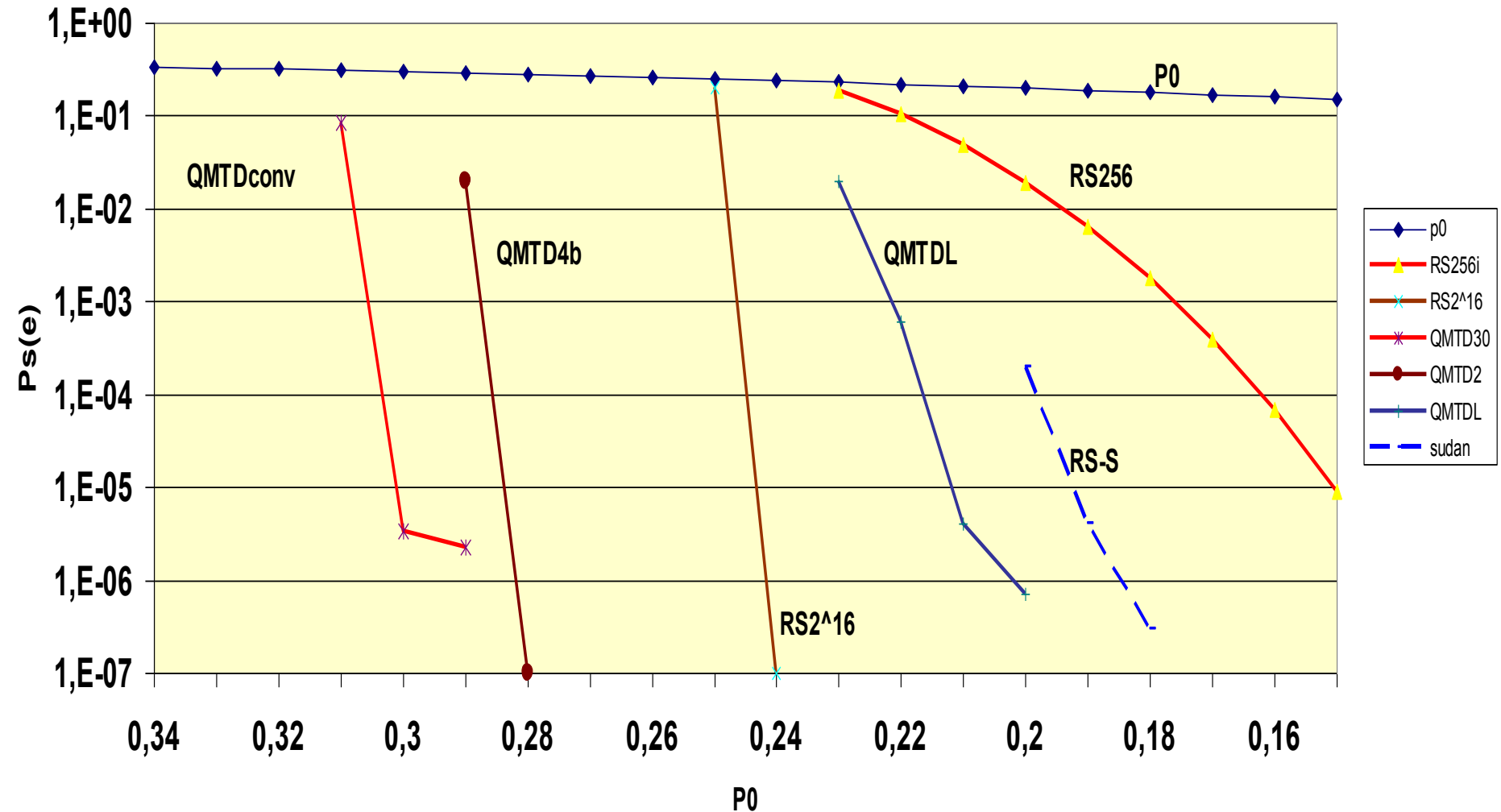
Performance of AV, new MTD and other decoders



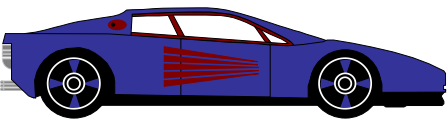
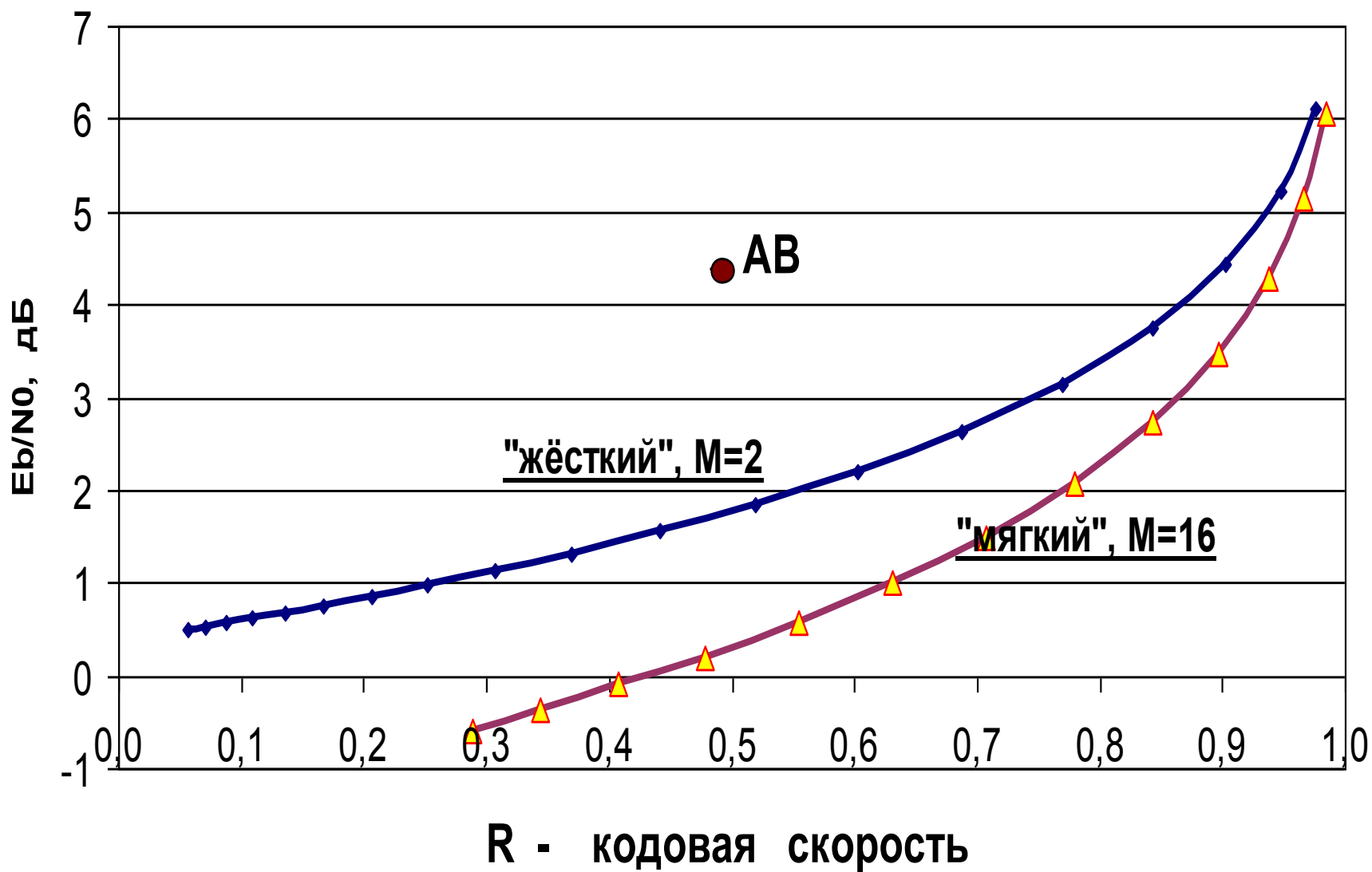
Performance MTD,LDPC,turbo,VA,CC



Performance QMTD and codes RS

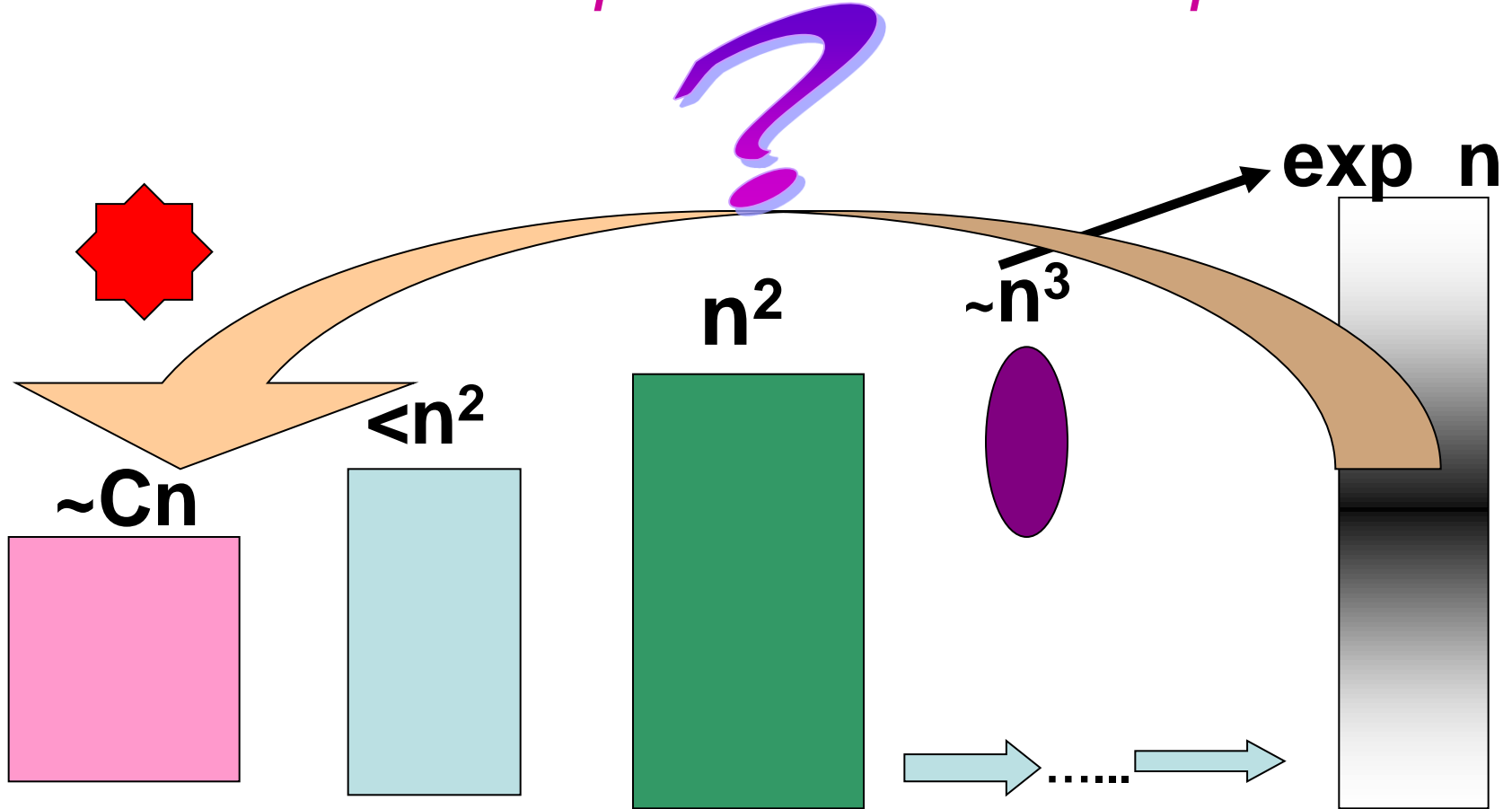


Зависимость предельной энергетики канала E_b/N_0
от кодовой скорости R



Обновление главной парадигмы теории кодирования

Сложность алгоритмов декодирования



www.mtdbest.ru

СПАСИБО !

ИКИ РАН Т.(495)-333-24-12

www.mtdbest.iki.rssi.ru

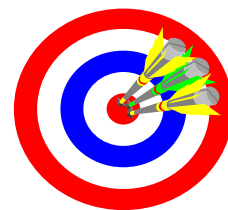
e-mail: zolotasd@yandex.ru

МОБ.: +7-916-518-86-28

В.В.Золотарёв

26.10.2015 г.

ИКИ РАН



Мир недвоичных кодов

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

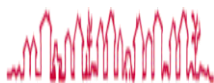
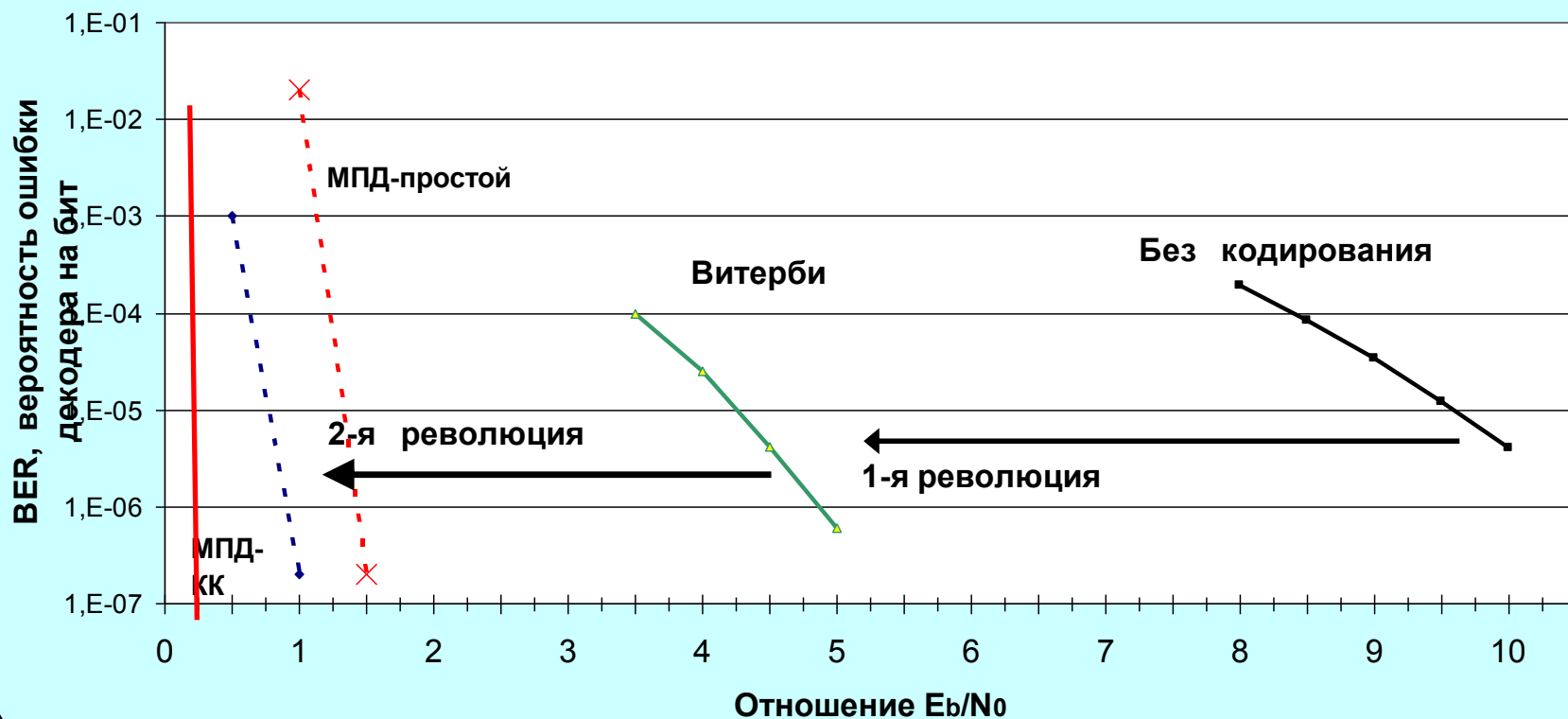
?

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

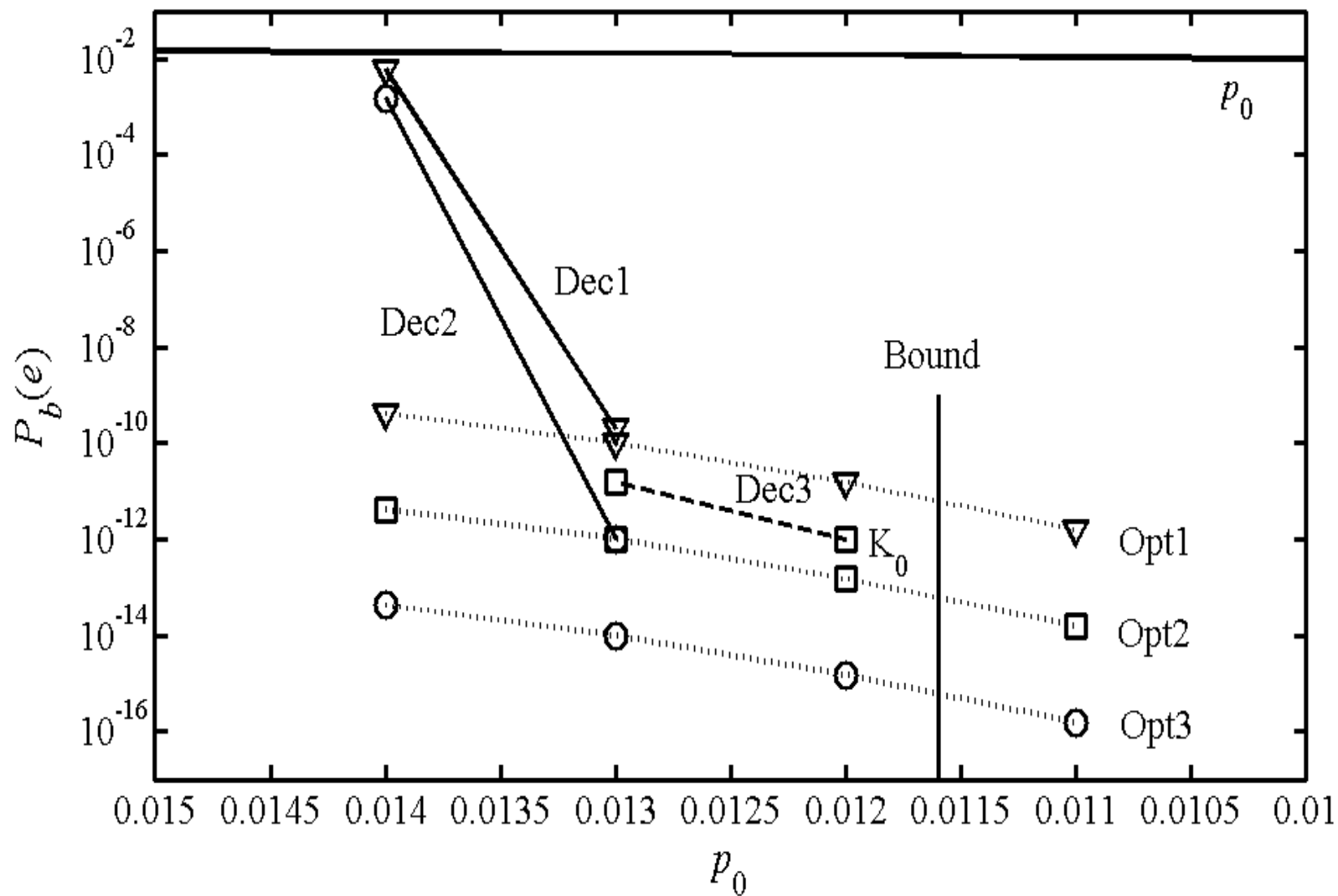
Двоичные коды для МПД
длины 10^5 и более
с кодовой скоростью
 $R=0,16 \div 0,9$

Турбо коды

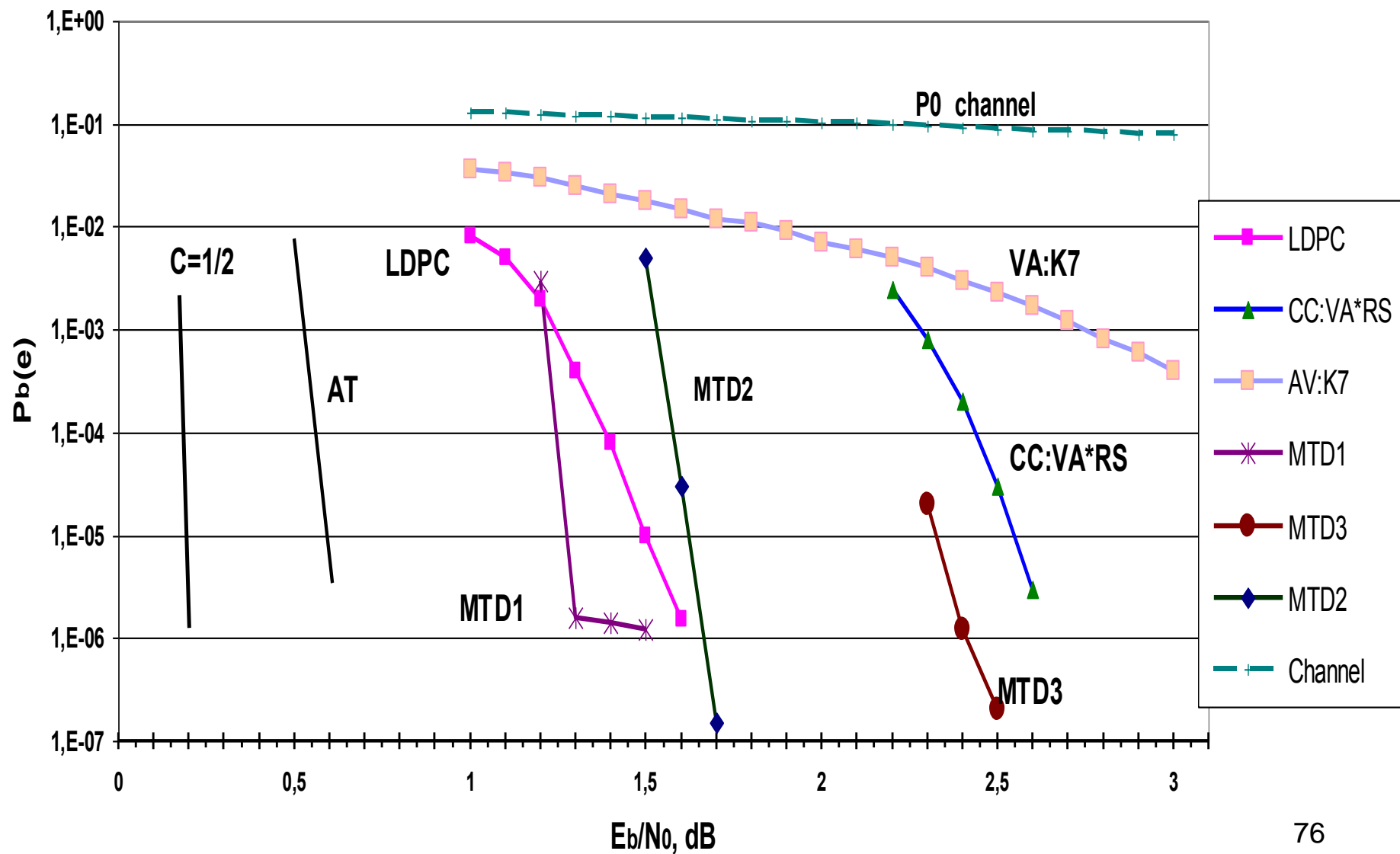
Каскадные коды
AB и PC

LDPC коды

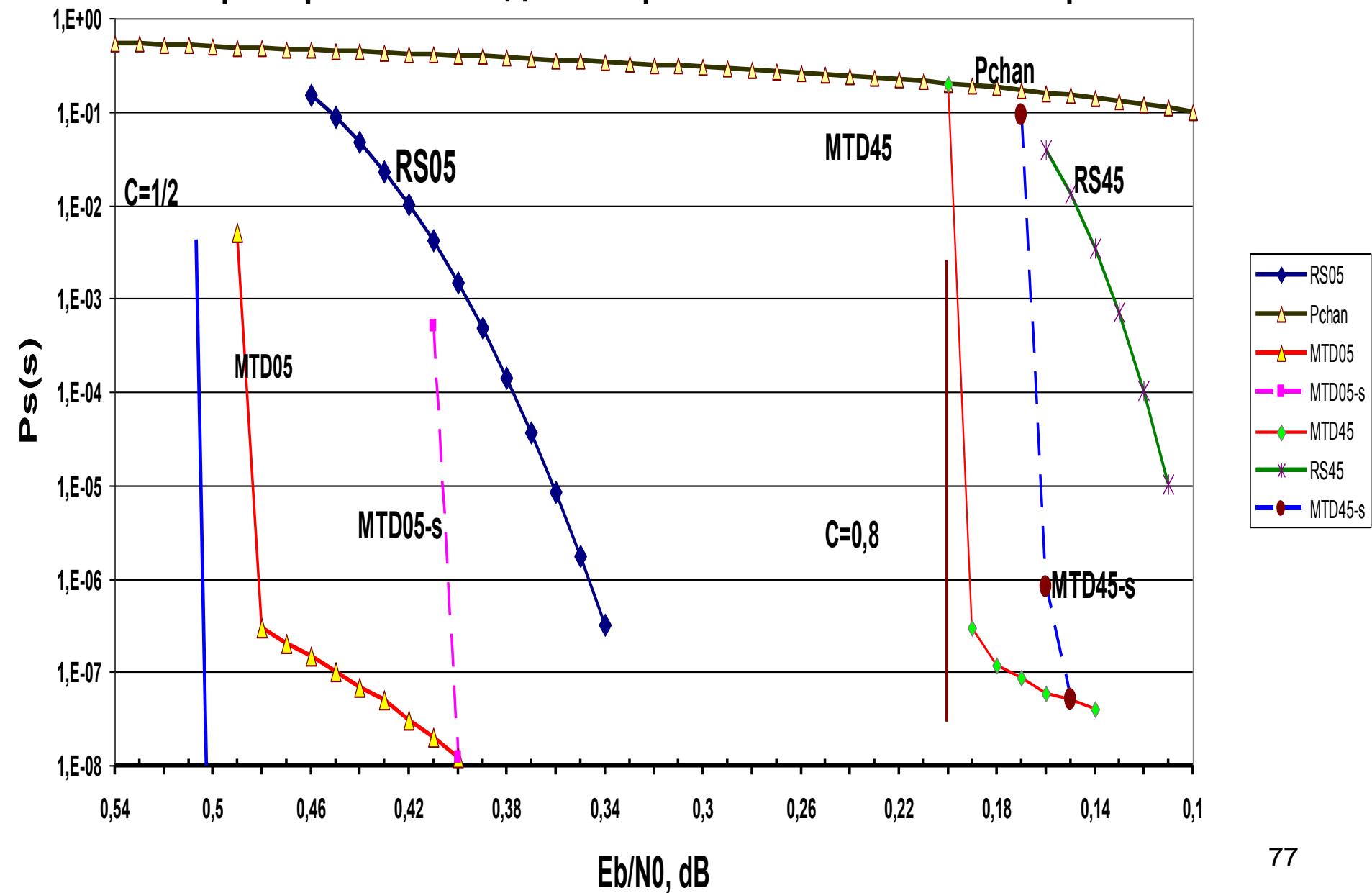
Decoder for flesh memory



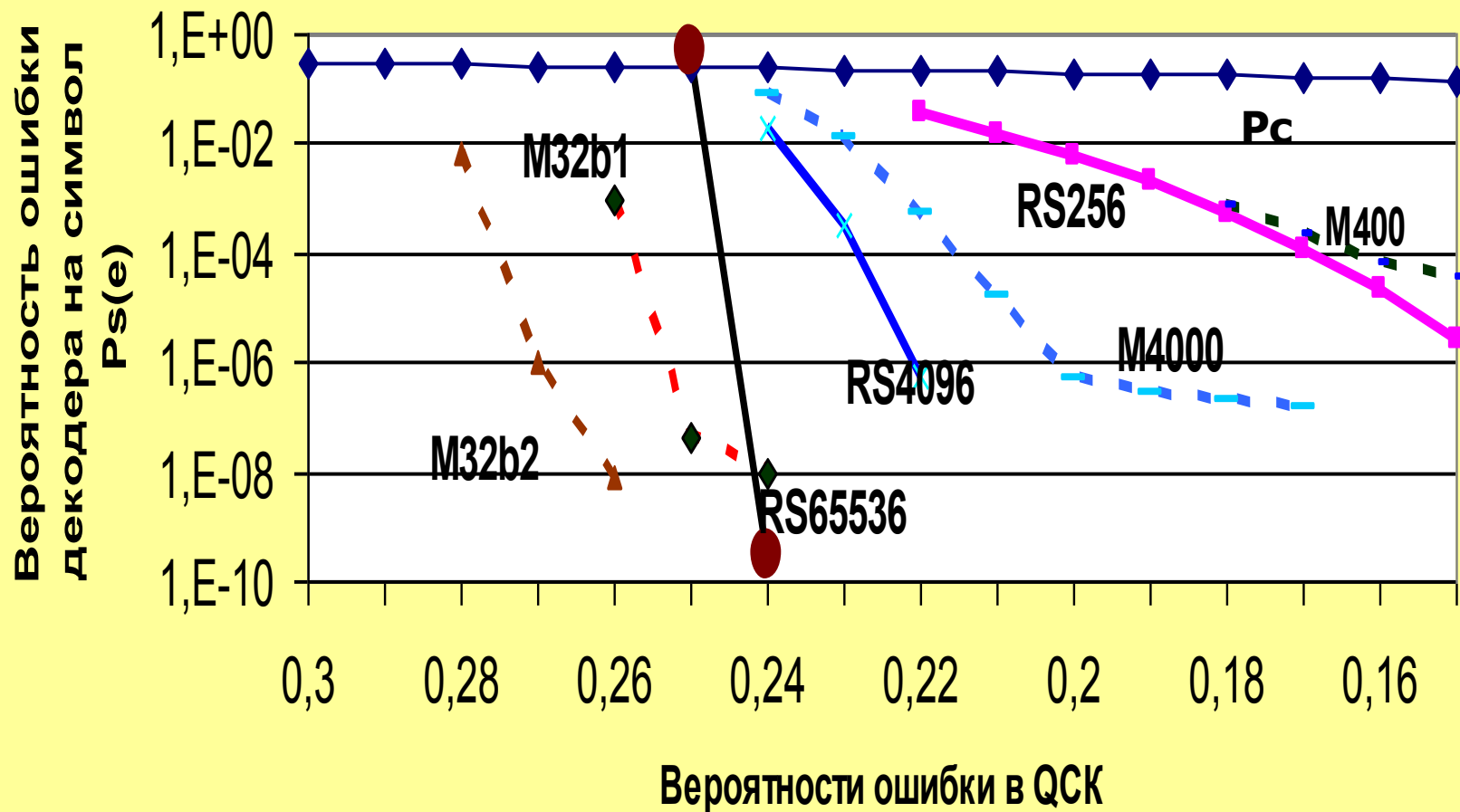
Perfomance of AV, CC, LDPC and new MTD september 2015



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



Характеристики не двоичных блочных 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?

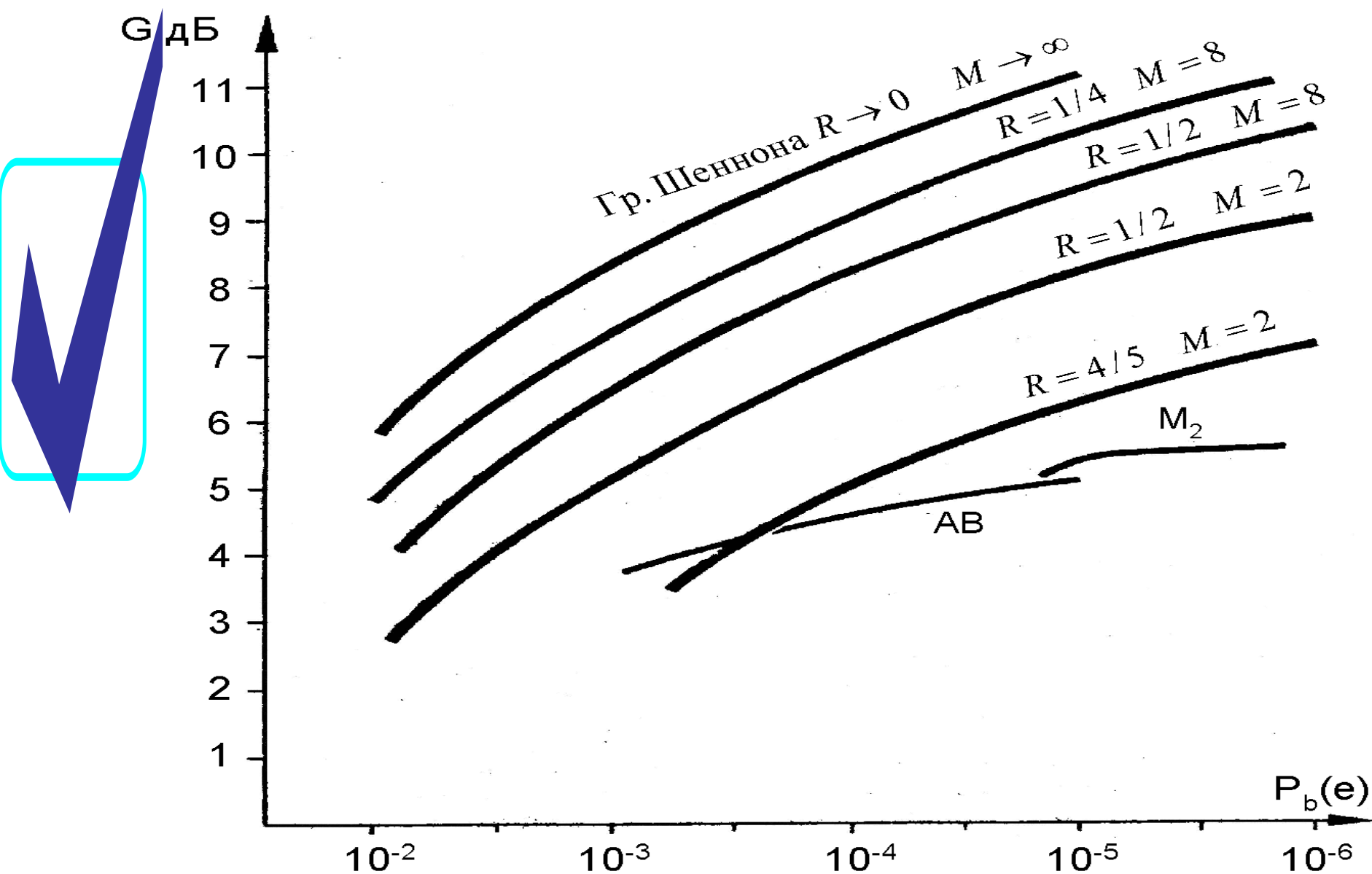
- Проф. Берлекэмп (США) указал в 1980г. в обзоре, опубликованном в ТИИЭР:

“ 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.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.

- 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 $\sim 8 \div 15$ дБ**
- 2. Кодирование источника.
Достигается сжатие данных в 2-5 и более раз.
- 3. **Общий итоговый энергетический выигрыш от применения методов теории информации - до $40 \div 80$ 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!

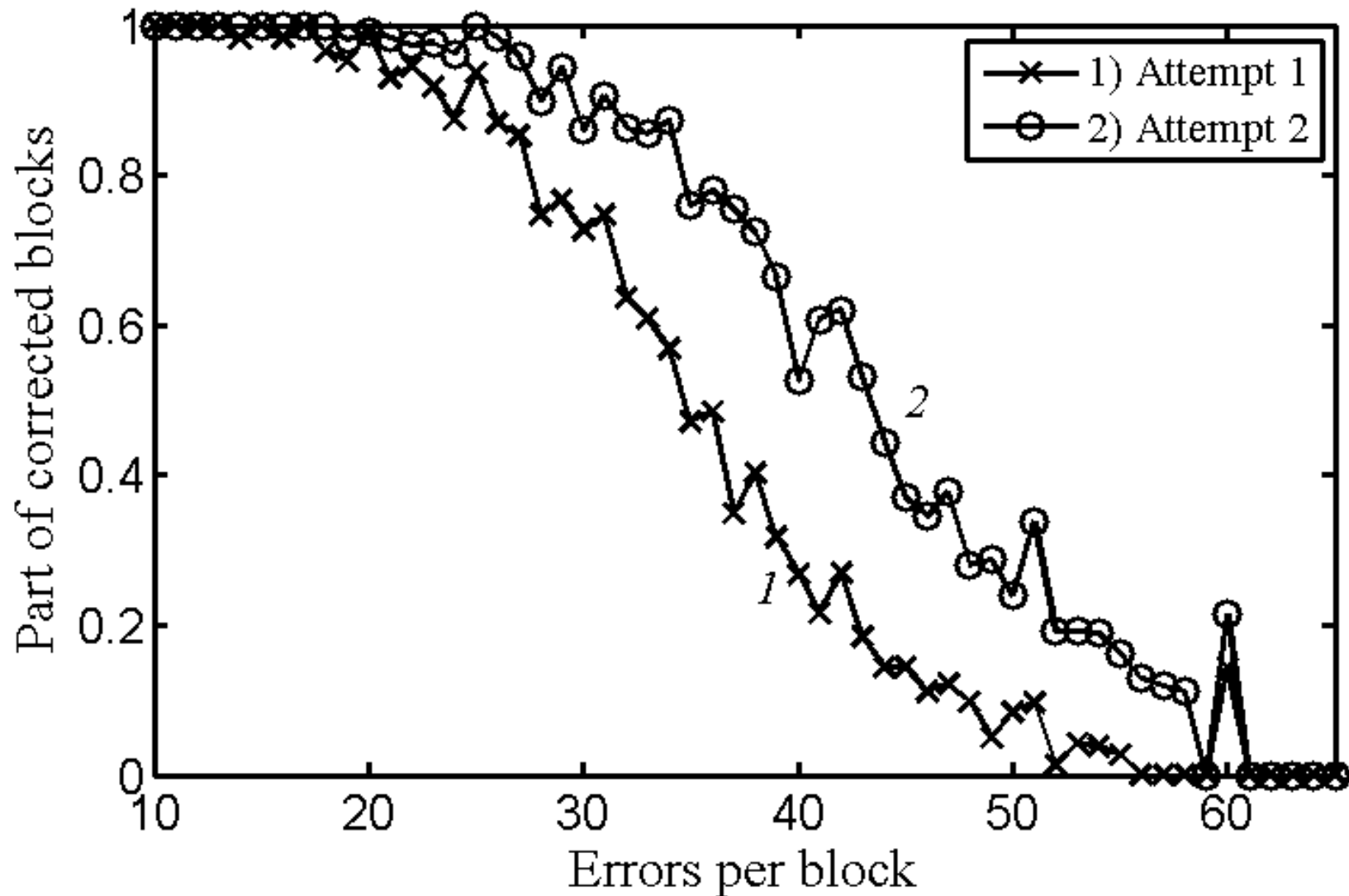
Как всего этого достичь?

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



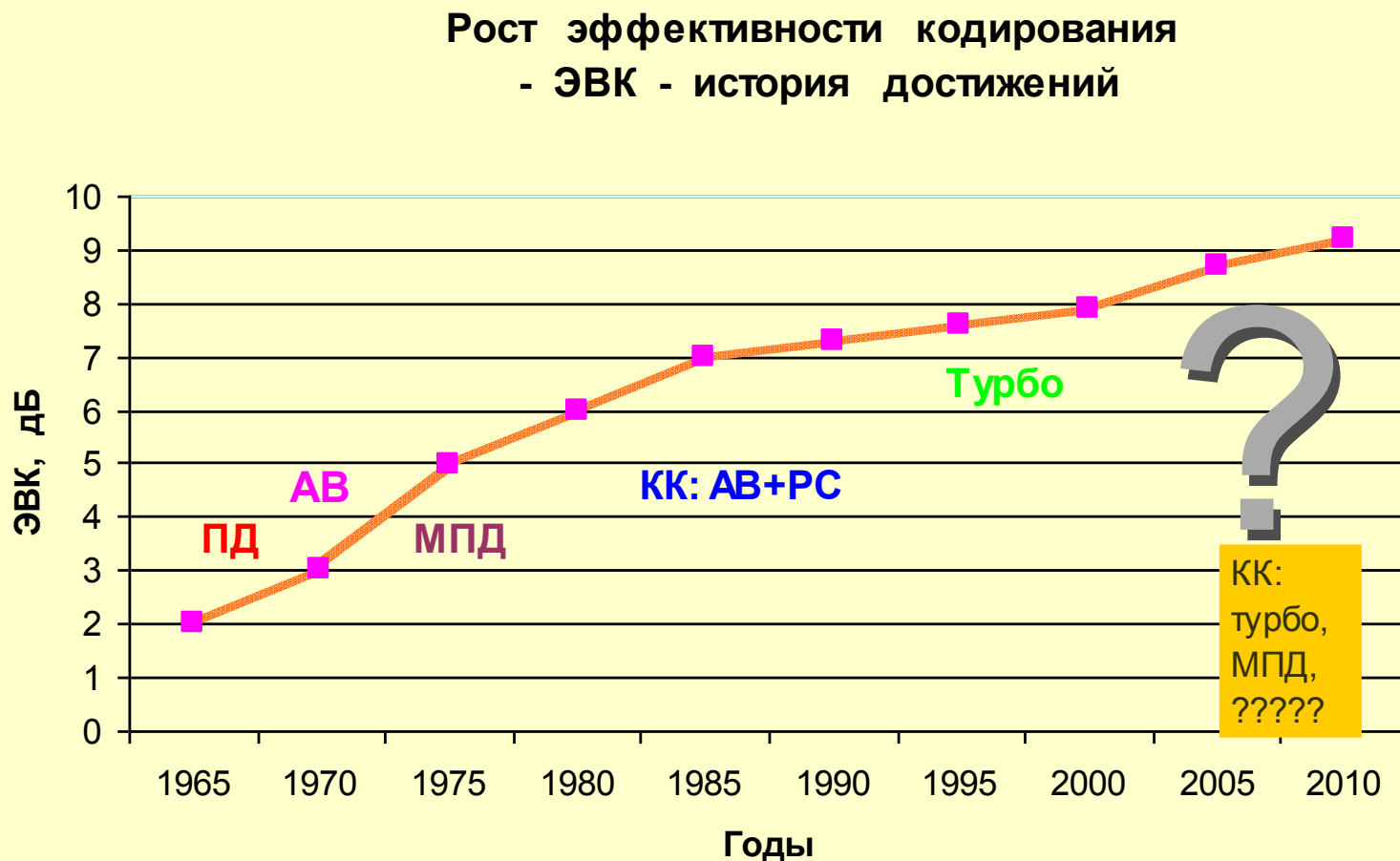
Repeated threshold decoding

$d=11, R=1/2$



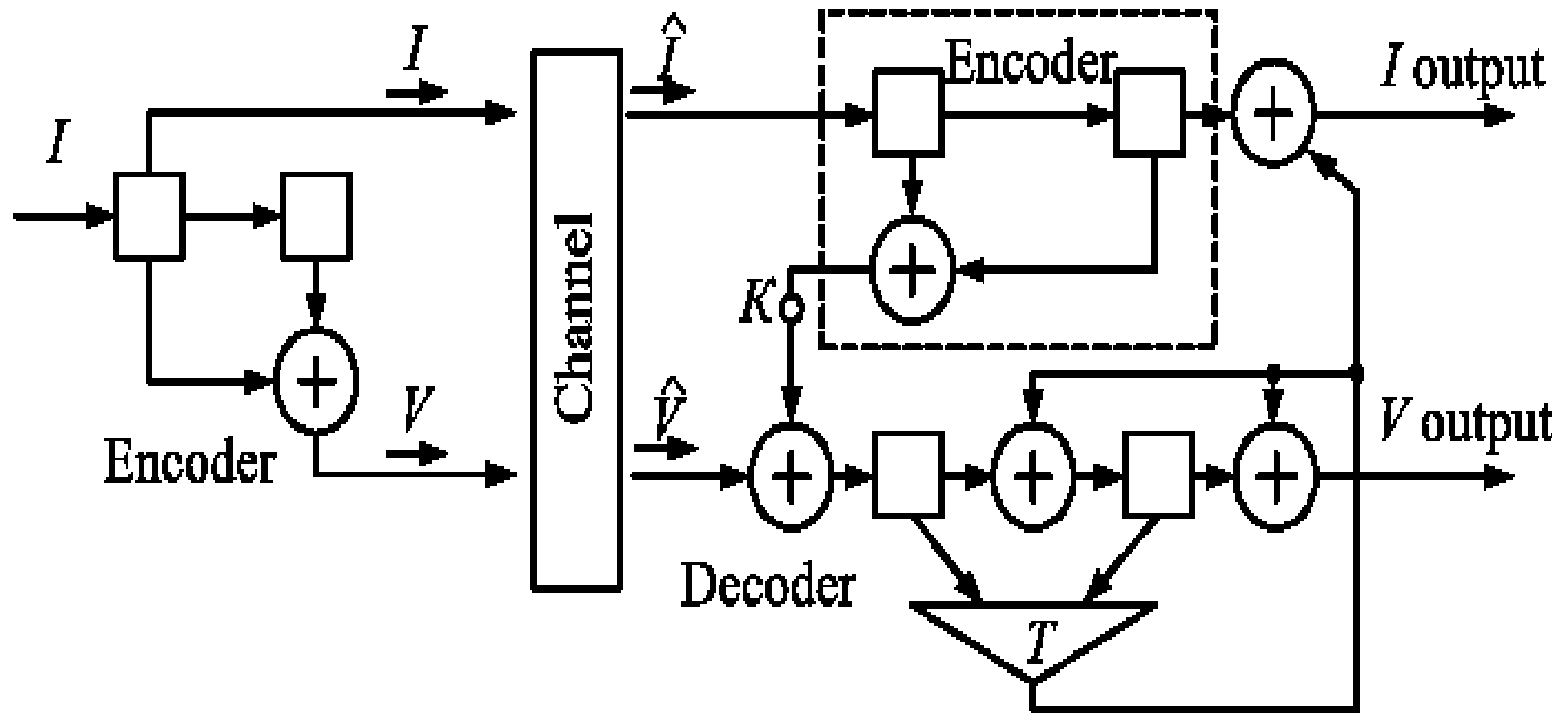
Что будем использовать?

-Наиболее простые и эффективные методы
!!!



ЭВК

Main idea of the syndrome entity



Обновление главной парадигмы теории кодирования

Сложность алгоритмов декодирования

