

**Презентация монографии**  
**«Теория кодирования**  
**как задача поиска**  
**глобального экстремума**



***28.03.2018 г.***

**В.В. Золотарёв**  
***ИКИ РАН***



**Золотарёв Валерий Владимирович** – выпускник МФТИ, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института химических исследований Российской академии наук (ИХИ РАН), лауреат премии Правительства России в области науки и техники, награжден Золотой медалью Международной выставки изобретений и Золотой медалью Европейского союза (ЕС) «За исключительные достижения».

Опубликовал более 220 научных работ, в том числе 4 книги по прикладным методам теории кодирования. Международным союзом электросвязи (МСЭТУ) в 2013 г. издана на английском языке его монография. Обладатель 16 патентов на изобретения в РФ и за рубежом.

Золотарёв В. В. – автор Оптимизационной Теории (ОТ) помехоустойчивого кодирования, которая позволила создавать простые высокоэффективные и robust достоверные методы коррекции ошибок в цифровых системах, обеспечивающие успешную работу в непосредственной близости пропускной способности канала связи. Славасть предложенных им алгоритмов увеличивается с длиной кода лишь в минимальной линейной степени, что стало успешным и теоретическим решением проблемы Шеннона, поставленной более 70 лет назад.

На сетевых порталах научной школы В. В. Золотарёва представлены обширные материалы по ОТ и демопрограммы по многим алгоритмам декодирования.

Представлены теоретические и прикладные результаты современной теории кодирования как задачи поиска глобального экстремума функционала в дискретных пространствах. Рассмотрены различные методы простой коррекции ошибок при максимально допустимом уровне шума. Показано, что многопороговые декодеры, различные версии алгоритма Витерби и новые методы кодирования успешно решают на высоком технологическом уровне главную проблему теории информации – простое и эффективное декодирование вблизи границы Шеннона.

Для специалистов в области систем связи, инженеров, студентов старших курсов, а также аспирантов математических и радиотехнических факультетов.

Сайт издательства:

**www.techbook.ru**



ТЕОРИЯ КОДИРОВАНИЯ КАК ЗАДАЧА ПОИСКА ГЛОБАЛЬНОГО ЭКСТРЕМУМА

В. В. Золотарёв

# ТЕОРИЯ КОДИРОВАНИЯ КАК ЗАДАЧА ПОИСКА ГЛОБАЛЬНОГО ЭКСТРЕМУМА

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ ТЕОРИЯ  
ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО  
КОДИРОВАНИЯ –  
НОВАЯ «КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА»  
ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ



- Представлены теоретические и прикладные результаты современной теории кодирования как задачи поиска глобального экстремума функционала в дискретных пространствах. Рассмотрены различные методы простой коррекции ошибок при максимально допустимом уровне шума. Показано, что многопороговые декодеры, различные версии алгоритма Витерби и новые методы кодирования успешно решают на высоком технологическом уровне главную проблему теории информации – **простое и эффективное декодирование вблизи границы Шеннона.**

Вначале любая оригинальная теория признаётся

**(1)- абсурдной,**

потом **(2)- проблемной и явно ошибочной,**

затем **(3)- самоочевидной, незначительной,**

и, наконец,

**(5)- столь важной и самобытной,**

что бывшие её критики **присваивают её себе**

-----

**Мы и У. Джеймс, философ, США**

Вначале любая оригинальная теория признаётся

**(1)- абсурдной,**

потом **(2)- проблемной и явно ошибочной,**

затем **(3)- самоочевидной, незначительной,**

**НО ! (4)- ЭТО - РЕВОЛЮЦИЯ !!!**

и, наконец,

**(5)- столь важной и самобытной,**

что бывшие её критики **присваивают её себе**

-.-.-.-.-

**Мы и У. Джеймс, философ, США**

**70 лет назад опубликована статья  
Клода Шеннона  
«Математическая теория связи».**

**Появилась возможность при условии**

$$C > R$$

**обеспечить любую достоверность**

**Но сначала было неизвестно как это сделать**

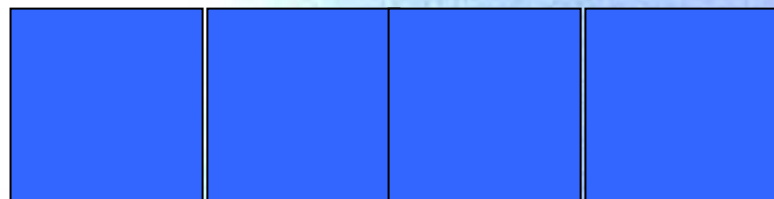
**Этим занялась теория  
помехоустойчивого  
кодирования**

**-юбилей тоже!**

# **Кодирование - это введение избыточности**

**К - 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  $d=5$**

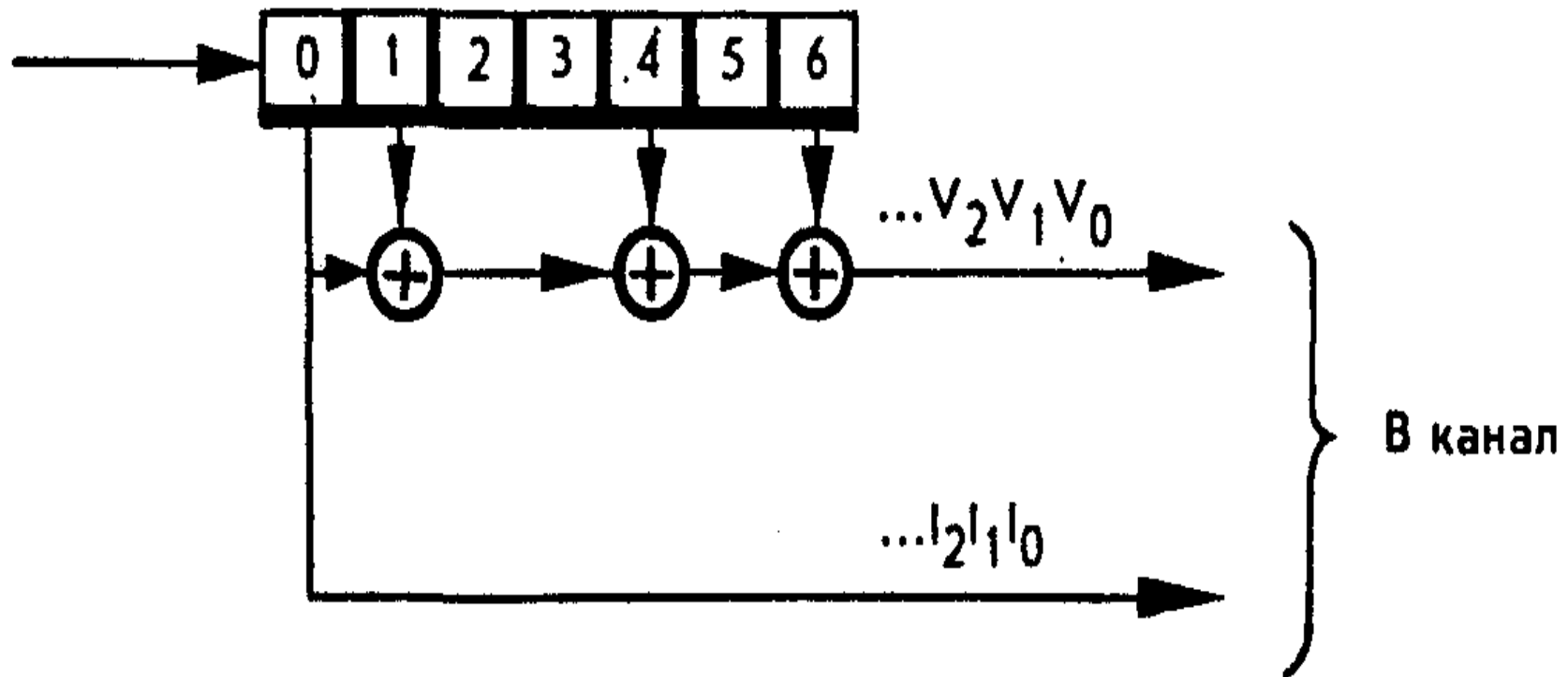


Рис.4,б. Кодер сверточного кода



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

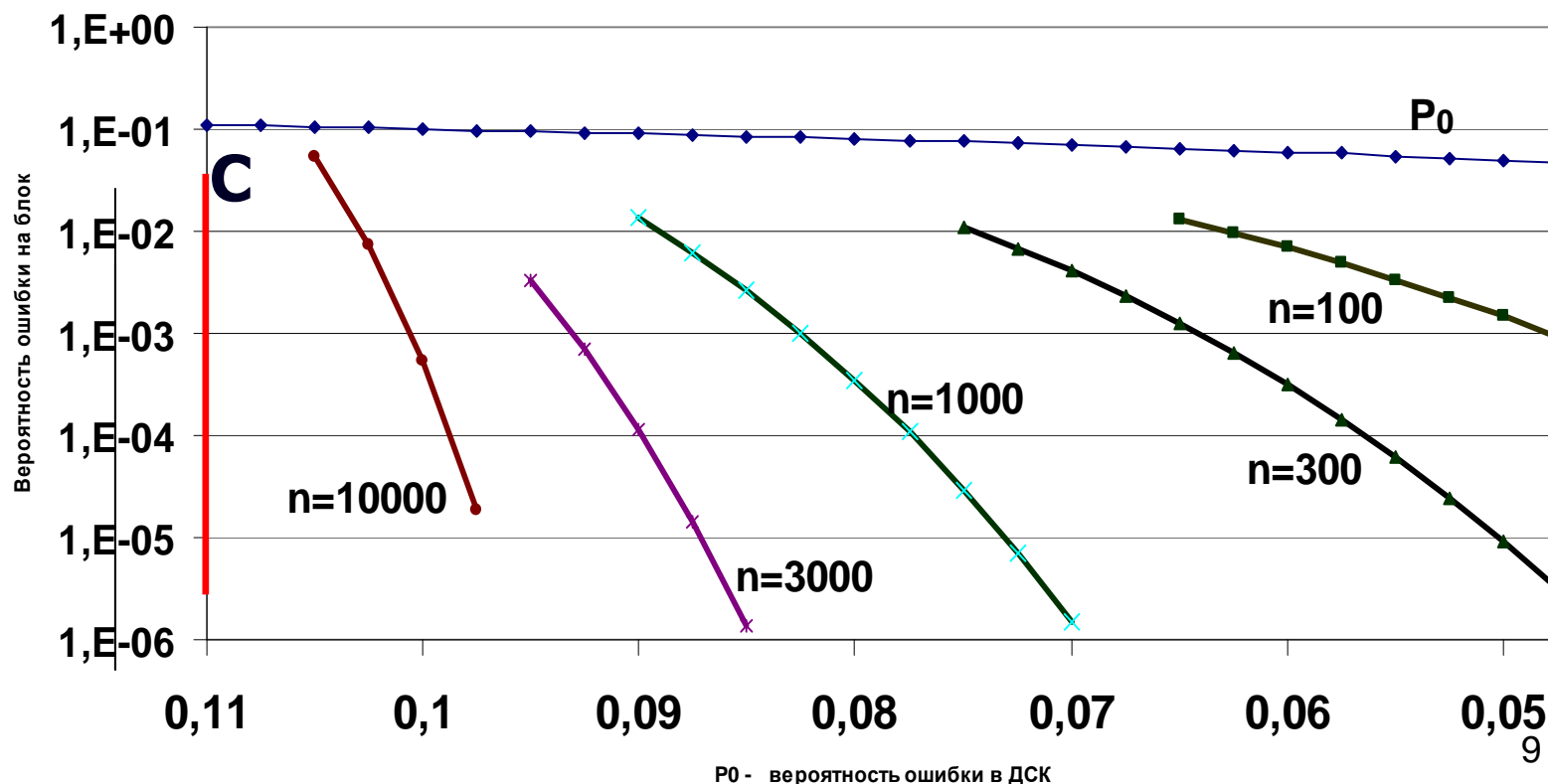
Даже коды длины  $n=1000$  неэффективны при вероятности  
ошибки в канале  $P_0 > 0.08$ . А теория-то утверждает,  
что можно успешно работать при  $P_0 < 0.11$  !!!

**И это при  $2^{500}$  вариантах!**

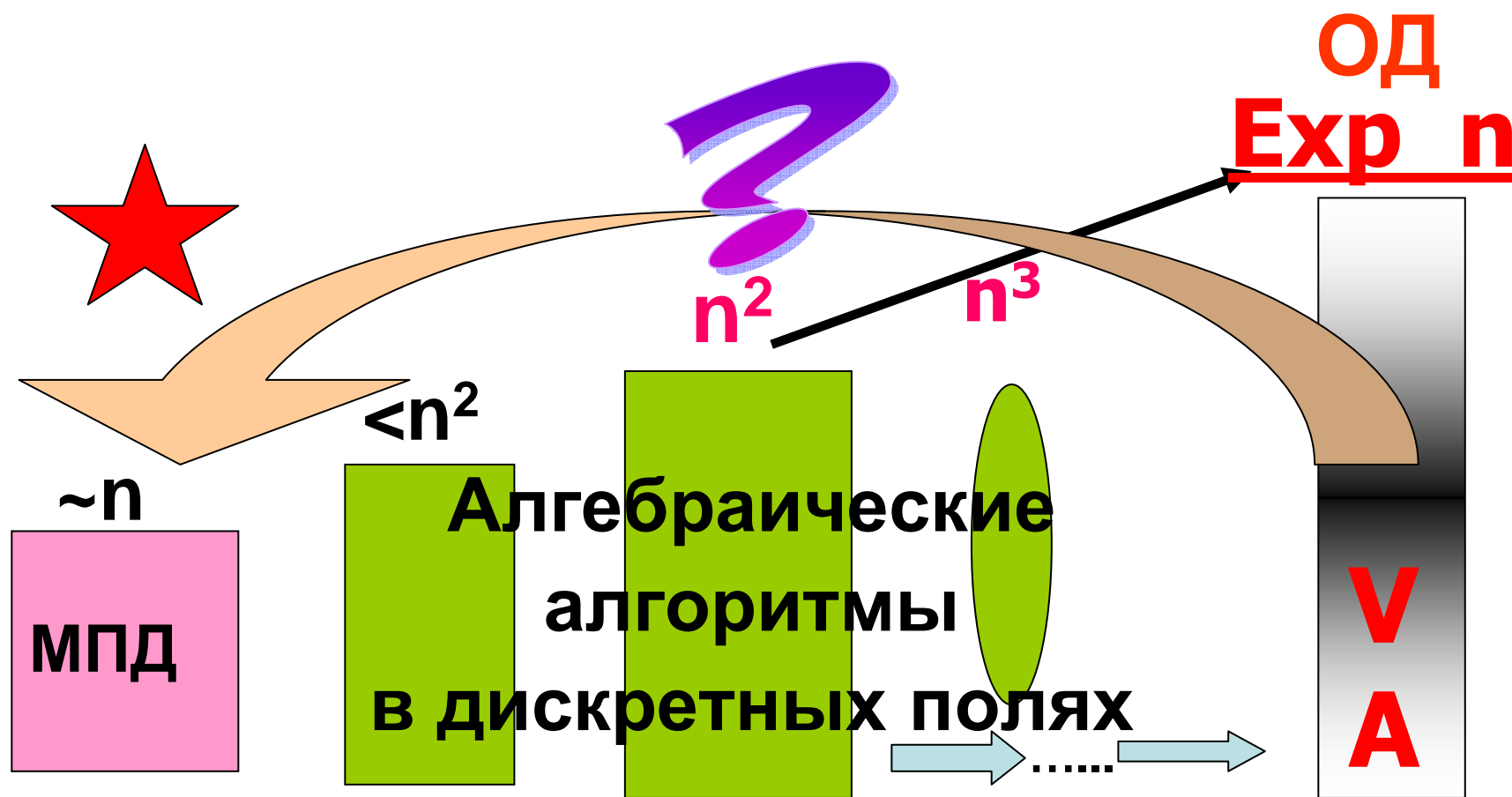
$2^n$



$2^k$

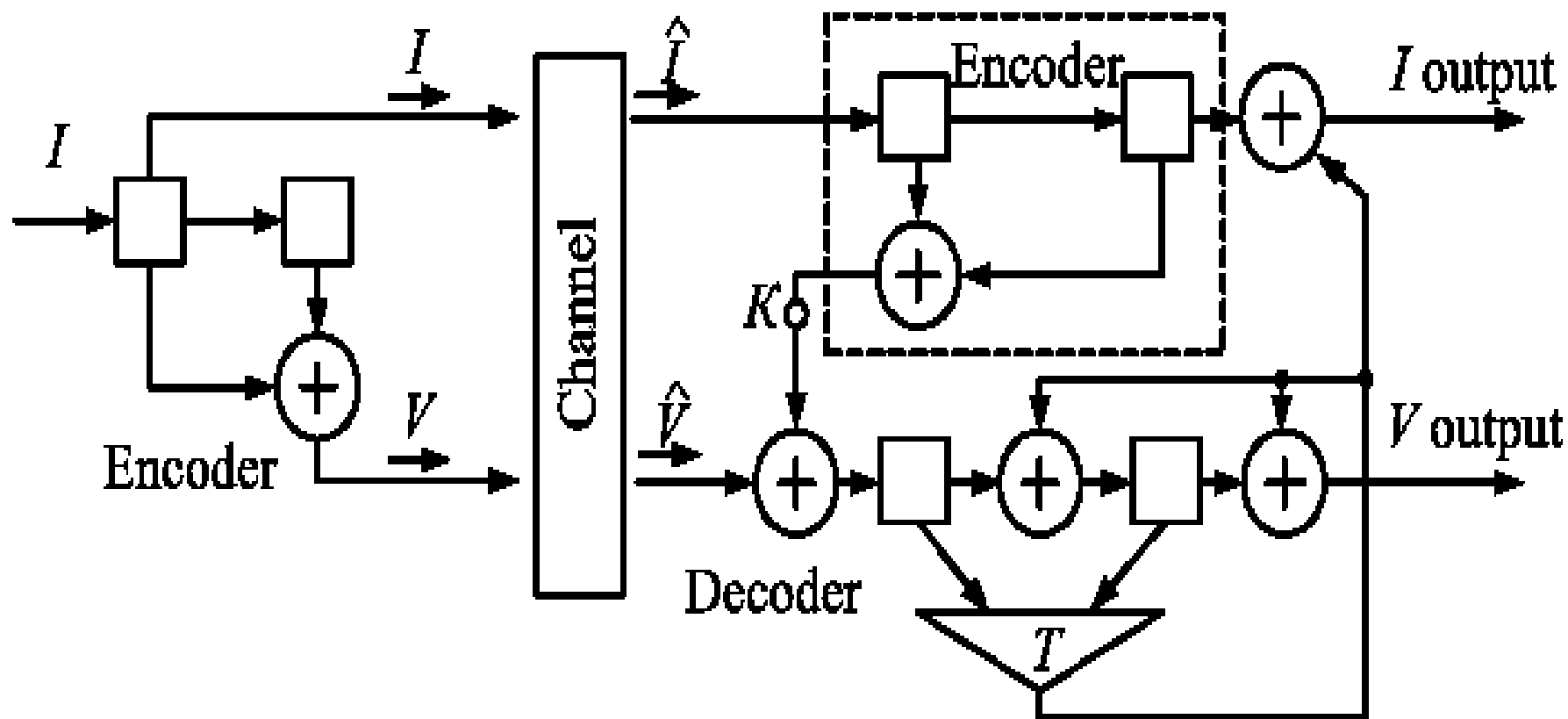


# Обновление главной парадигмы Оптимизационной Теории помехоустойчивого кодирования

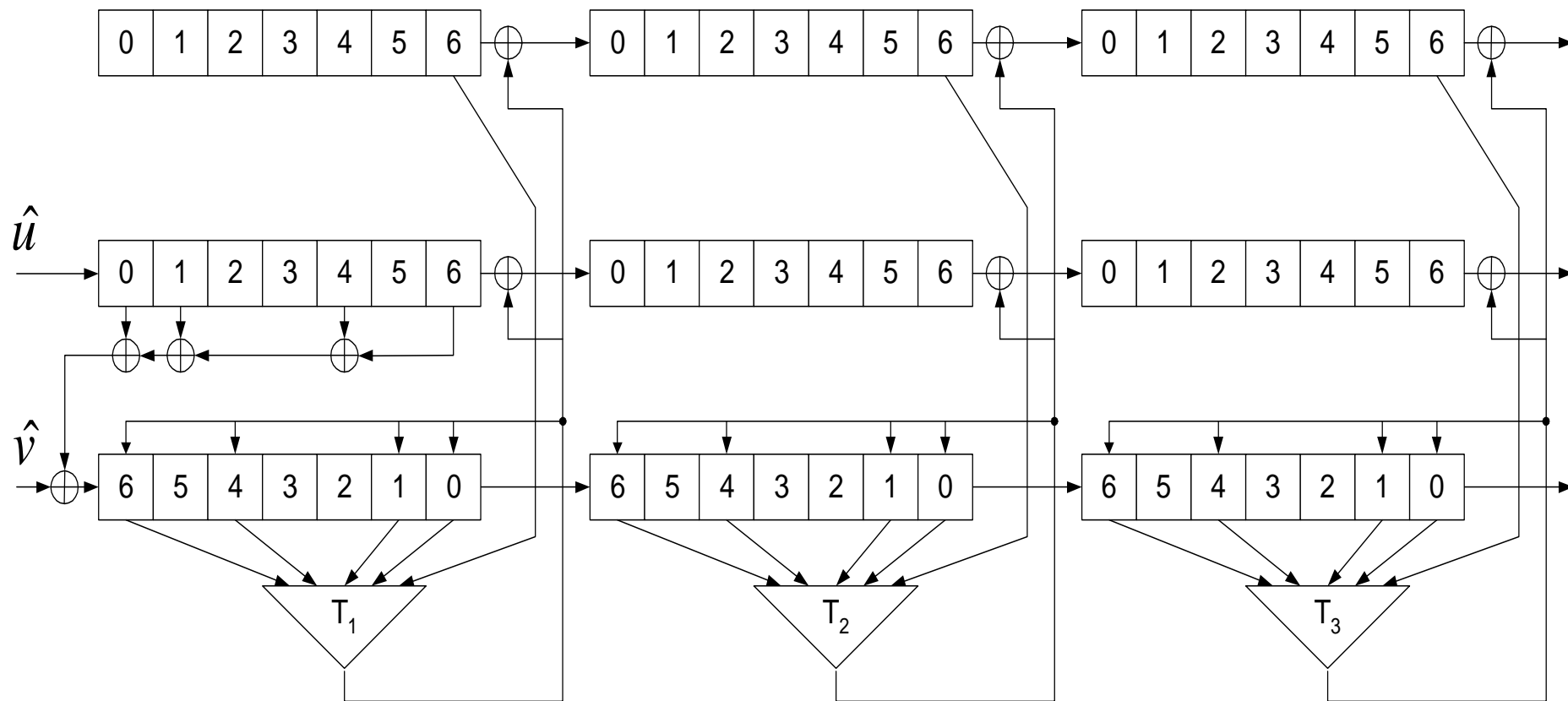


Сложность алгоритмов декодирования<sup>10</sup>

# Революционная интерпретация смысла синдрома линейного кода

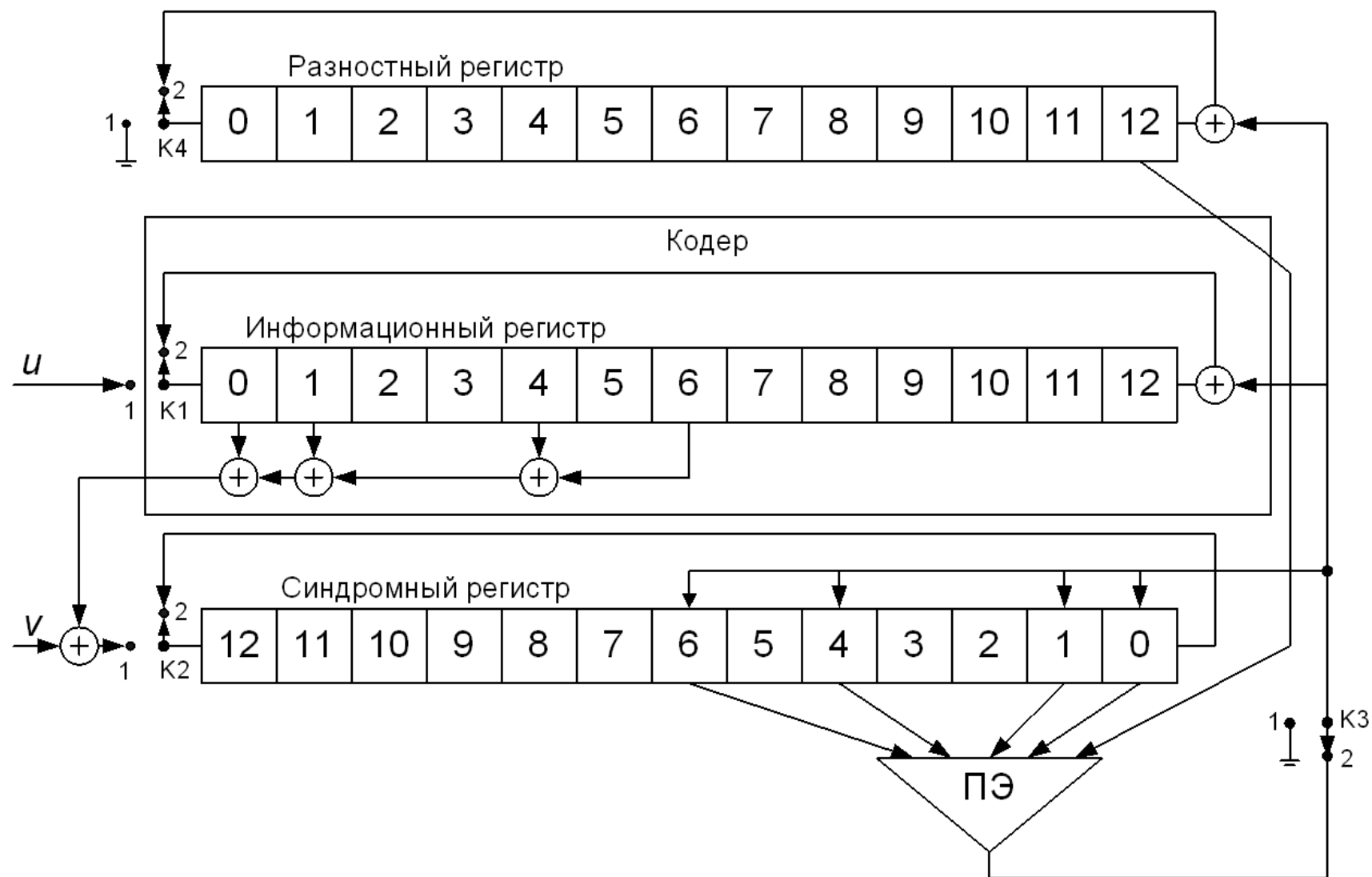


# Свёрточный многопороговый декодер для кода с $R=1/2$ , $d=5$ и 3 итерациями



→ Основа оптимизационной теории

# Блоковый МПД



# 1. Основная теорема многопорогового декодирования

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

## 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
- **И + ЕЩЁ!**



# Оптимизационная теория

- **ОТМПД – основа теории !**
- Все этапы:
- 1. сами алгоритмы МПД
- 2. выбор кодов (по критериям РО) и
- 3. настройка параметров алгоритма,
- – 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»  
- проф. А.С. Стрекаловский, НГУ.



Многопороговый 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**

**МПД для космоса, оптических каналов и флеш-памяти**

# Быстродействие МПД

## Демо примеры- софт! C++

АБГШ:  $d=9$ ,  $l=8 \longrightarrow 8 - 22$  Мбит/с

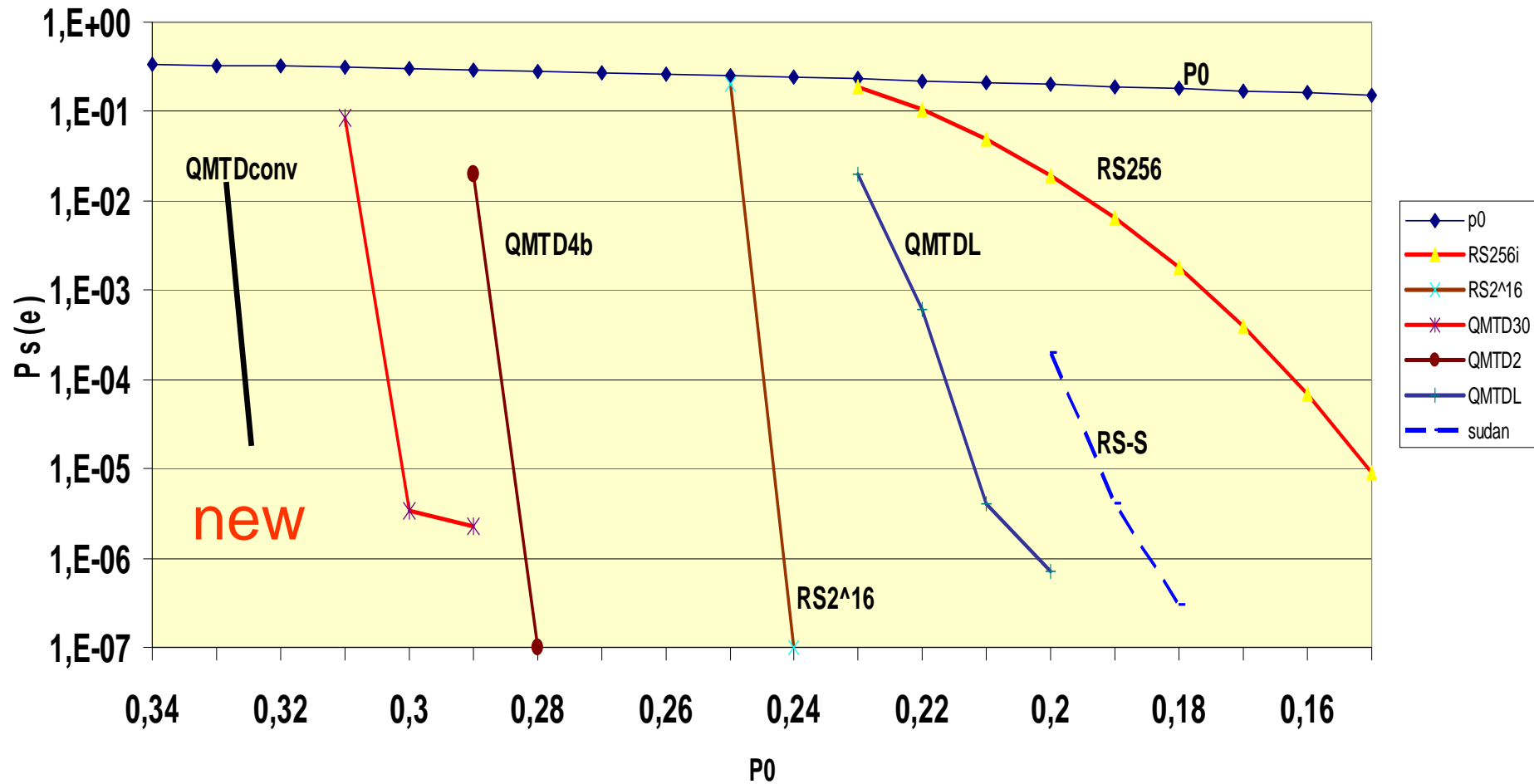
ДСК то же  $\longrightarrow$  до 25 Мбит/с

QСК  $q=2^{32}$   $d=7$   $l=5 \rightarrow 15 - 45$  Мбит/с

СтСК  $q=2-2^{32}$   $i=10 - 200$  до 60 Мбит/с


Это – калибровка для всех методов

# Performance QMTD and codes RS





# Первый патент по оптимизации

<p>Союз Советских Социалистических Республик</p>	<h2>О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ</h2>	<p>(11) 492878</p>
	<p><u>К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ</u></p>	
<p>Государственный комитет Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий</p>	<p>(61) Дополнительное к авт. свид-ву — (22) Заявлено 31.07.72 (21) 1816498/18-24 с присоединением заявки № — (23) Приоритет — (43) Опубликовано 25.11.75, Бюллетень № 43 (45) Дата опубликования описания 11.03.76</p>	<p>(51) М. Кл. G 06 f 11/08  (53) УДК 681.325.7 (088.8)</p>
<p>(72) Автор изобретения</p>	<p>В. В. Золотарев</p>	
<p>(71) Заявитель Московский ордена Трудового Красного Знамени физико-технический институт</p>		
<p>(34) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЕКОДИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ СВЕРТОЧНЫХ КОДОВ</p>		
<p>1</p>	<p>2</p>	



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ  
ЗНАКАМ

FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL  
PROPERTY, PATENTS  
AND TRADEMARKS

**Диплом**

НАГРАЖДАЕТСЯ

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

СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР  
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

**АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО**

№ 492878

На основании поданной, предоставленной Правительством СССР,  
Государственный комитет Совета Министров СССР по делам  
изобретений и открытий выдал настоящее авторское свидетельство  
ЗОЛОТАРЕВУ Валерию Владимировичу

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

в соответствии с описанием изобретения и приведенной в нем формулой,  
по заявке № 1616498 с приоритетом от 31 июля 1972г.  
заявитель изобретения: Московский орден Трудового Красного  
Знамени физико-технический институт

«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»  
(Золотарев В.В.)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**  
НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ  
№ 73569

УСТРОЙСТВО МНОГОУРОВНЕВОГО  
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 полезной модели 13 ноября 2007 г.  
Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений  
Российской Федерации 20 мая 2008 г.  
Срок действия патента истекает 13 ноября 2017 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной  
собственности, патентам и товарным знакам  
Б.П. Симонов

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 июня 2007 г.  
Зарегистрировано в Государственном реестре  
изобретений Российской Федерации 27 декабря 2009 г.  
Срок действия патента истекает 21 июня 2027 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной  
собственности, патентам и товарным знакам  
Б.П. Симонов

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  
Б.П. Симонов

# Основополагающие патенты

1. базовый МПД 1972 год
2. Сверхскоростной декодер (3#)

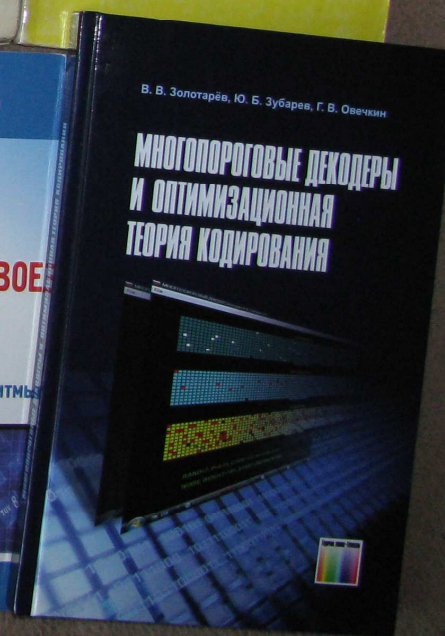
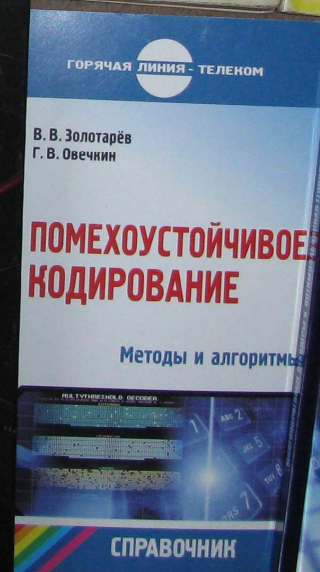
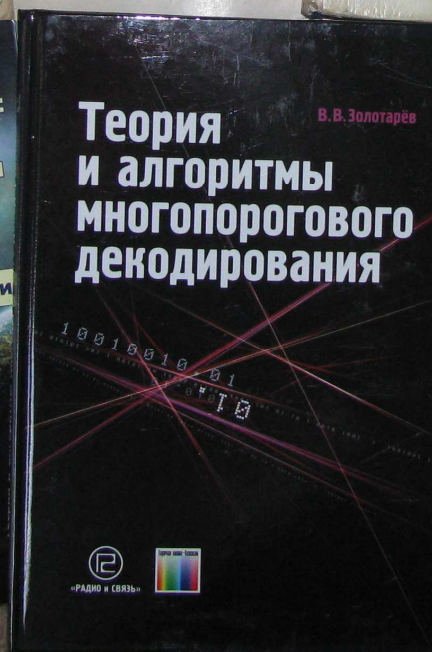
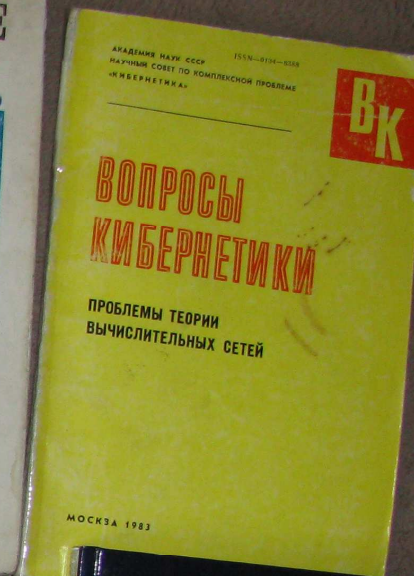
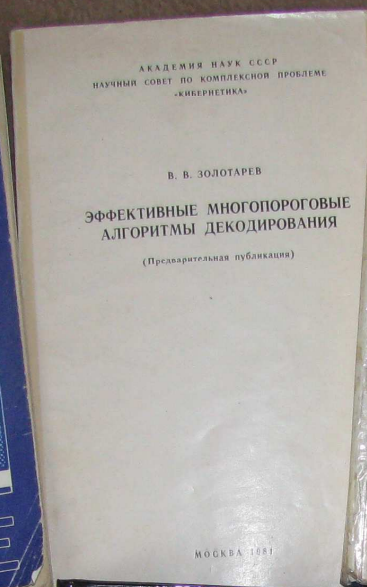
3. **Блочный** алгоритм Витерби

Было  $\sim 2^{2K}$  стало  $\sim 2^K!$  \* 16'000 раз!

4. Всего - 18 патентов  
(+20 из СССР)

\* ("Кассини") NASA







# **Главные награды за научные достижения**

**- премия**

**Правительства России  
в области науки и техники**

**Золотая медаль Евросоюза (ЕС)  
«За исключительные достижения»,  
вручаемая за особо значимые  
результаты в науке**





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

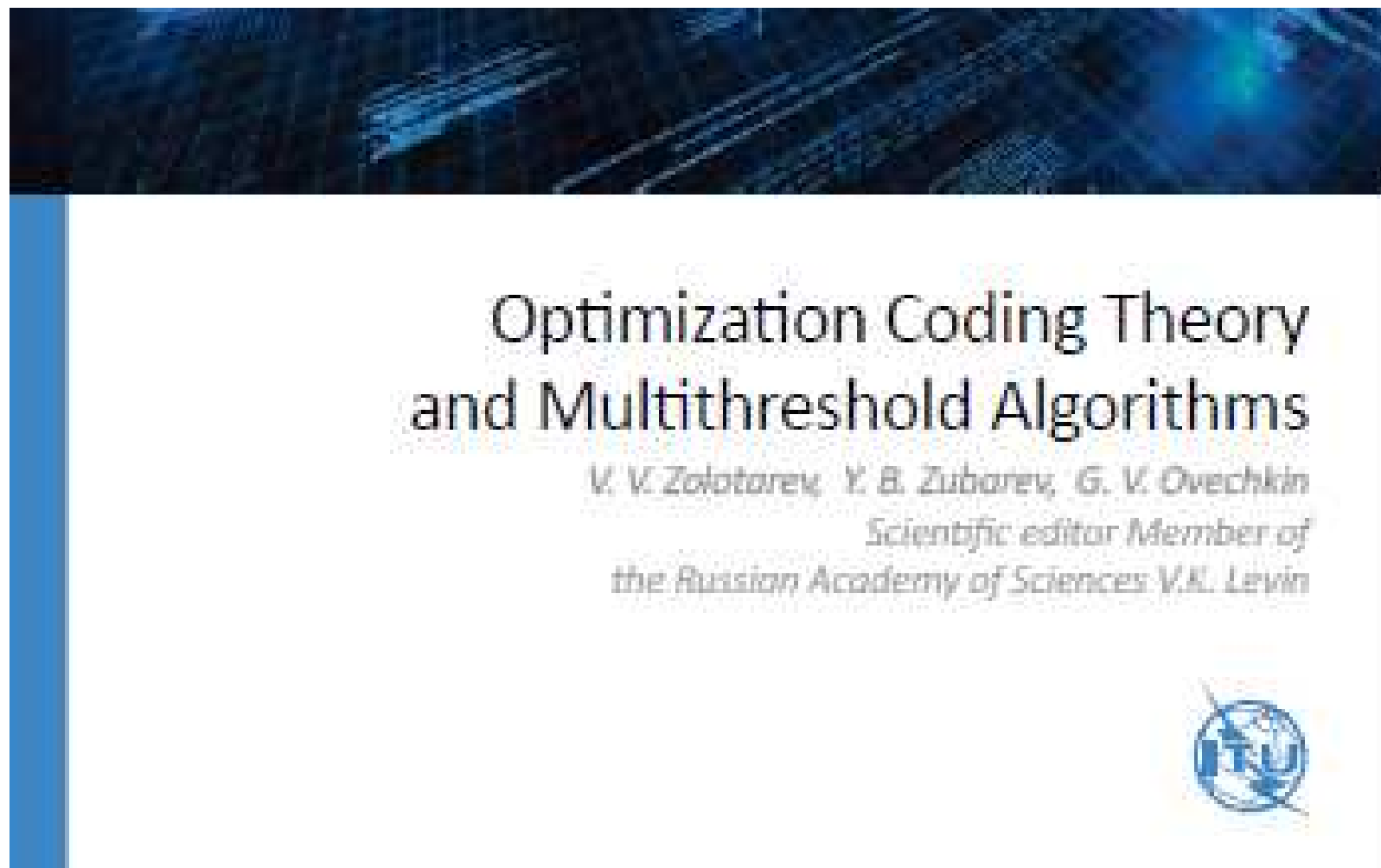
Д.И. Гезюлин

Руководитель  
Федеральной службы  
по интеллектуальной  
собственности

Б.П. Симонов



# Новая книга МСЭ/ITU





# Общая идеология ОТ

- Развивать следует в первую очередь алгоритмы декодирования с прямым контролем метрики (ДПКМ): АВ, БАВ, МПД и QМПД
- 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 – пока нет!
  - Новые направления в ТК: методы дивергентного кодирования (!!!), декодеры ДПКМ и новые каскадные схемы (параллельное и с R2~1 и 3D).
  - Нами поданы новые заявки на патенты. Получены первые зарубежные патенты.
  - Начались защиты диссертаций по ОТ за рубежом.

# наши сетевые порталы

- [www.mtdbest.iki.rssi.ru](http://www.mtdbest.iki.rssi.ru)
- [www.mtdbest.ru](http://www.mtdbest.ru)
- Статьи, монографии (выдержки), презентации, справки, лабораторные работы и множество демо-программ для всех лучших в мире декодеров с детальными инструкциями по их применению - крупнейший в мире портал по Оптимизационной Теории (ОТ) помехоустойчивого кодирования

# Наши порталы по ОТ и МПД

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

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

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

**Россия**



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%

- Алгоритмы Золотарёва с линейной сложностью стремятся к решению оптимального переборного декодера.
- Существенно, что целый ряд результатов научной школы автора является открытиями в области теории кодирования, на что совершенно справедливо указывает и научный редактор этой необычной книги академик РАН **Н.А. Кузнецов.**
- . Аналогов... кодам Золотарёва по простоте реализации и помехоустойчивости не существует.
- ОТ стала "квантовой механикой" теории кодирования на основе уже сформировавшихся методов поиска глобального экстремума функционалов специальных дискретных пространств.
- Профессор кафедры высшей математики Рязанского государственного радиотехнического университета, директор лаборатории системного анализа, доктор физико-математических наук **Миронов В.В.**



# РАН об Оптимизационной Теории

- ....Пять поколений МПД создано в НИИР....
- ..... 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. ....<sup>33</sup>
- (Подписано:10.03.2015г.) Член-корреспондент Ю.Б. Зубарев

- ....работы российской научной школы по теории кодирования преодолели долговременный кризис теории и на основе научно-идеологической революции, сменившей значительную часть основных парадигм теории кодирования, создали условия для её развития на совершенно новых основах. Можно сказать, что в теории кодирования сформировалась своя "квантовая механика". Она трудна, но плодотворна. Других путей пока нет.
- **Член-корреспондент РАН Ю.Б. Зубарев**
- **Журнал «Наукоёмкие технологии» 2016 г.**

# ***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**

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

# 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!

# Объём покрытия ОТ - основные кодовые кластеры

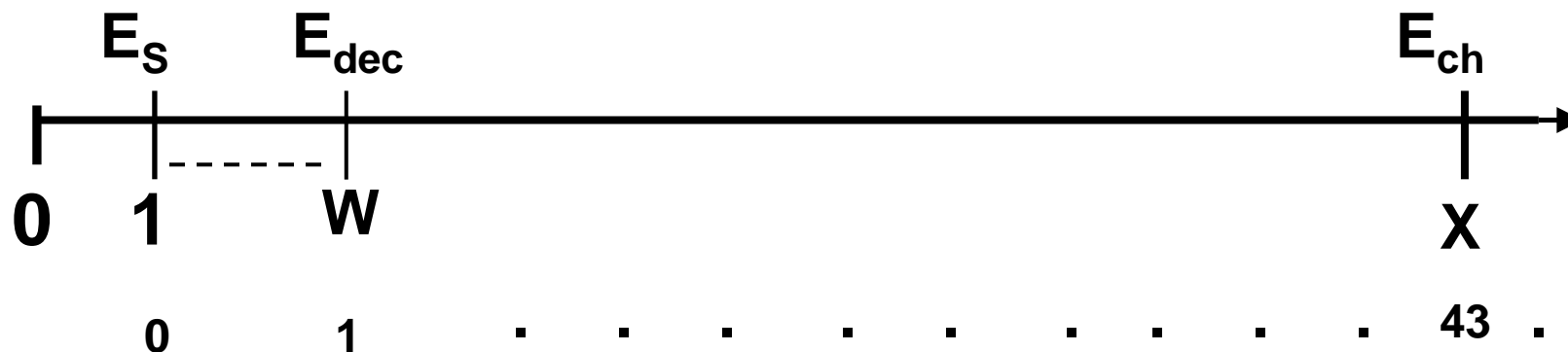
- 2 - Коды блоковые – **свёрточные**
- 3 - Коды **базовые** – каскадные (класс.посл. + паралл.)
- 2 - Модемы **жёсткие** – мягкие
- 2 - Коды двоичные – **символьные**
- 2 - Коды для стираний - для **ошибок**
- 2 - Кодовые скорости **средние** – высокие
- 2 - Декодеры **обычные** - сверхбыстрые
- 2 -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

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

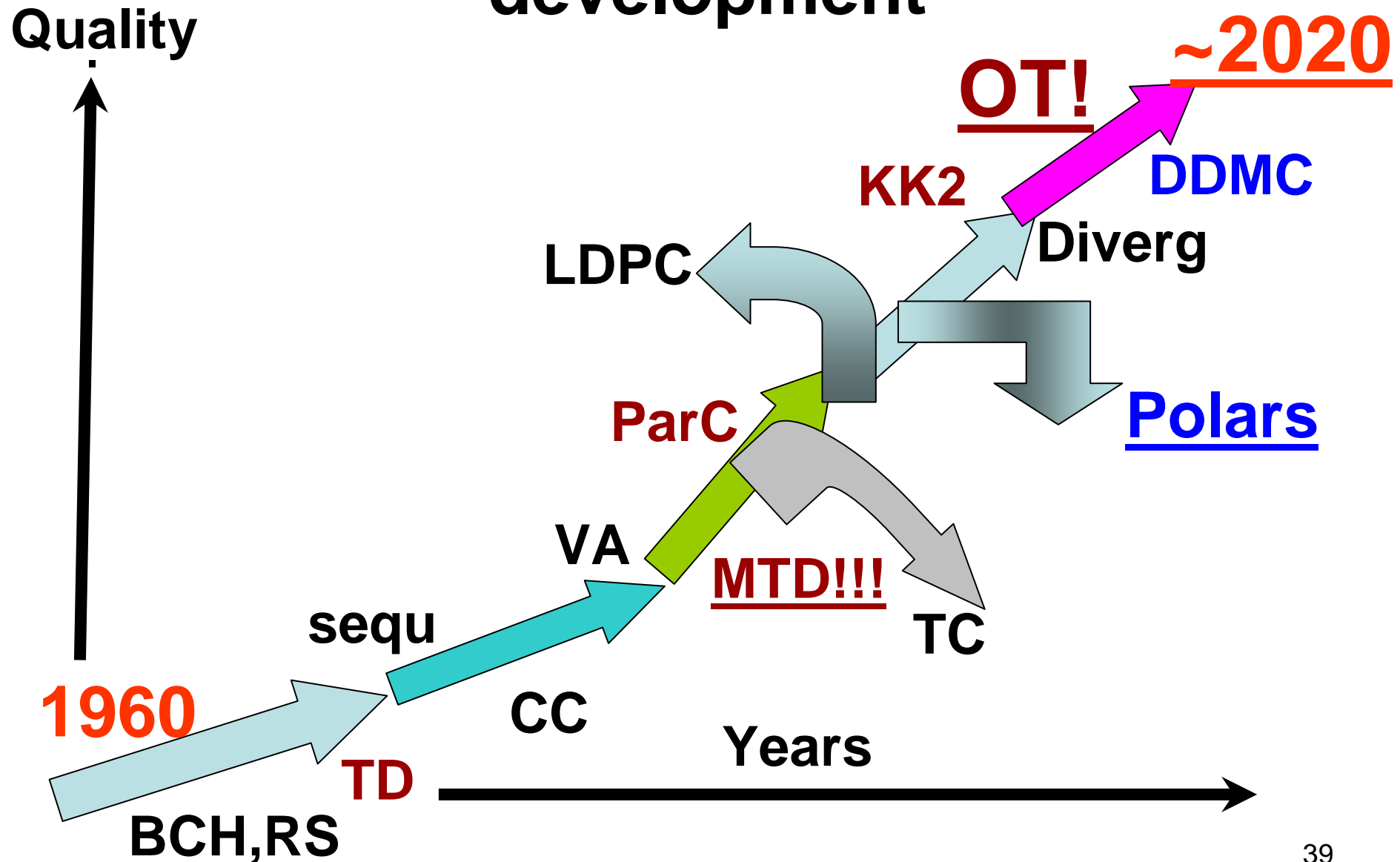
Дополнительные: АФМ, ФМ, НЭК, дивергентные коды и т.д.

# Критерий совершенства (от) Золотарёва

## КСЗ



# The dynamics of the coding theory development



# 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 Ридда-Соломона и многих других - **не нужно**, если решается вопрос о создании алгоритмов
- Поиск кодов с алгебраической структурой для гауссовских каналов и методов Чейза, Меггита и проч. – **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 работает при большом шуме. А при среднем и малом шуме успешно работают вообще все методы. Уже есть много всего. **Искать ничего уже давно не надо.**



- Функции сложности  $E$  для блочных кодов:  $L \sim 2^{En} \longrightarrow n=1000 \rightarrow 2^{500}$

0,5

$E$

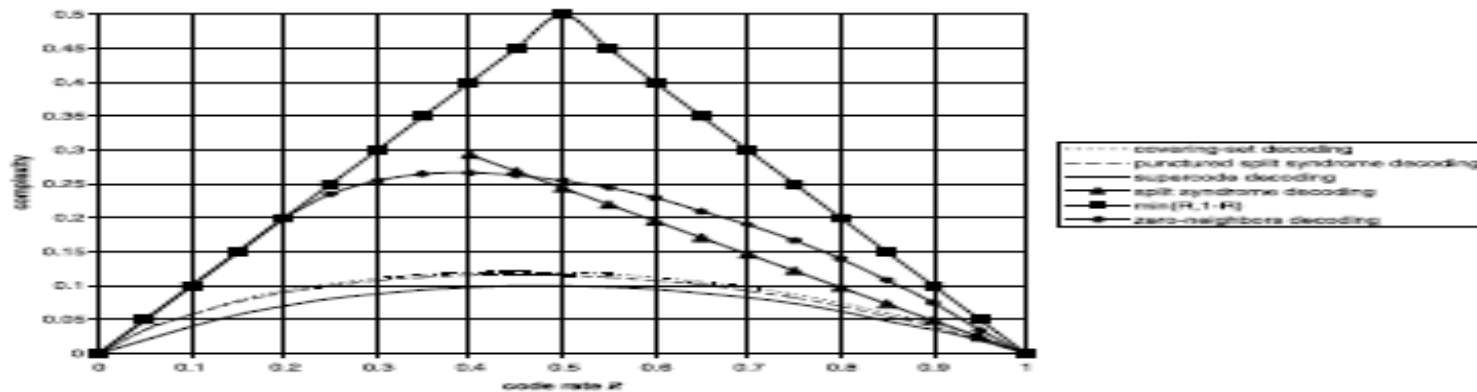


Figure 3.1 Complexity of the hard-decision decoding algorithms for binary codes

$R$

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

$K=10$

$K=20$

$n=200$



# Почему так?

- Айзенк Г., Айзенк М. - авторы IQ
- Исследования человеческой психики. — Почему мы ведём себя так. М., ЭКСМО-Пресс, 2001. - 480 с.

- -----

**Большинство людей должны  
быть подотчётны.**

**Иначе:** безответственность, жестокость,  
стремление подавлять других

# 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 вблизи пропускной способности  $C$ .
  - Для широкого диапазона параметров кодирования на основе 18 патентов и четырёх открытий в теории кодирования МПД алгоритмы выполняют на  $3\div 4$  порядка меньшее число операций и одновременно (!) обеспечивают на  $3\div 5$  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 многолетних исследований, которые для большого набора основных кластеров параметров систем кодирования на основе ОТ и методов МПД продемонстрировали успешное технологичное решение проблемы Шеннона для высокодостоверной и простой коррекции данных при их передаче по шумящим каналам **непосредственно 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 советской и российской науке!**<sup>45</sup>

# Программа вводного курса научно-методических лекций

## **« Современные методы декодирования на основе оптимизационной теории помехоустойчивого кодирования »**

В.н.с. ИКИ РАН, д. т. н., проф., Лауреат премии Правительства РФ по науке и технике и Золотой медали Европейского Союза (ЕС) "За исключительные достижения в науке"

**В.В. Золотарёв, моб.: +7-916-518-86-28, [www.mtdbest](http://www.mtdbest.com),  
[www.mtdbest.iki.rssi.ru](http://www.mtdbest.iki.rssi.ru)**

### ***Лекция 1.***

#### Обзор проблематики помехоустойчивого кодирования

Место и цель помехоустойчивого кодирования в технике связи.

Критерии эффективности кодирования: сложность, уровень шума, достоверность.

Характеристики алгоритмов декодирования. Классическая система парадигм.

Оптимизационная теория (ОТ) – новая «квантовая механика» в декодировании.

Сложность декодирования. Основные парадигмы ОТ. Новая проблематика в ОТ.

Демопрограммы декодеров двоичных кодов. Скорость декодирования.

Связь блоковых и свёрточных кодов. Перспективы развития теории кодирования.

**+ учебник!!!**



**Золотарёв Валерий Владимирович** – выпускник МФТИ, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института химических исследований Российской академии наук (ИХИ РАН), лауреат премии Правительства России в области науки и техники, награжден Золотой медалью Международной выставки изобретений и Золотой медалью Европейского союза (ЕС) «За исключительные достижения».

Опубликовал более 220 научных работ, в том числе 4 книги по прикладным методам теории кодирования. Международным союзом электросвязи (МСЭТУ) в 2013 г. издана на английском языке его монография. Обладатель 16 патентов на изобретения в РФ и за рубежом.

Золотарёв В. В. – автор Оптимизационной Теории (ОТ) помехоустойчивого кодирования, которая позволила создавать простые высокоэффективные и robust достоверные методы коррекции ошибок в цифровых системах, обеспечивающие успешную работу в непосредственной близости пропускной способности канала связи. Славасть предложенных им алгоритмов увеличивается с длиной кода лишь в минимальной линейной степени, что стало успешным и теоретическим решением проблемы Шеннона, поставленной более 70 лет назад.

На сетевых порталах научной школы В. В. Золотарёва представлены обширные материалы по ОТ и демопрограммы по многим алгоритмам декодирования.

Представлены теоретические и прикладные результаты современной теории кодирования как задачи поиска глобального экстремума функционала в дискретных пространствах. Рассмотрены различные методы простой коррекции ошибок при максимально допустимом уровне шума. Показано, что многопороговые декодеры, различные версии алгоритма Витерби и новые методы кодирования успешно решают на высоком технологическом уровне главную проблему теории информации – простое и эффективное декодирование вблизи границы Шеннона.

Для специалистов в области систем связи, инженеров, студентов старших курсов, а также аспирантов математических и радиотехнических факультетов.

Сайт издательства:

**www.techbook.ru**



ТЕОРИЯ КОДИРОВАНИЯ КАК ЗАДАЧА ПОИСКА ГЛОБАЛЬНОГО ЭКСТРЕМУМА

В. В. Золотарёв

# ТЕОРИЯ КОДИРОВАНИЯ КАК ЗАДАЧА ПОИСКА ГЛОБАЛЬНОГО ЭКСТРЕМУМА

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ ТЕОРИЯ  
ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО  
КОДИРОВАНИЯ –  
НОВАЯ «КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА»  
ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ



- 2018 год является юбилейным для теории кодирования. 70 лет назад Клод Шеннон выдвинул проблему простого и эффективного декодирования перед наукой и техникой в своей замечательной статье "Математическая теория связи". Отрадно найти её успешное решение в юбилейном году в монографии российского учёного.

Академик РАН

**Н.А. Кузнецов**

Лауреат Государственной премии СССР

Научный редактор этой монографии

(17 лет был директором ИППИ РАН)



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

**СПАСИБО !**

**РГРТУ**

**ИКИ РАН**

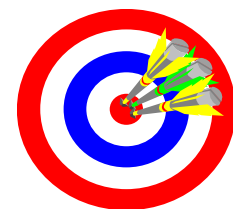
[www.mtdbest.iki.rssi.ru](http://www.mtdbest.iki.rssi.ru)

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

МОБ.: **+7-916-518-86-28**

**28.03.2018 г.**

**ИКИ РАН**



# Сложность АВ $\sim q^K$

- двоичный  $K=7$   $d=10$   $N \sim 64$
- “Kassiny”  $K=15$   $N \sim 16000$   
(финал - Сатурн - 2017)
- $q=256$   $K=5$   $N \sim 4'000'000'000$

- Мощные коды использовались ещё в прошлом тысячелетии в проекте NASA "Кассини" для исследований Сатурна, который был успешно завершён в сентябре 2017 года. (**сверточный код с  $K=15$  и алгоритм Витерби со сложностью  $2^{14}$** ).

Автор показал совершенно особые возможности замечательного алгоритма Витерби (AB), на который **он недавно получил патент.**

- Алгоритмы автора декодируют сообщения вблизи границы Шеннона, что и является конечной целью теории кодирования.
- Создана полномасштабная Оптимизационная Теория для поиска условий успешного декодирования.
- Некоторые из результатов автора являются открытиями в теории кодирования.
- Получено уже более 15 патентов на ОТ методы и МПД алгоритмы, в том числе и за рубежом.

(Из вводной статьи академика РАН **Н.А. Кузнецова** к монографии В.В. Золотарёва )

- ....работы российской научной школы по теории кодирования преодолели **долговременный кризис теории** и на основе научно-идеологической революции, сменившей значительную часть основных парадигм теории кодирования, создали условия для её развития на совершенно новых основах. Можно сказать, что в теории кодирования сформировалась своя **'квантовая механика'**. Она трудна, но плодотворна. Других путей пока нет.
- **Член-корреспондент РАН Ю.Б. Зубарев**
- **Журнал «Наукоёмкие технологии» 2016 г.**

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

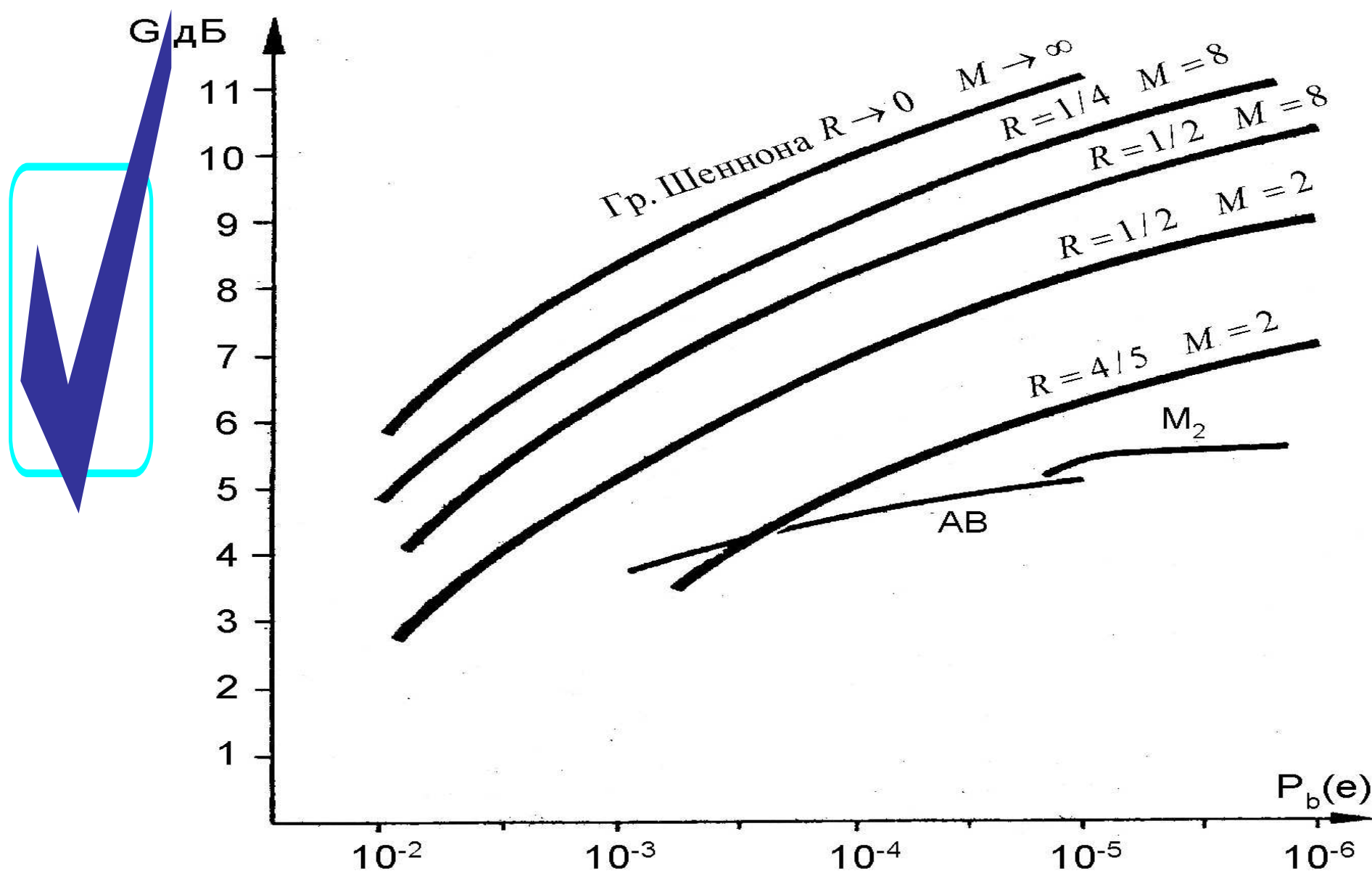
- Всегда должно выполняться условие

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

- 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<sup>53</sup>

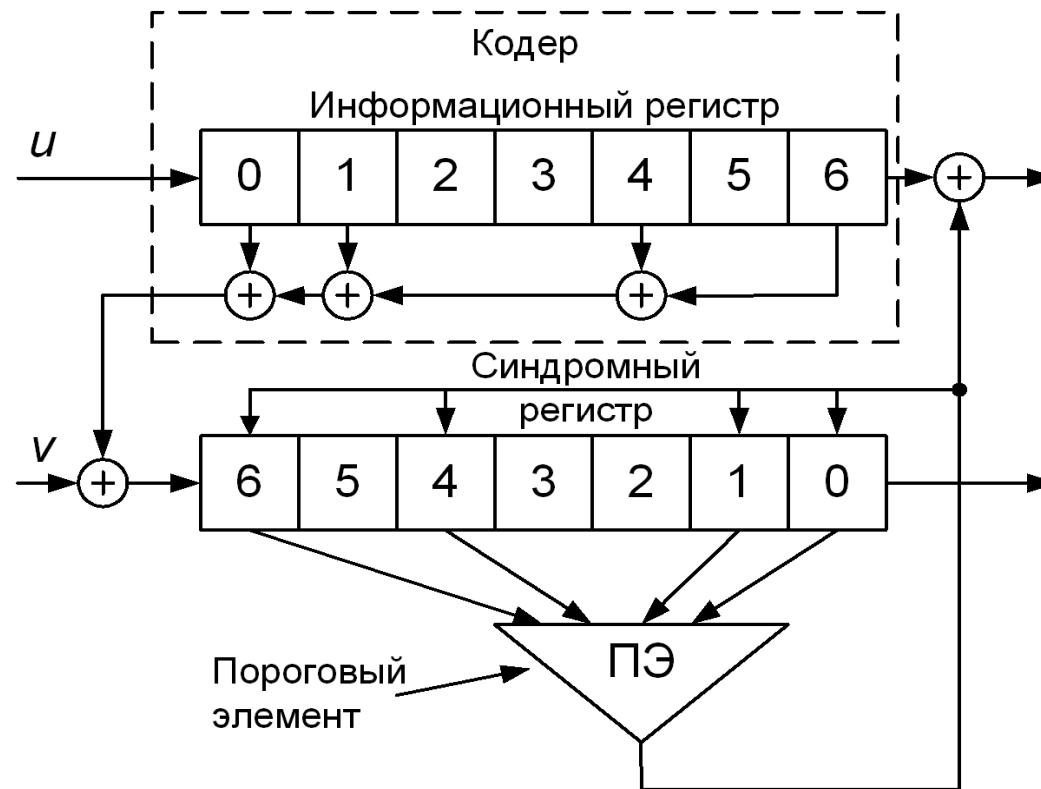
# Предельный ЭВК из условия $R < C$



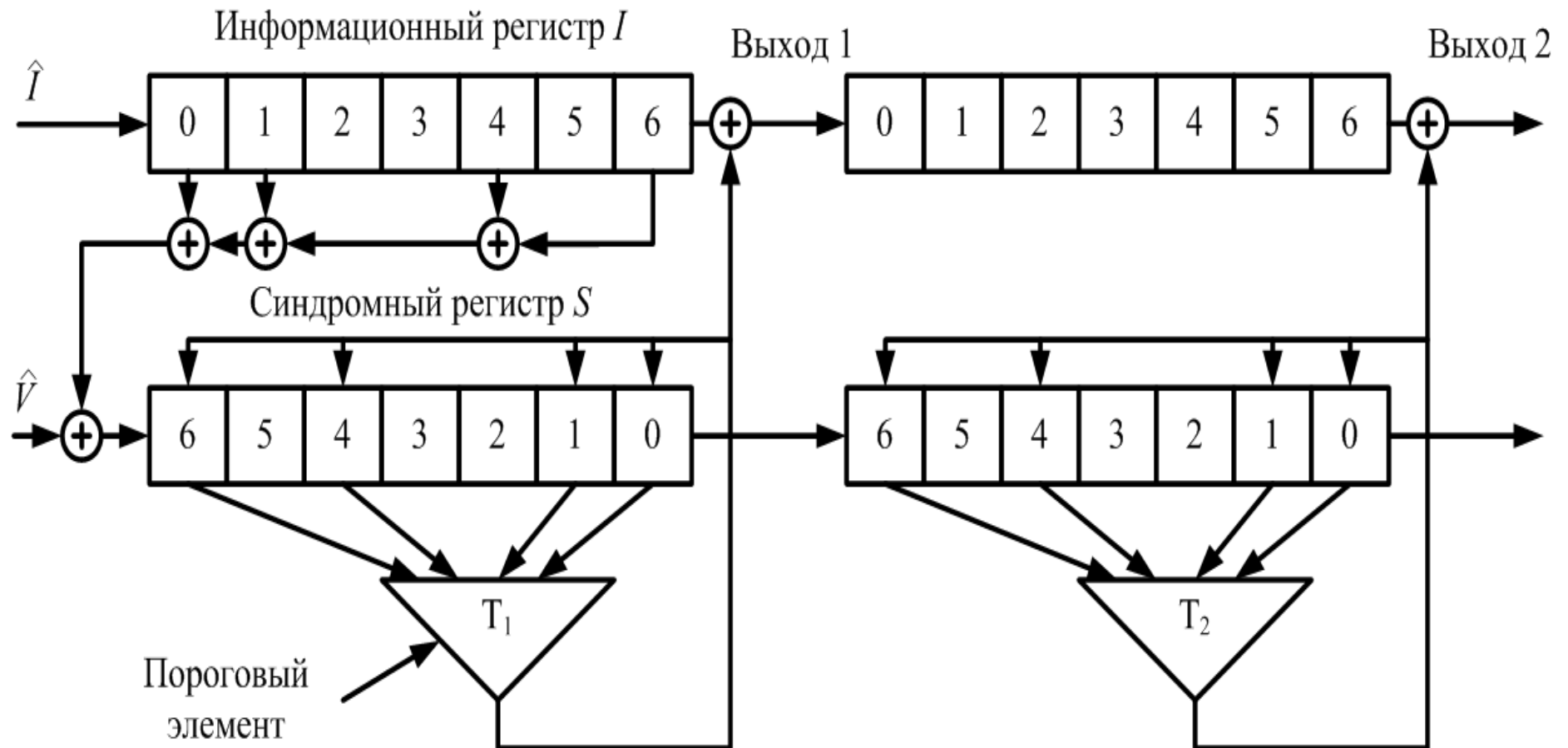
# Исходный метод:

## пороговое декодирование –

### простейший метод коррекции ошибок

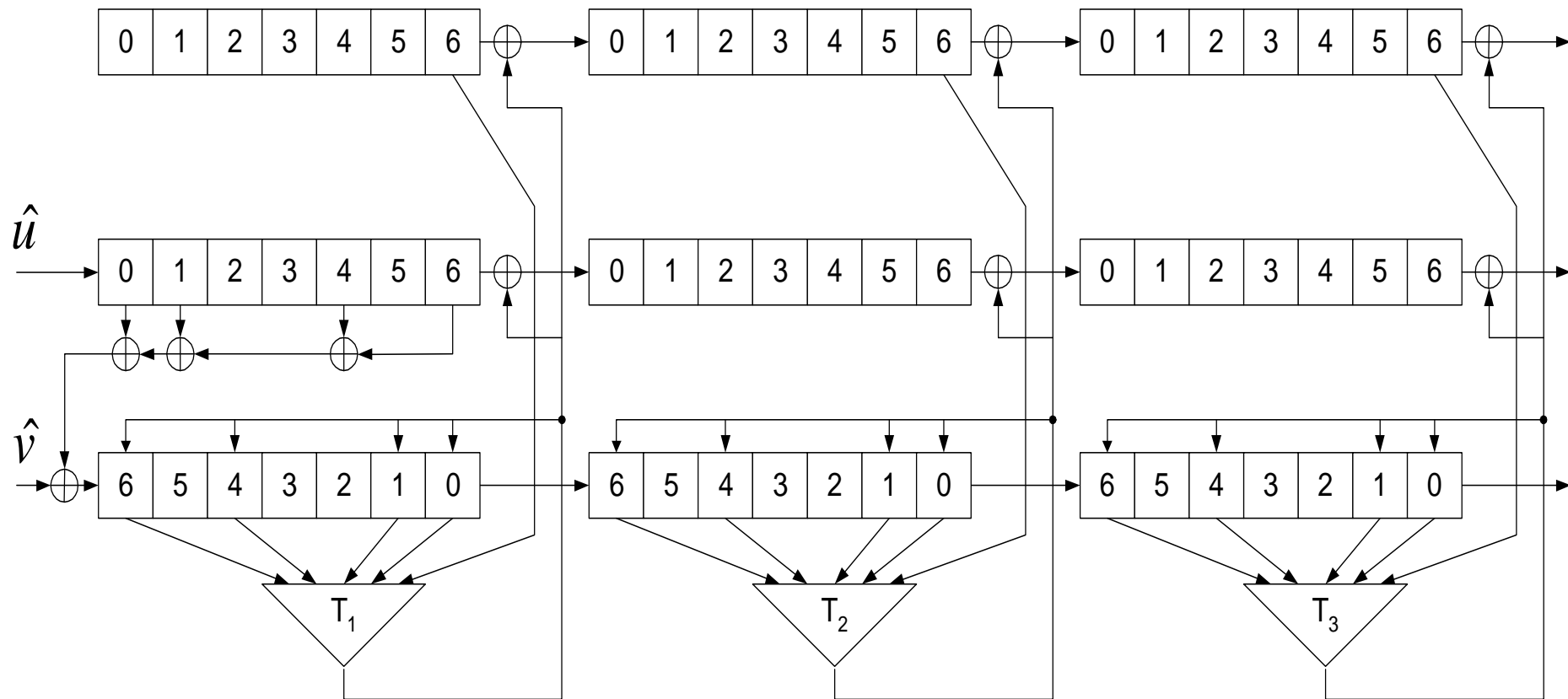


# Пороговое повторное декодирование свёрточного кода с $R=1/2$ , $d=5$ и $n_A=14$ . Это – слабо!



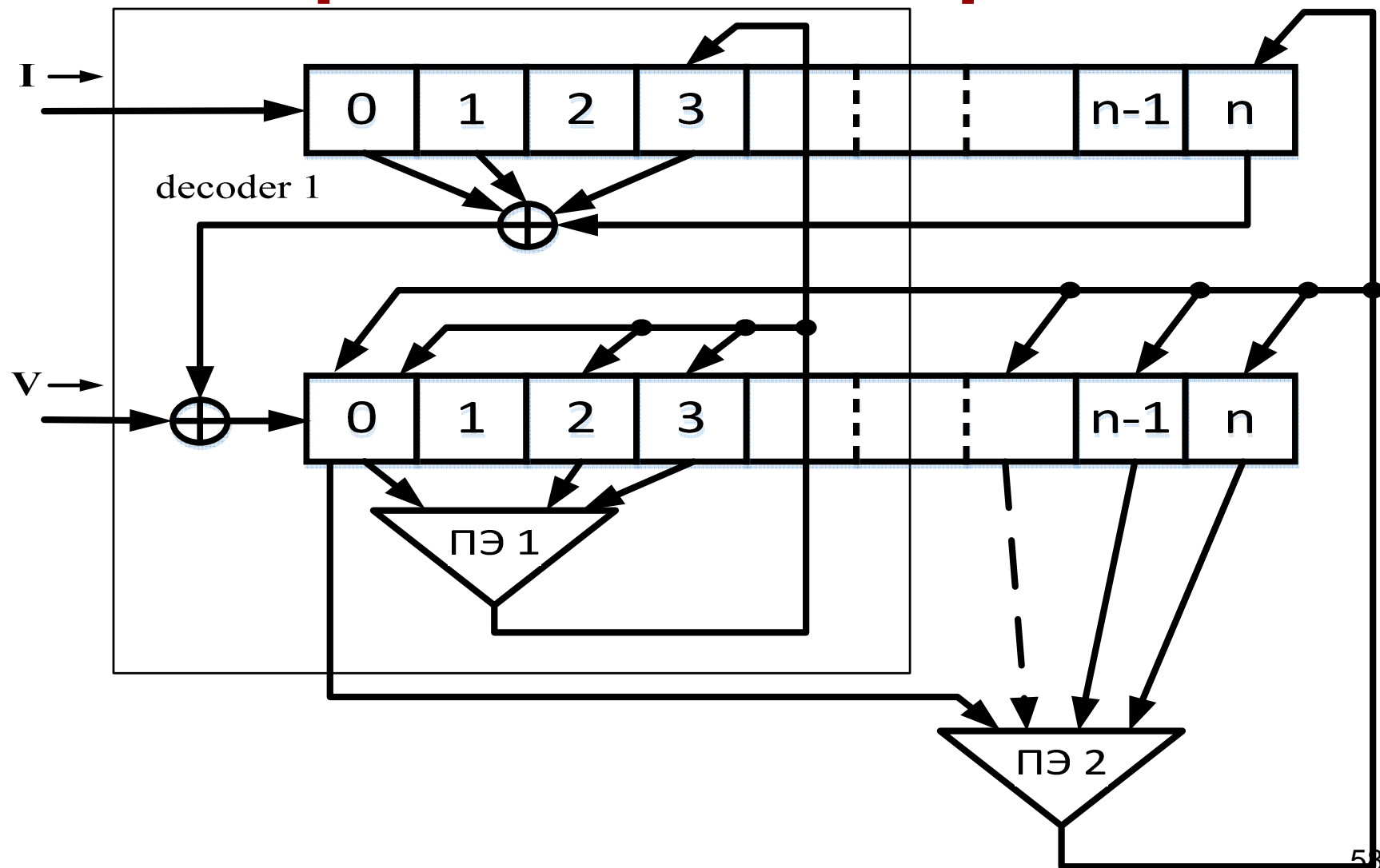


# Свёрточный многопороговый декодер для кода с $R=1/2$ , $d=5$ и 3 итерациями



→ Основа оптимизационной теории

# Принципы дивергентного кодирования



- Мощные коды использовались ещё в прошлом тысячелетии в проекте NASA "Кассини" для исследований Сатурна, который был успешно завершён в сентябре 2017 года. (**сверточный код с  $K=15$  и алгоритм Витерби со сложностью  $2^{14}$** ).
- Автор показал совершенно особые возможности замечательного алгоритма Витерби (AB), на который **он недавно получил патент.**
- Алгоритмы автора декодируют сообщения вблизи границы Шеннона, что и является конечной целью теории кодирования.
- Создана полномасштабная Оптимизационная Теория для поиска условий успешного декодирования.
- Некоторые из результатов автора являются открытиями в теории кодирования.
- Получено уже более 15 патентов на ОТ методы и МПД алгоритмы, в том числе и за рубежом.

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

**АВ, БАВ**

и двоичные коды для **МПД**

длины  $10^5$  и более

с кодовой скоростью

$$R=0,125 \div 0,9$$

**Турбо коды**

Каскадные коды  
АВ и РС

**LDPC коды**

# Мир недвоичных кодов

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

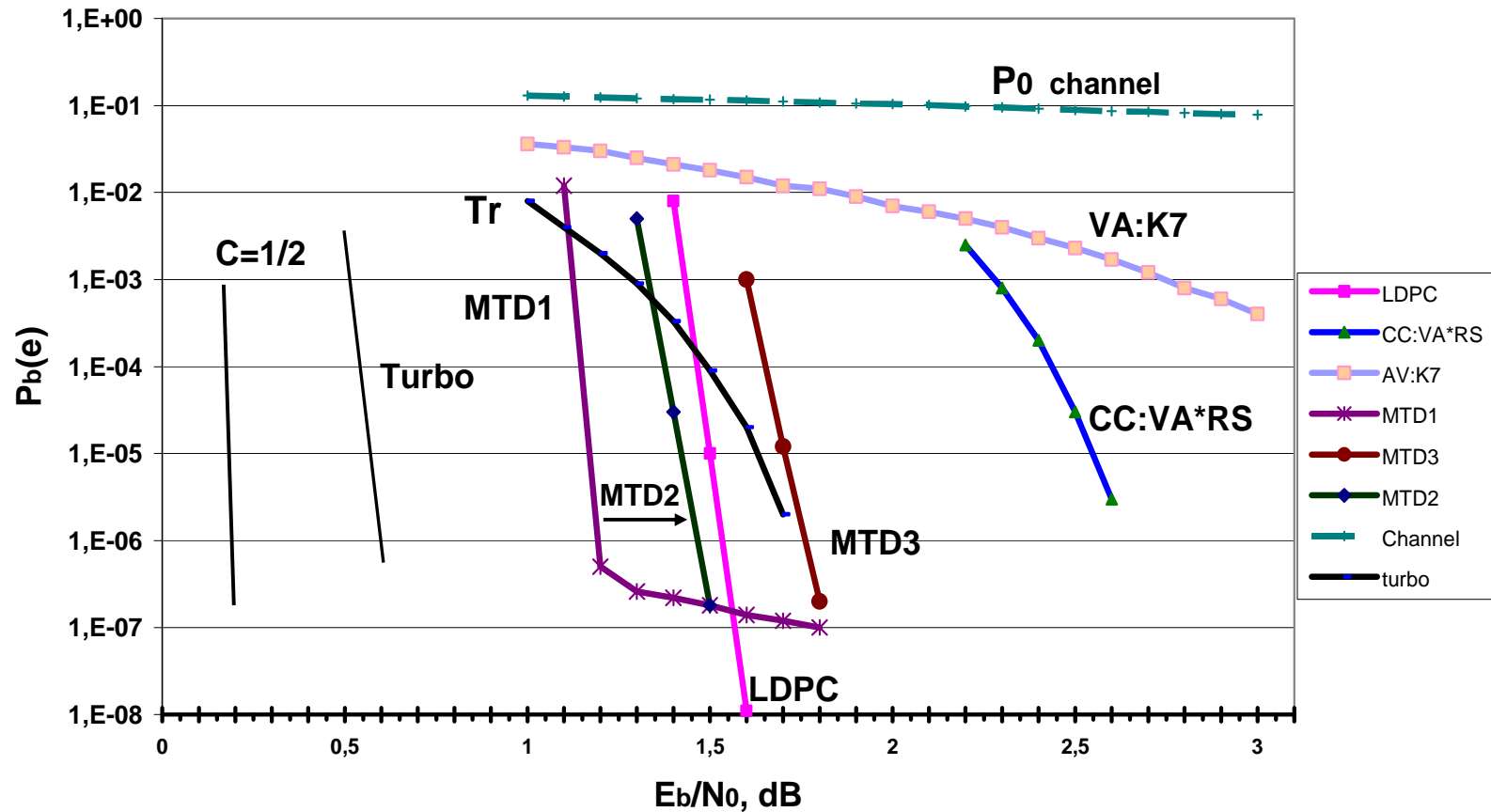
?

Коды Рид-Соломона  
длины до 255

?

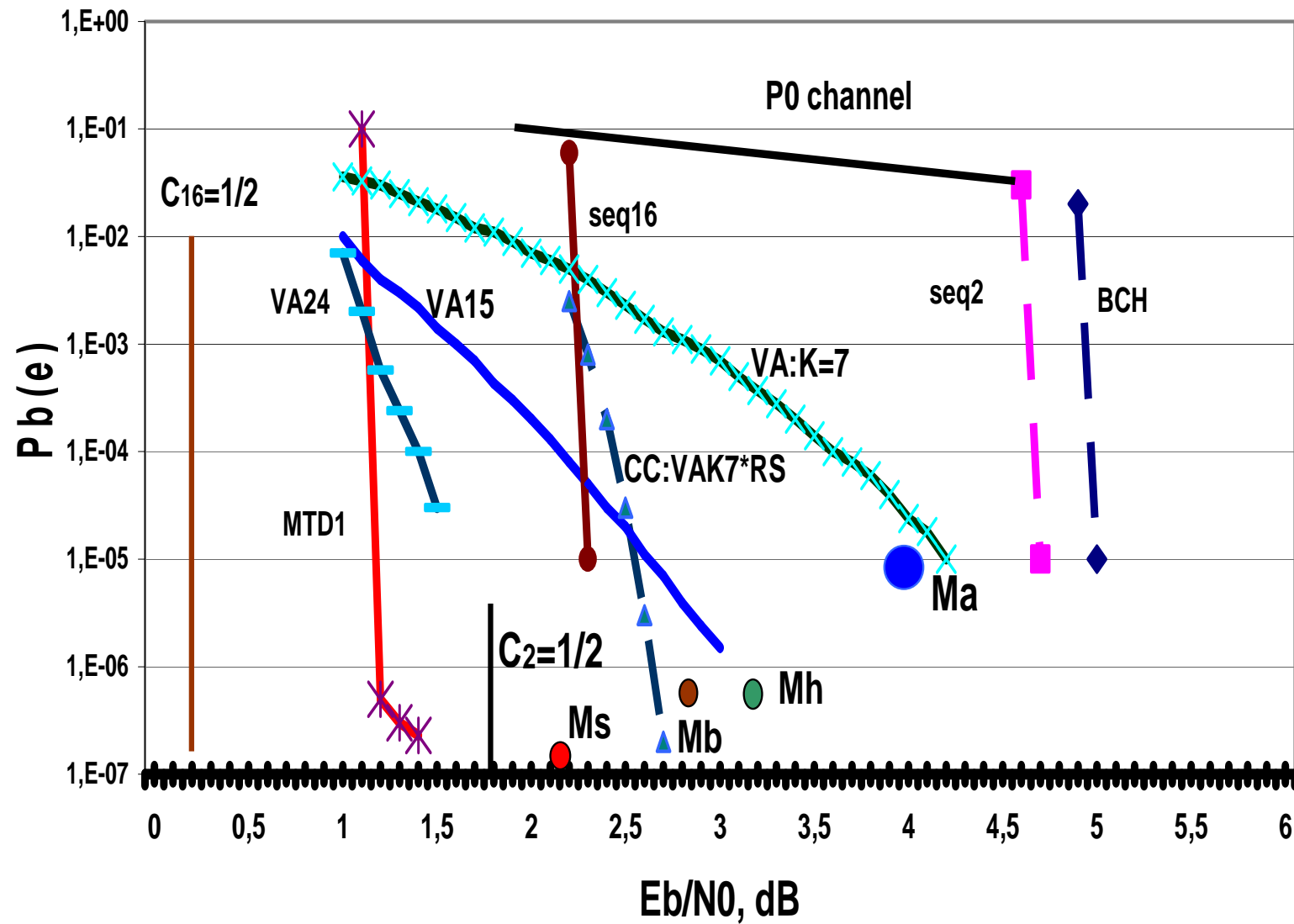
# Характеристики методов декодирования в гауссовских каналах

Performance of AV, new MTD and other decoders

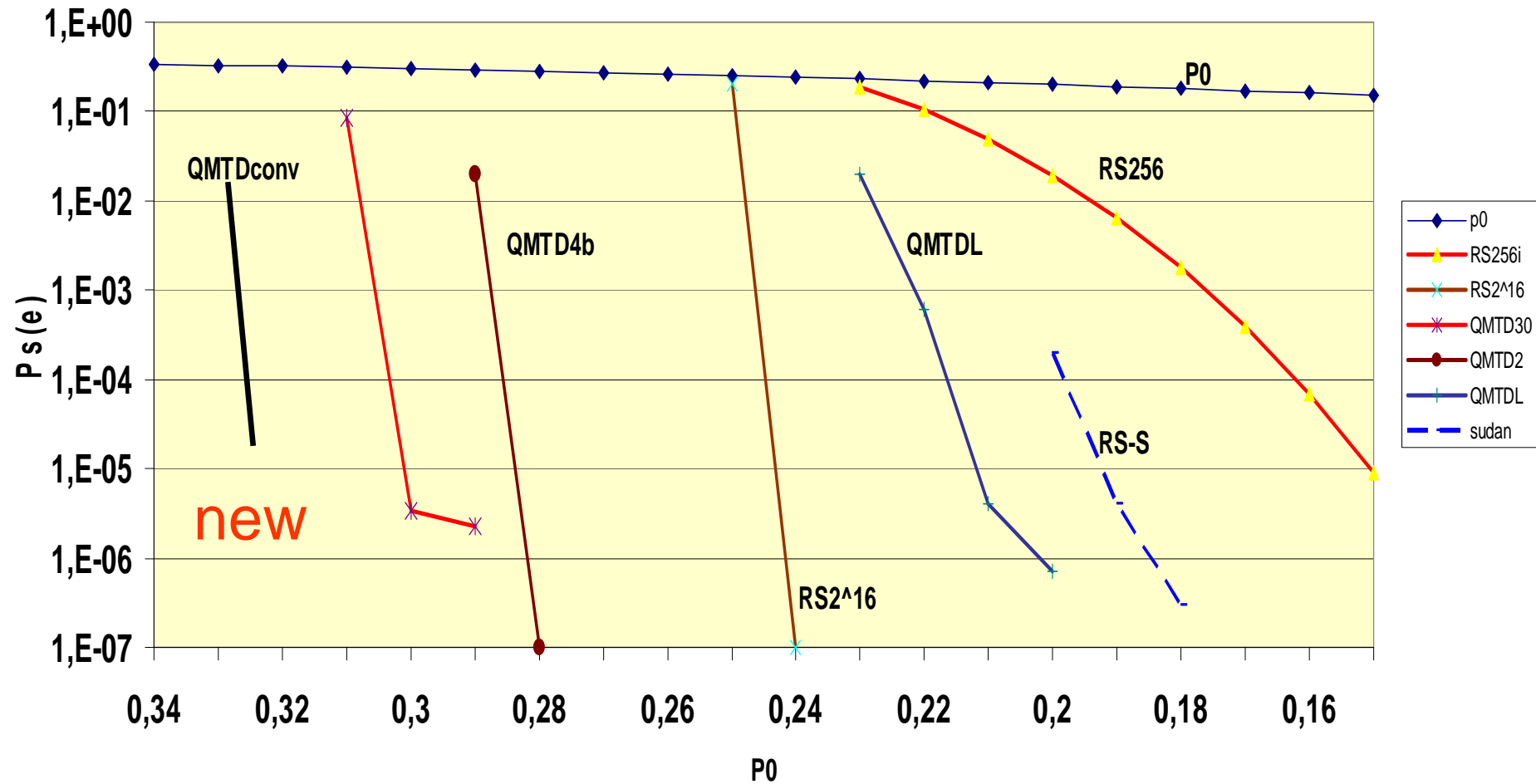




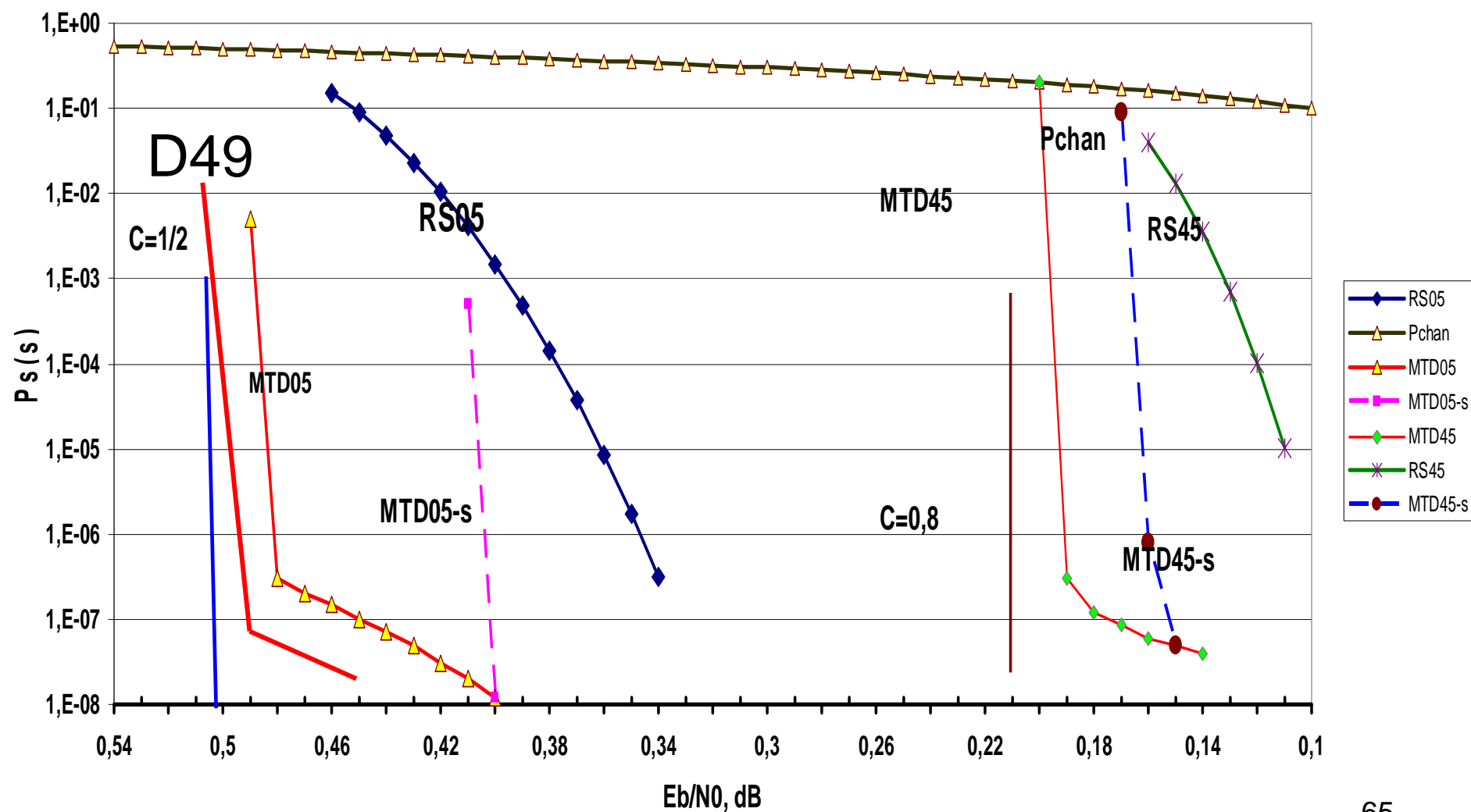
# ОТ: приём эстафеты от алгебраической теории



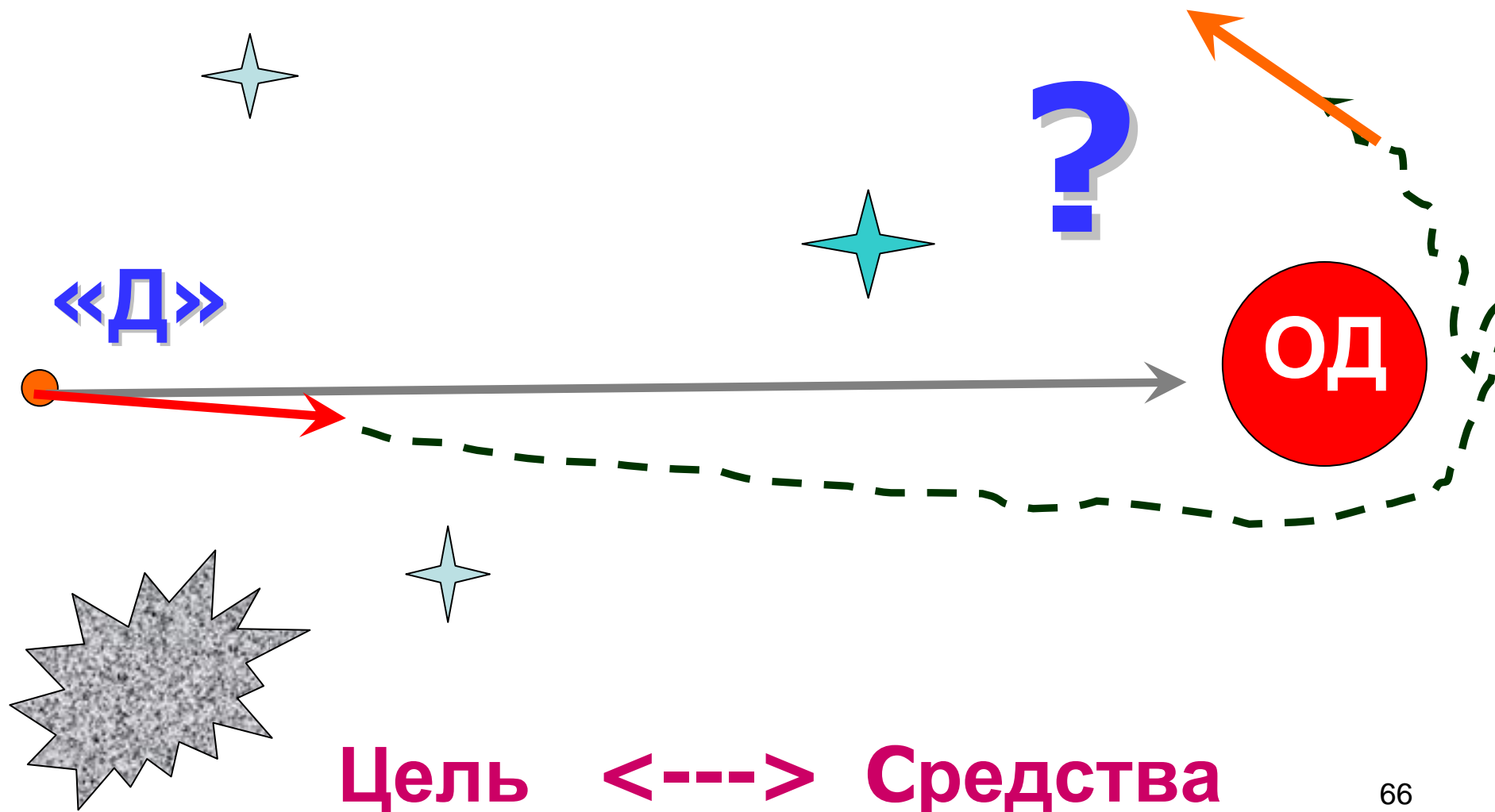
# Performance QMTD and codes RS



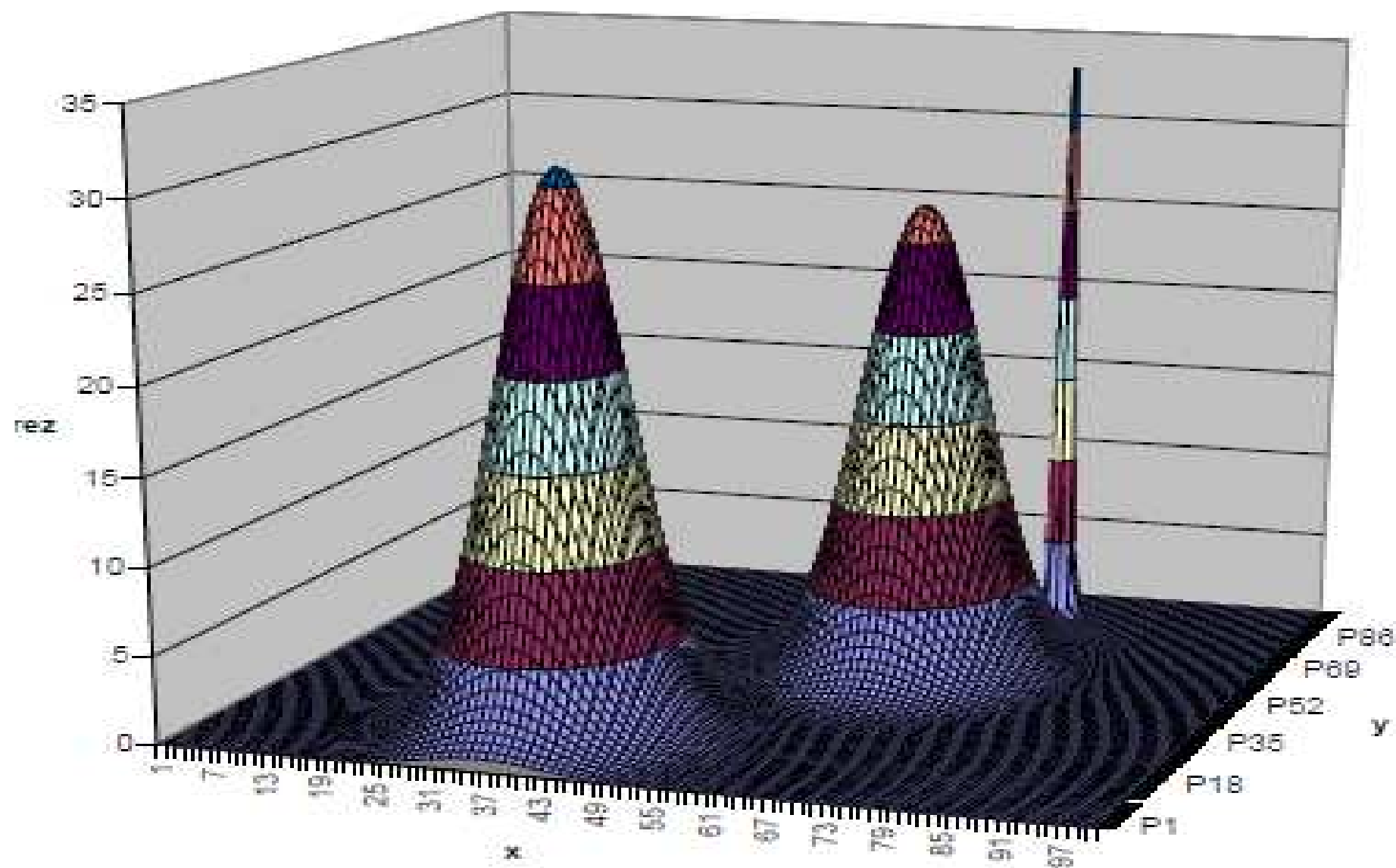
# Характеристики МПД и кодов РС в каналах со стираниями



# Исключительная важность класса алгоритмов ДПКМ



# Четвёртая проблема ОТ-ДПКМ



# Экспонента сложности

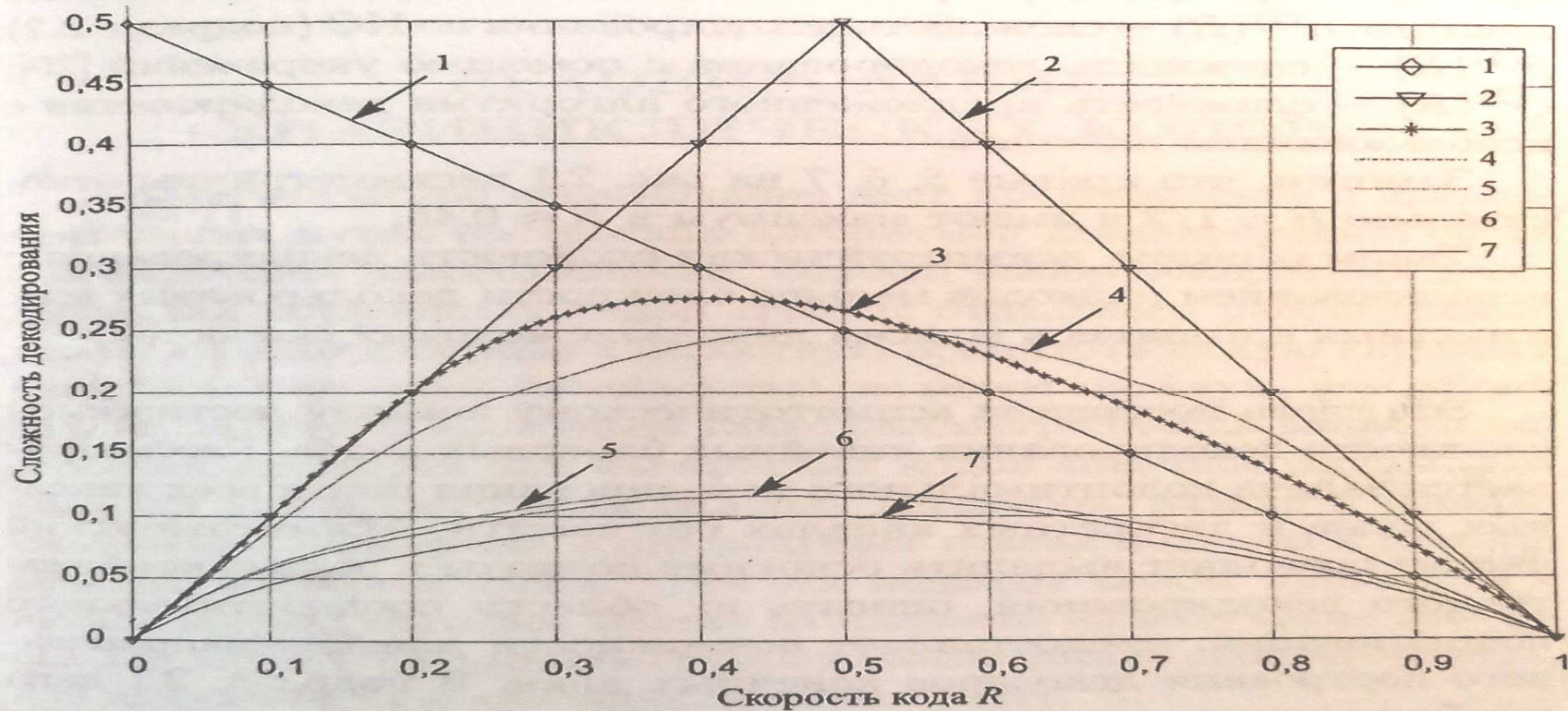


Рис. 2.1. Сложность алгоритмов декодирования двоичных кодов: 1 –  $\min\{R, 1 - R\}$ ; 2 – Левитин, Хартман [1985]; 3 – Евсеев [1983]; 4 – Думер [1989]; 5 – Крук [1989]; 6 – Думер [1991]; 7 – Крук



# 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

# **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***

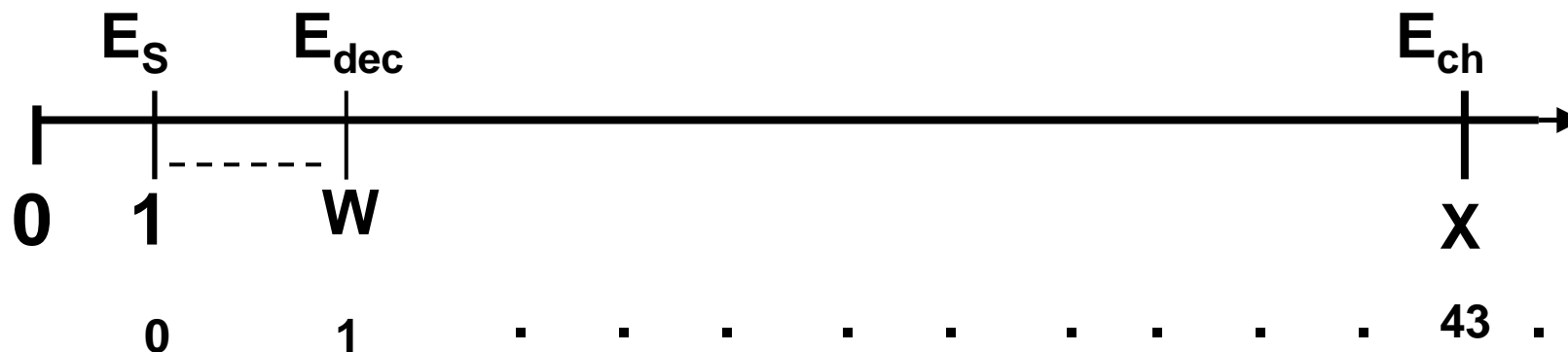
***Jeneva, 2015***

# Один из документов на Золотую медаль Евросоюза за научные достижения



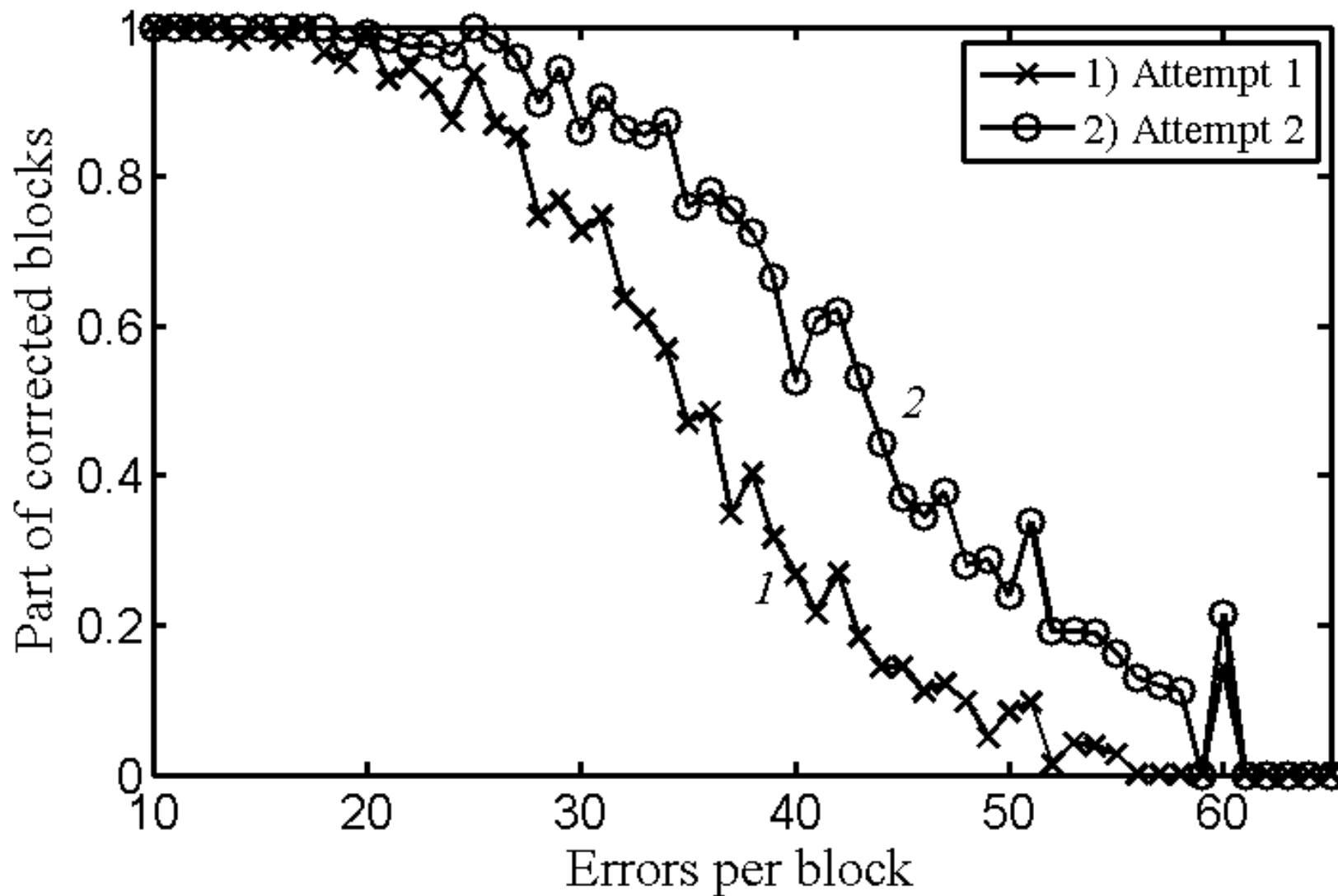
# Критерий совершенства (от) Золотарёва

## КСЗ



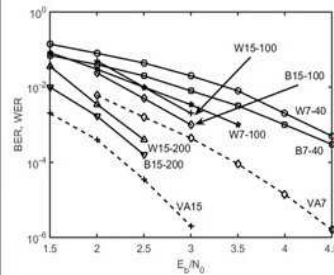
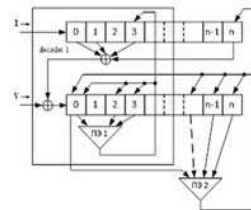
# Repeated threshold decoding

$d=11, R=1/2$



В. В. Золотарёв

# ТЕОРИЯ КОДИРОВАНИЯ КАК ЗАДАЧА ПОИСКА ГЛОБАЛЬНОГО ЭКСТРЕМУМА



ОПТИМИЗАЦИОННАЯ ТЕОРИЯ  
ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО  
КОДИРОВАНИЯ –  
**НОВАЯ «КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА»**  
ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ





# 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 Ридда-Соломона и многих других - **не нужно**, если решается вопрос о создании алгоритмов
- Поиск кодов с алгебраической структурой для гауссовских каналов и методов Чейза, Меггита и проч. – **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 уже давно не надо.**

# Основная теорема многопорогового декодирования

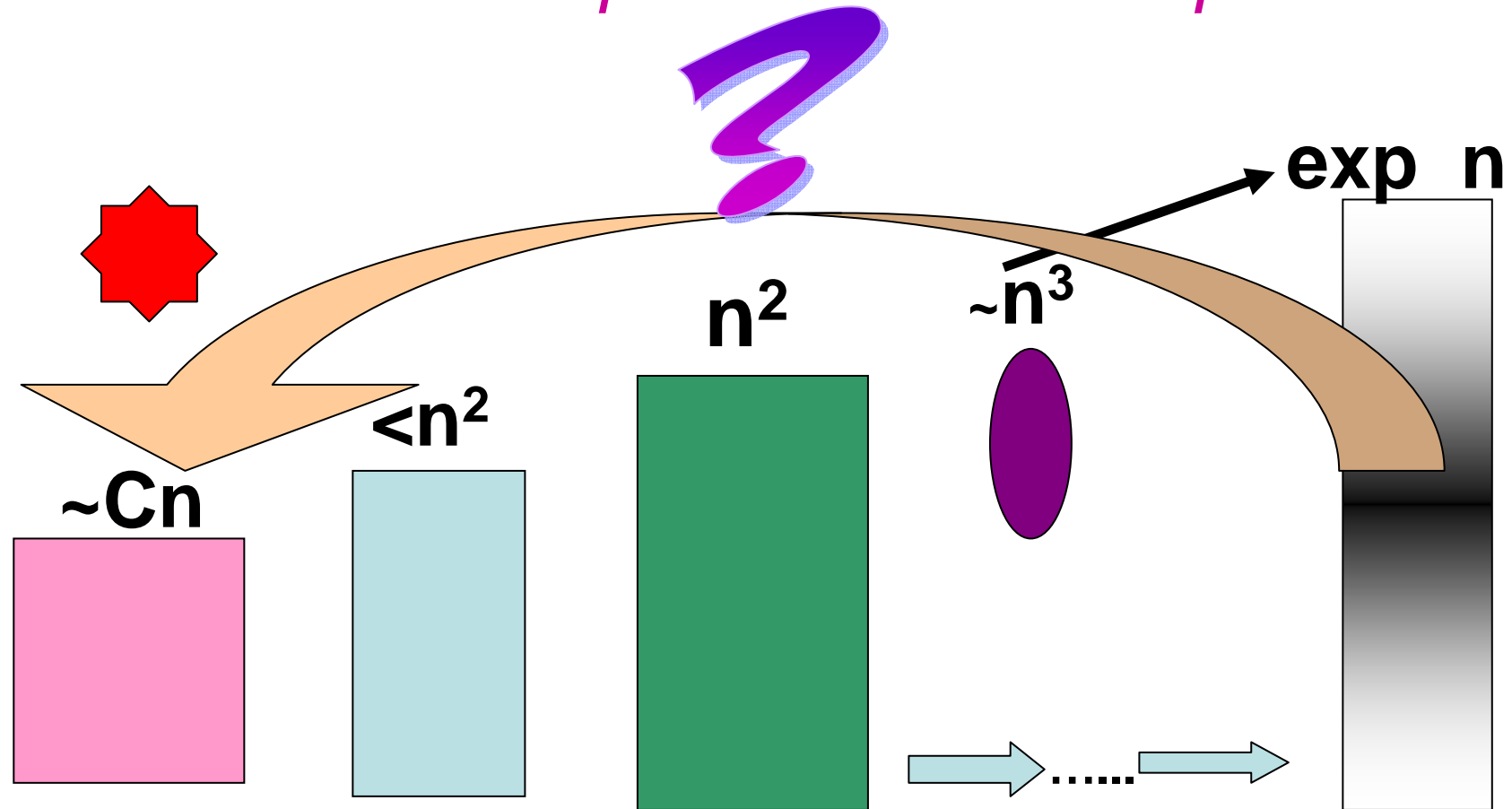
- .....
- **Теорема 2.2. Основная теорема многопорогового декодирования.**
- Если на произвольном  $j$ -м шаге декодирования МПД изменяет информационный символ  $i_j$ , то:
- а) при этом МПД находит новое кодовое слово , более близкое к принятому сообщению , чем то кодовое слово , которому соответствовало значение  $i_j$  перед  $j$ -м шагом декодирования: //
- $|A_1 - Q| > |A_2 - Q|$
- б) после окончания  $j$ -го шага возможно декодирование любого очередного символа  $i_k$ ,  $k \neq j$ , так что при его изменении будет осуществлено дальнейшее приближение к принятому сообщению.
- .....

# Предложения

- В связи с завершившимся кризисом в теории кодирования желательно сотрудничество в области ОТ.
- Так как при этом необходимы совершенно другие средства исследований и разработок, предлагается передача и помощь в освоении таких программ под Windows на основе парадигм ОТ, методов АВ, БАВ, новых каскадных схем и символьных алгоритмов.
- Предлагается программа курса лекций по ОТ и консультации по всем вопросам этого курса.
- В связи со сложившейся ситуацией полезно признать желательность публикации всех алгоритмов декодирования в научной периодике только при наличии сведений о программном быстродействии (но не на основе “Matlab”, а, например, C++).
- Данные предложения являются рамочными и могут быть существенно переработаны.

# Обновление главной парадигмы теории кодирования

*Сложность алгоритмов декодирования*



# 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** - конвергентные

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

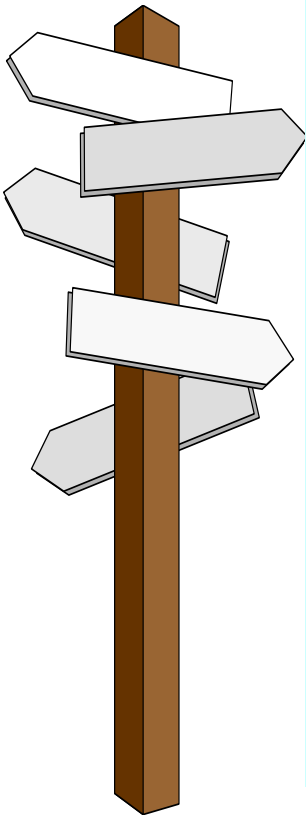
# Цель применения кодирования в каналах связи

$$G=Rd$$

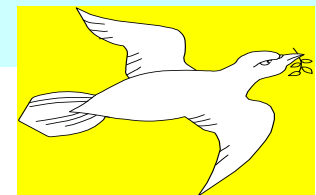
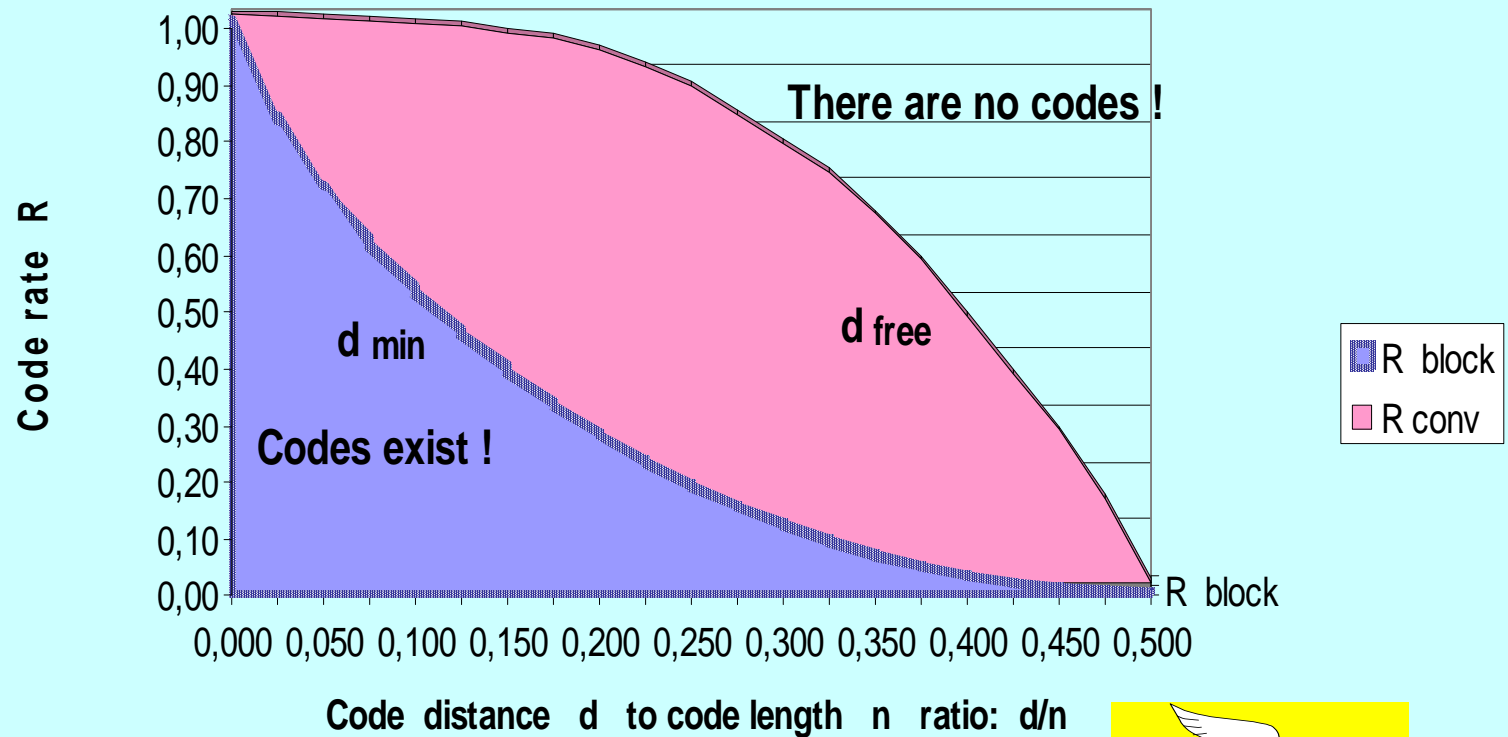
- . - Не привязывается к длине кода  $n$  !
  - И при этом надо работать:  
При меньшей энергетике канала  $E_b/N_0$
  - Максимально быстро – аппаратно
  - Минимально просто - программно
  - Почти абсолютно достоверно!



# Limits of correcting properties for two code classes



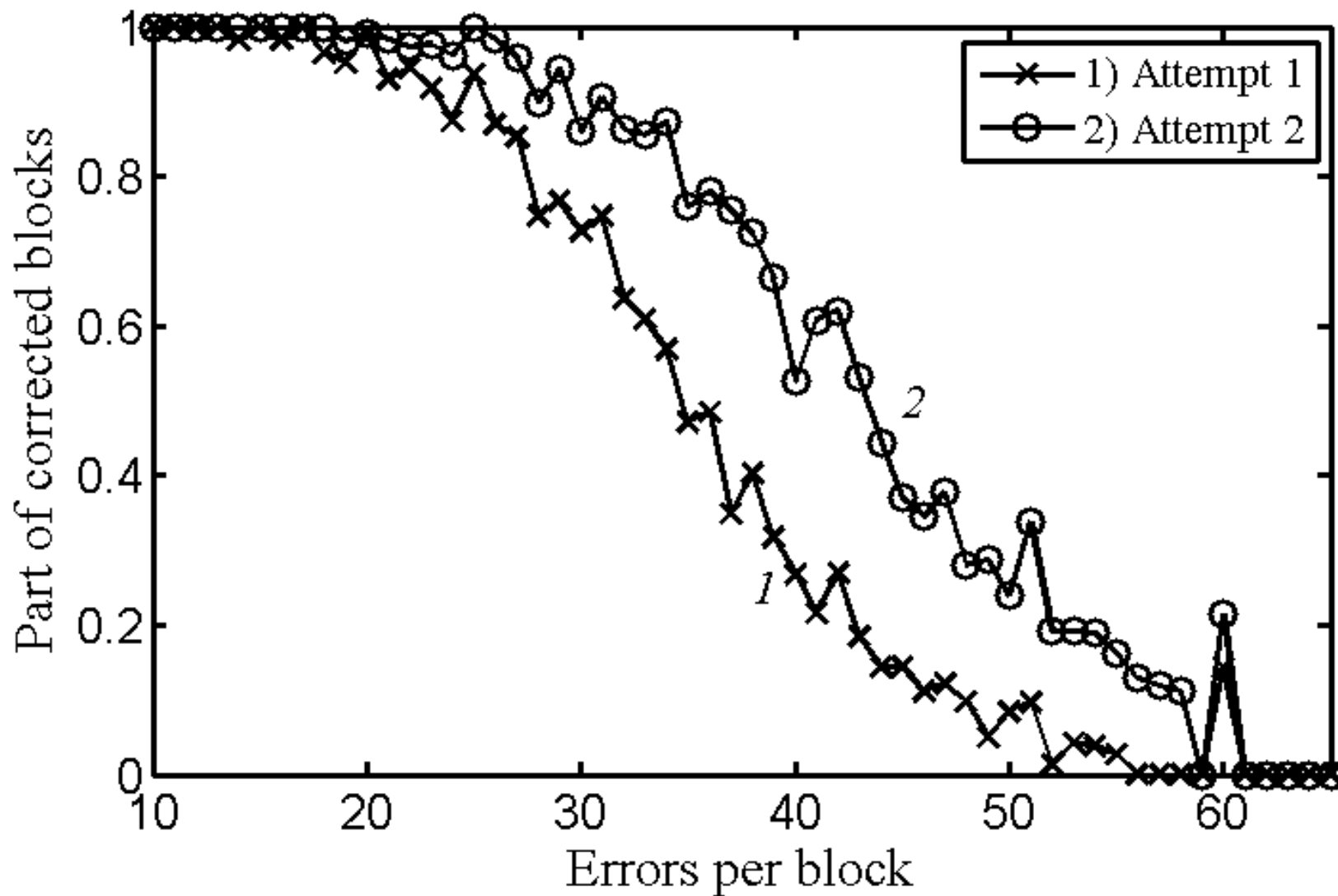
Interconnection between C and R1  
for different values of  $d/n$  ratio





# Repeated threshold decoding

$d=11, R=1/2$



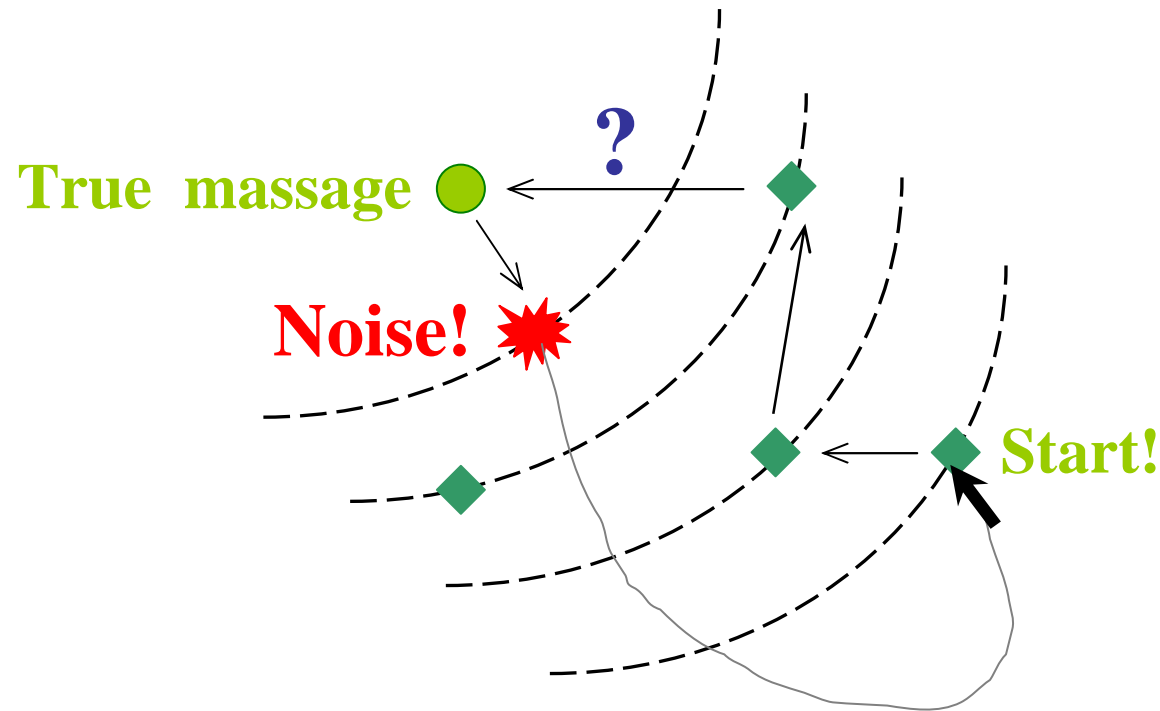
# Общая идеология ОТ



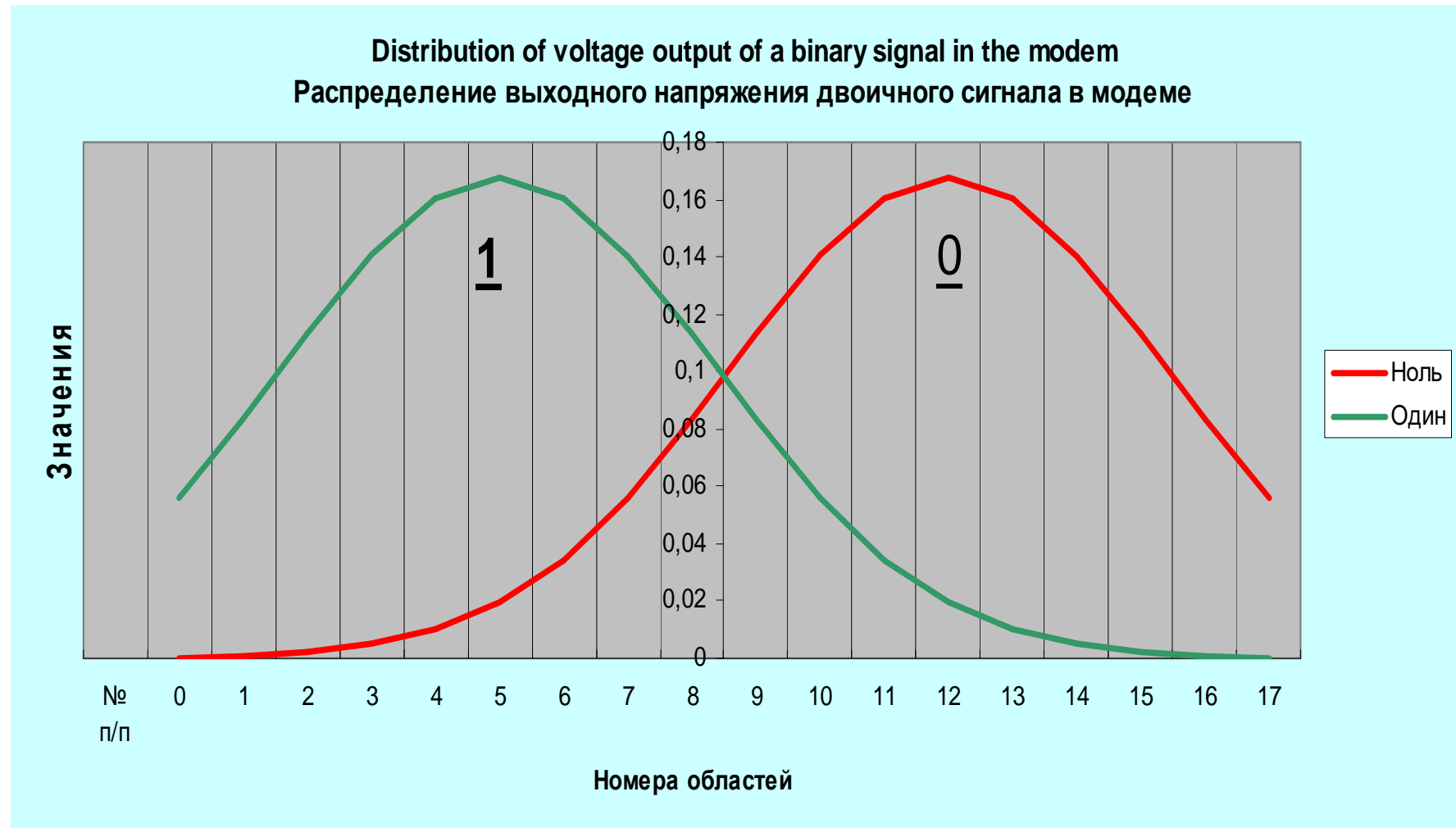
- Развивать следует в первую очередь декодеры с прямым контролем метрики (ДПКМ).
- МПД – теоретически предельно быстродействующие алгоритмы с целым рядом запатентованных решений.
- МПД в  $10^2 \div 10^5$  раз быстрее прочих и обеспечивают большую достоверность около границы Шеннона
- Символьные коды – 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.

**Does MTD achieves true decisions always?**

**Yes, they do it almost always!**



# Организация работы мягкого модема в АБГШ канале



# Функции надёжности блочных и свёрточных кодов [Forney]

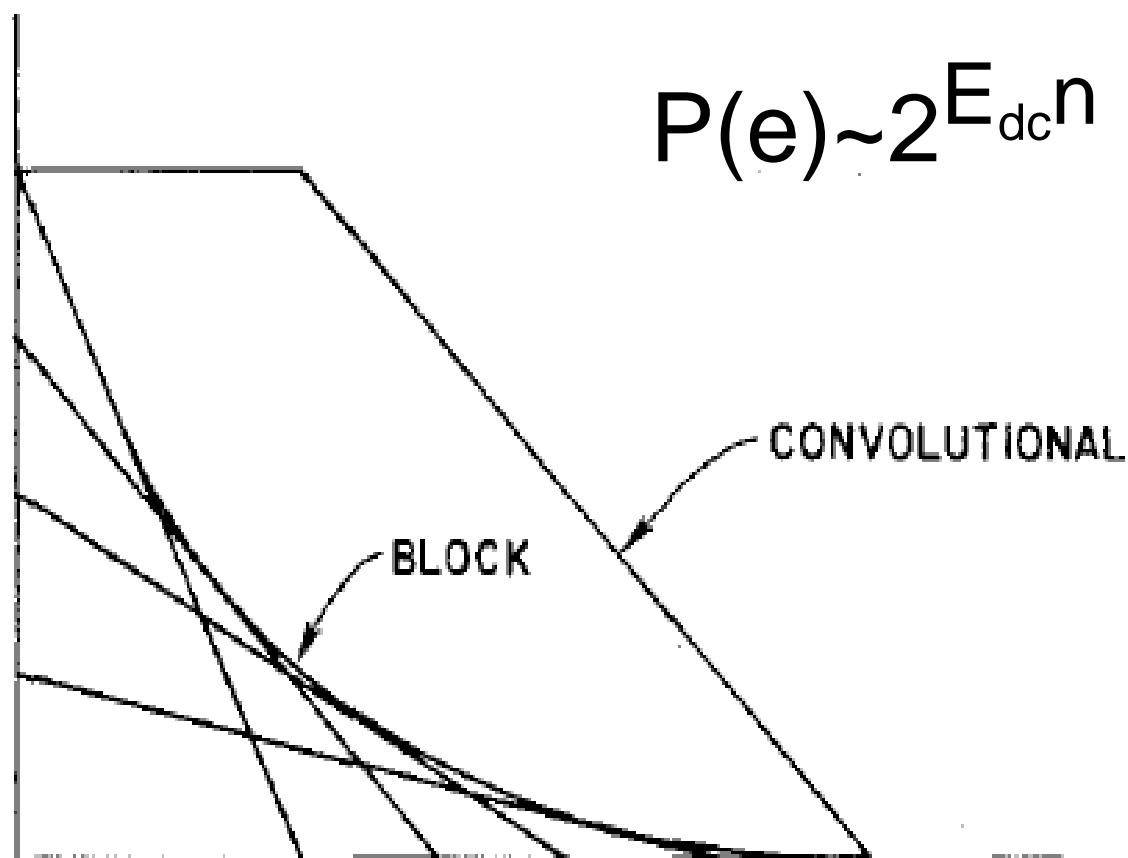
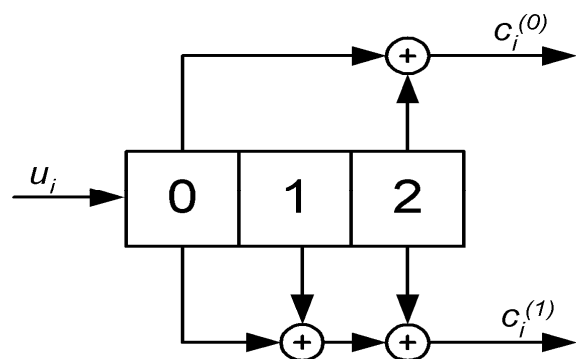


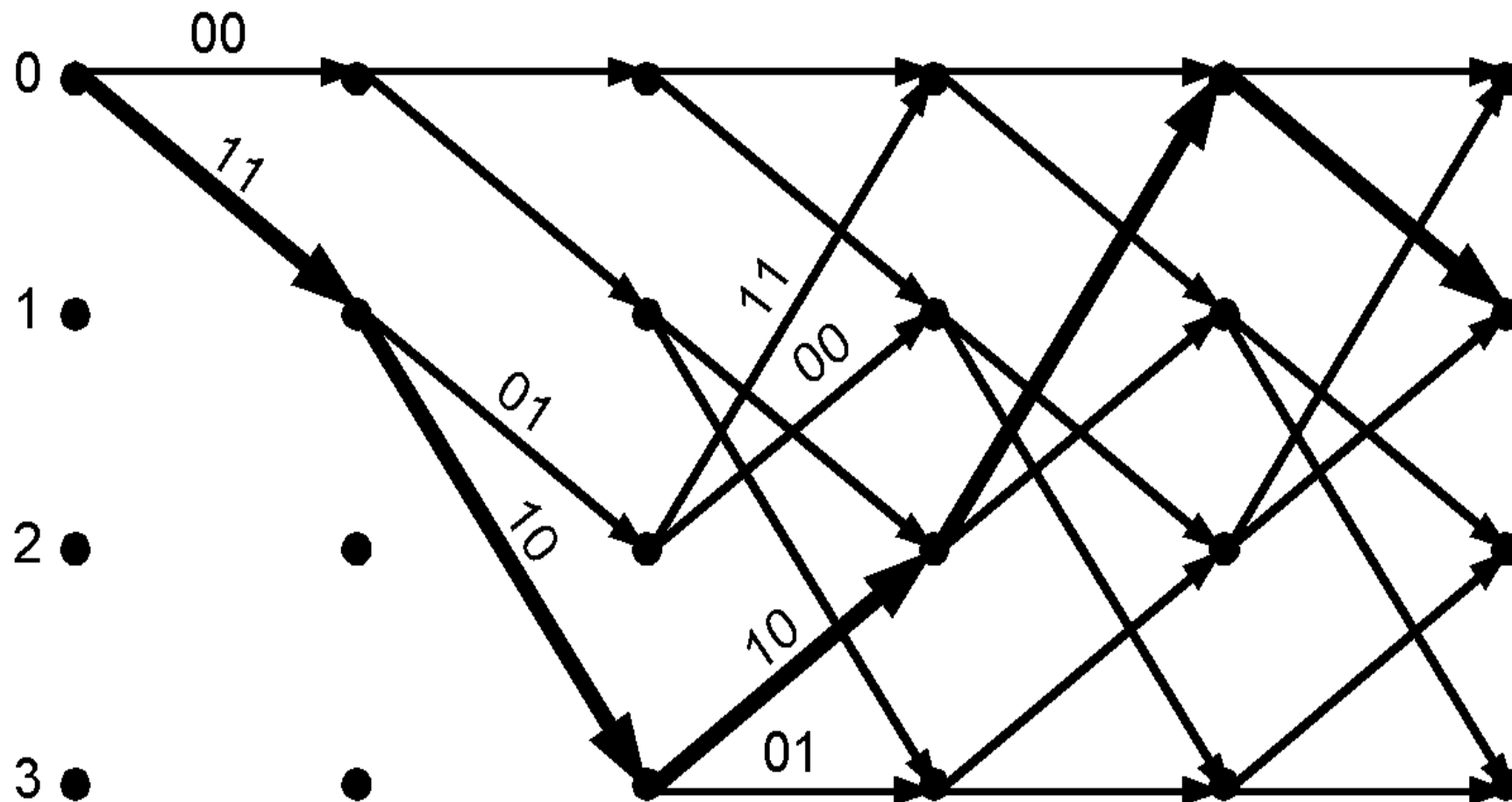
FIG. 11. List-of-2 decoding exponents for very noisy channel.



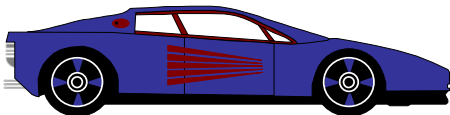
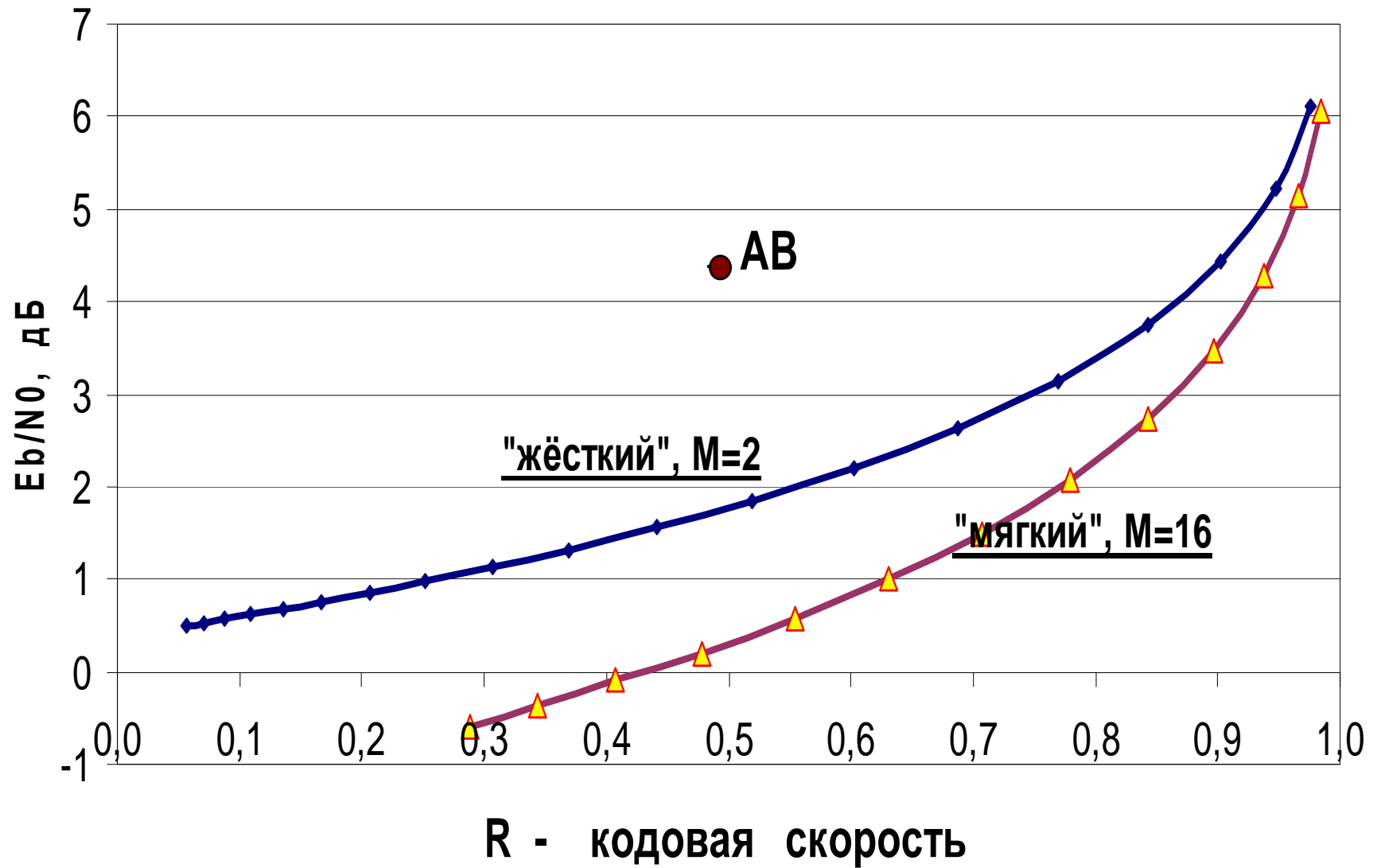


# Алгоритм Витерби

## Анализ решётки



Зависимость предельной энергетика канала  $E_b/N_0$   
от кодовой скорости  $R$



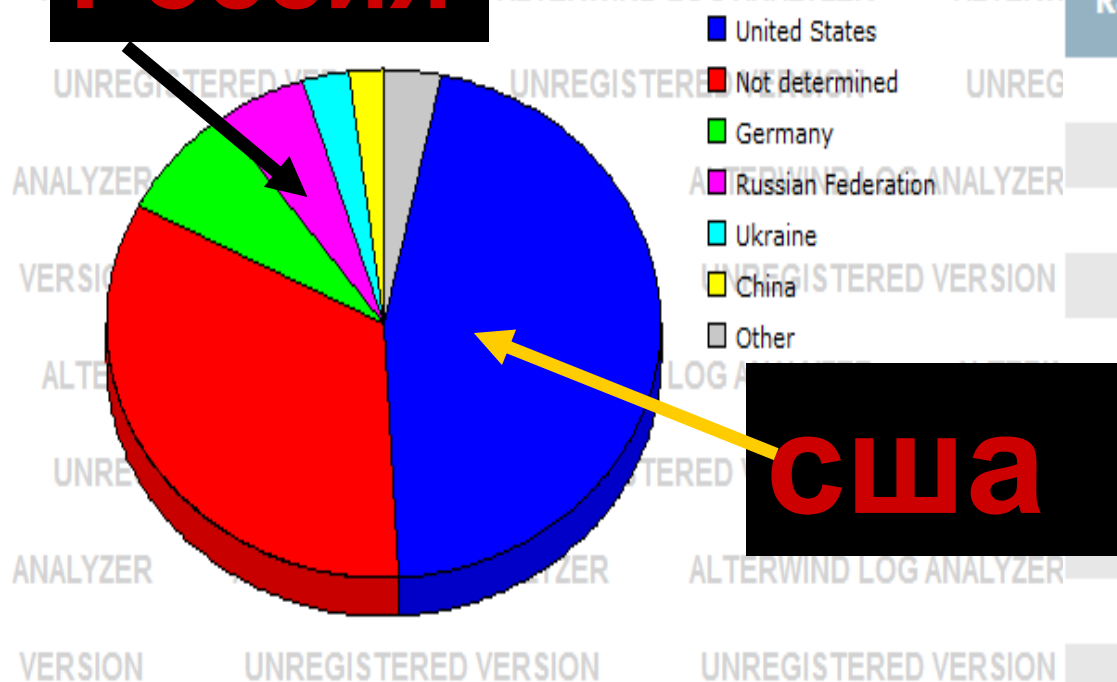
Новые порталы по методам кодирования

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

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

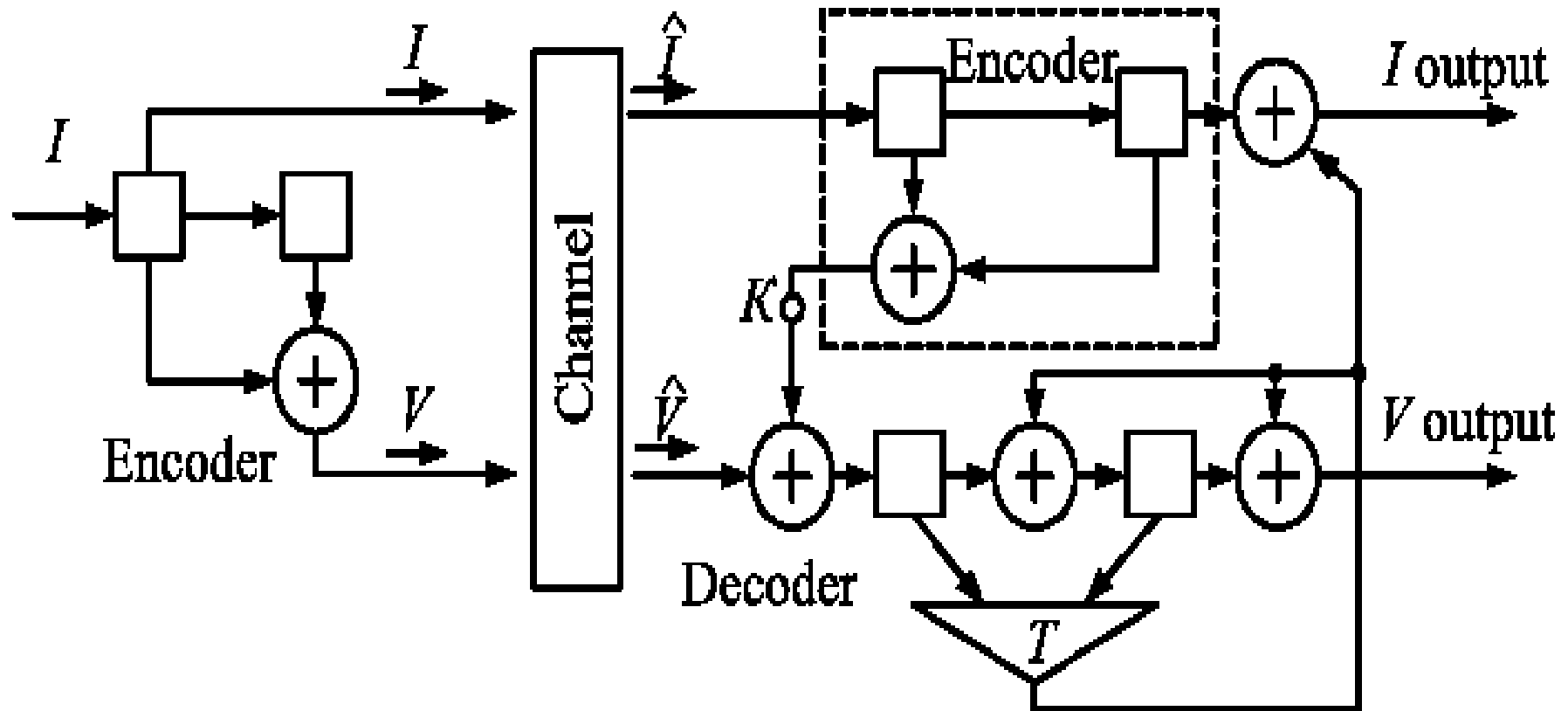
**За 2014 год - более 93 тыс. читателей  
на наших порталах из 70 стран мира**

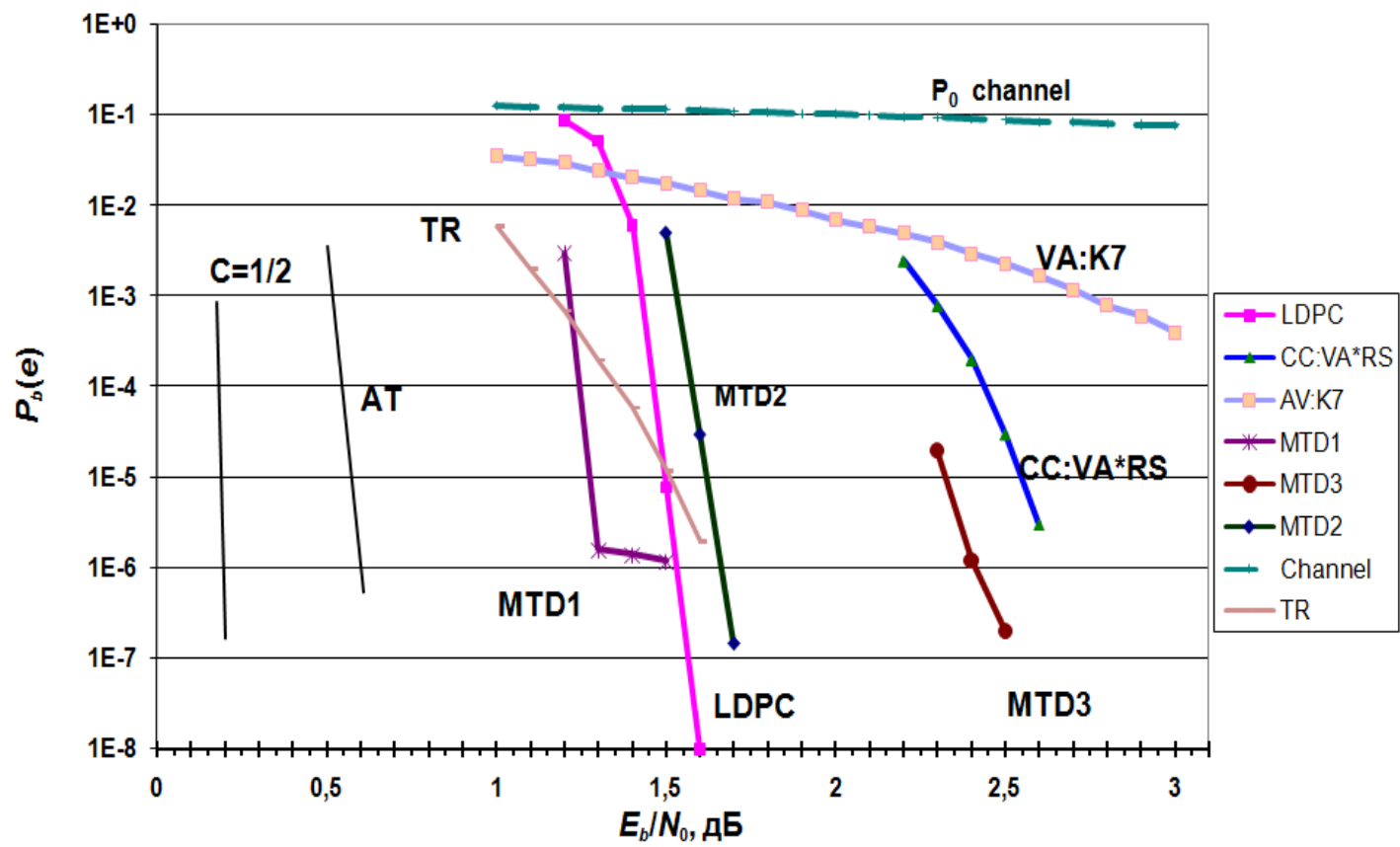
**Россия**



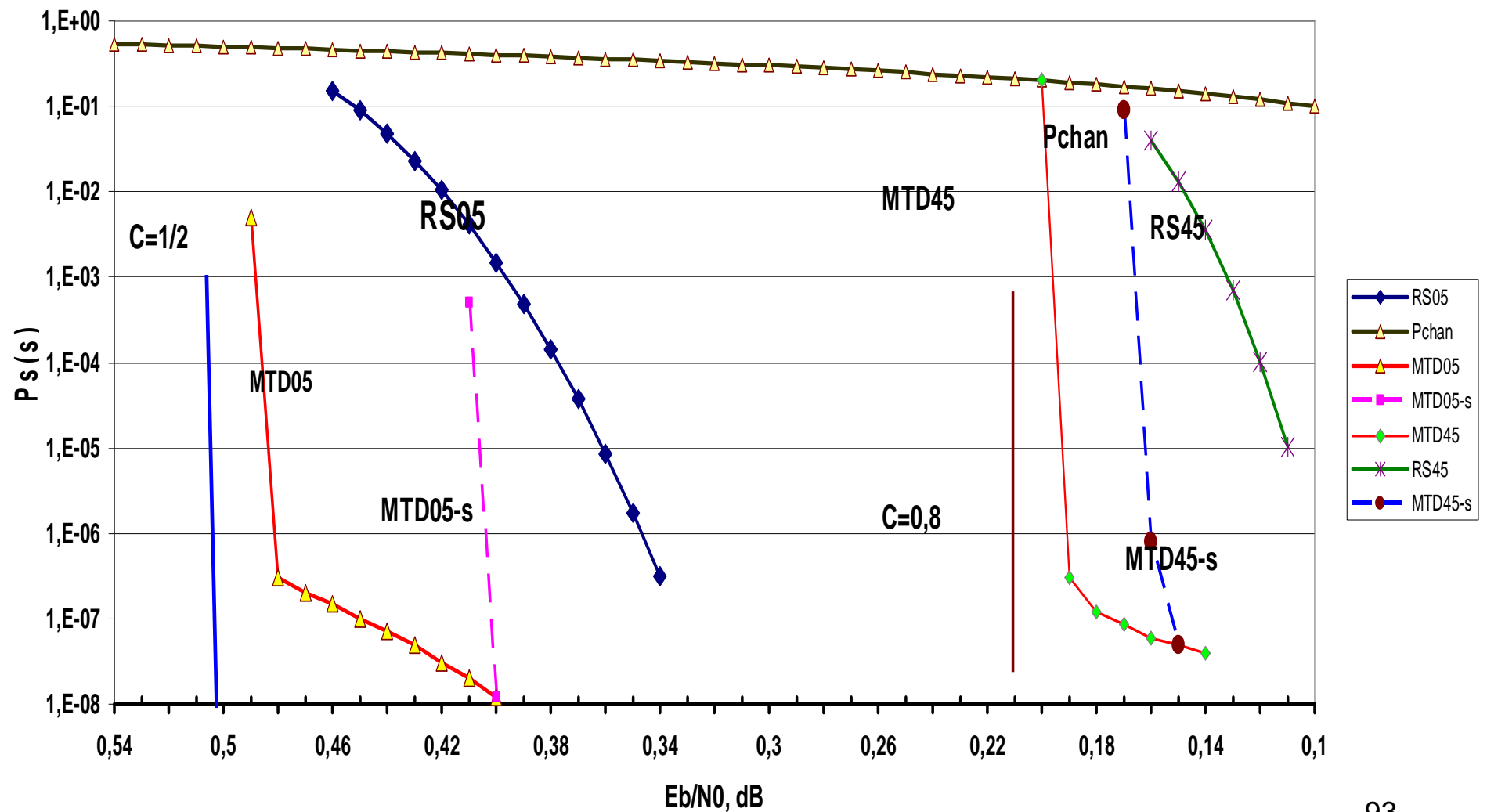
Rank	Country	Visitors
1	United States	13988 45.79%
2	Not determined	10280 33.65%
3	Germany	2178 07.13%
4	Russian Federation	1607 05.26%
5	Ukraine	859 02.81%
6	China	619 02.03%
7	United Kingdom	228 00.75%
8	Kazakhstan	103 00.34%
9	Belarus	80 00.26%
10	Italy	52 00.17%

# Main idea of the syndrome entity





# Характеристики МПД и кодов РС в каналах со стираниями



- 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”,**

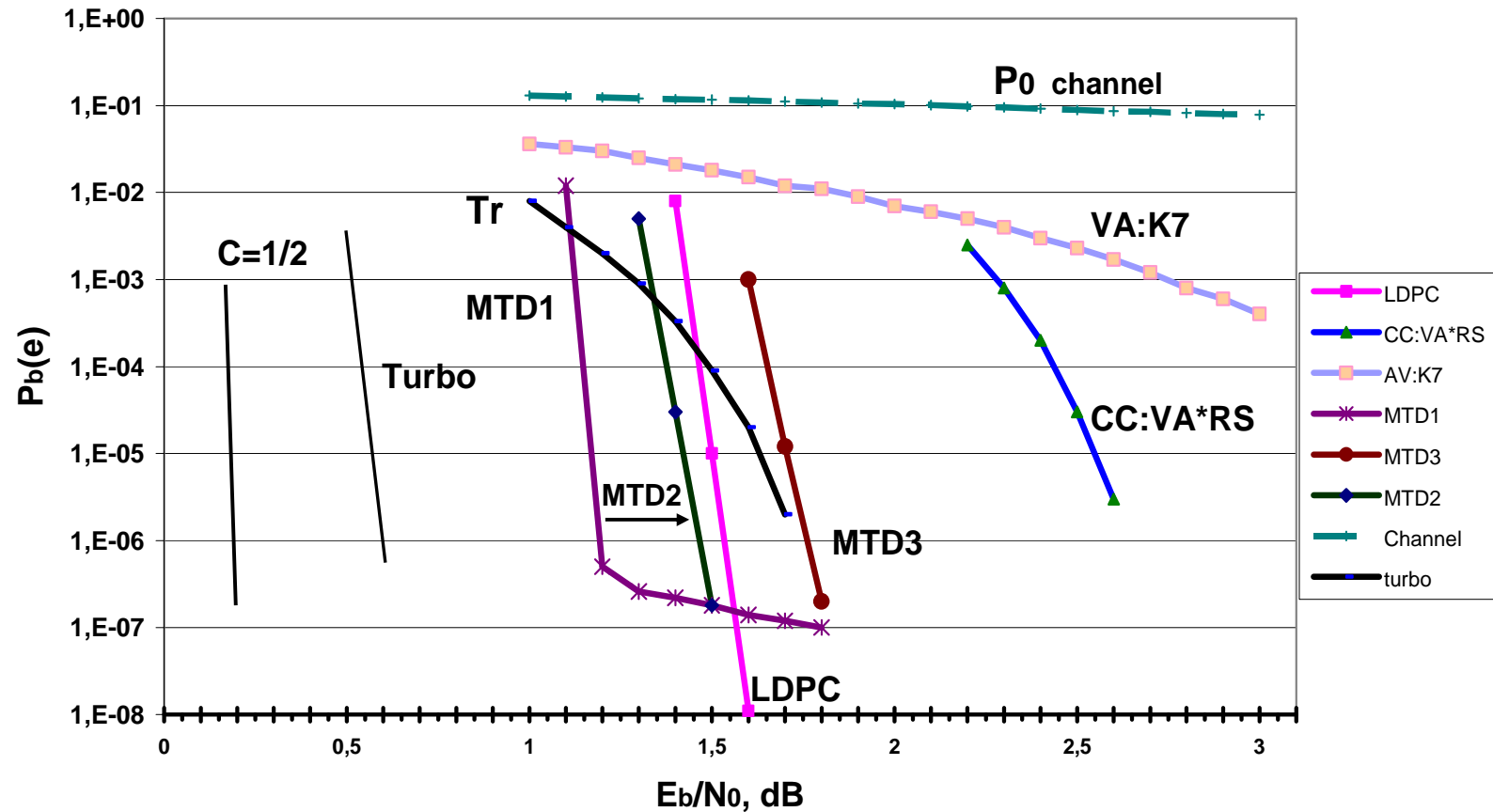
- мера эффекта увеличения энергии сигнала ,  
оцениваемая как ~\$1 миллион на 1 дБ ЭВК.

- Теперь это ещё более важно.
- { см. обзоры на нашем веб-сайте ИКИ РАН  
**[www.mtdbest.iki.rssi.ru](http://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

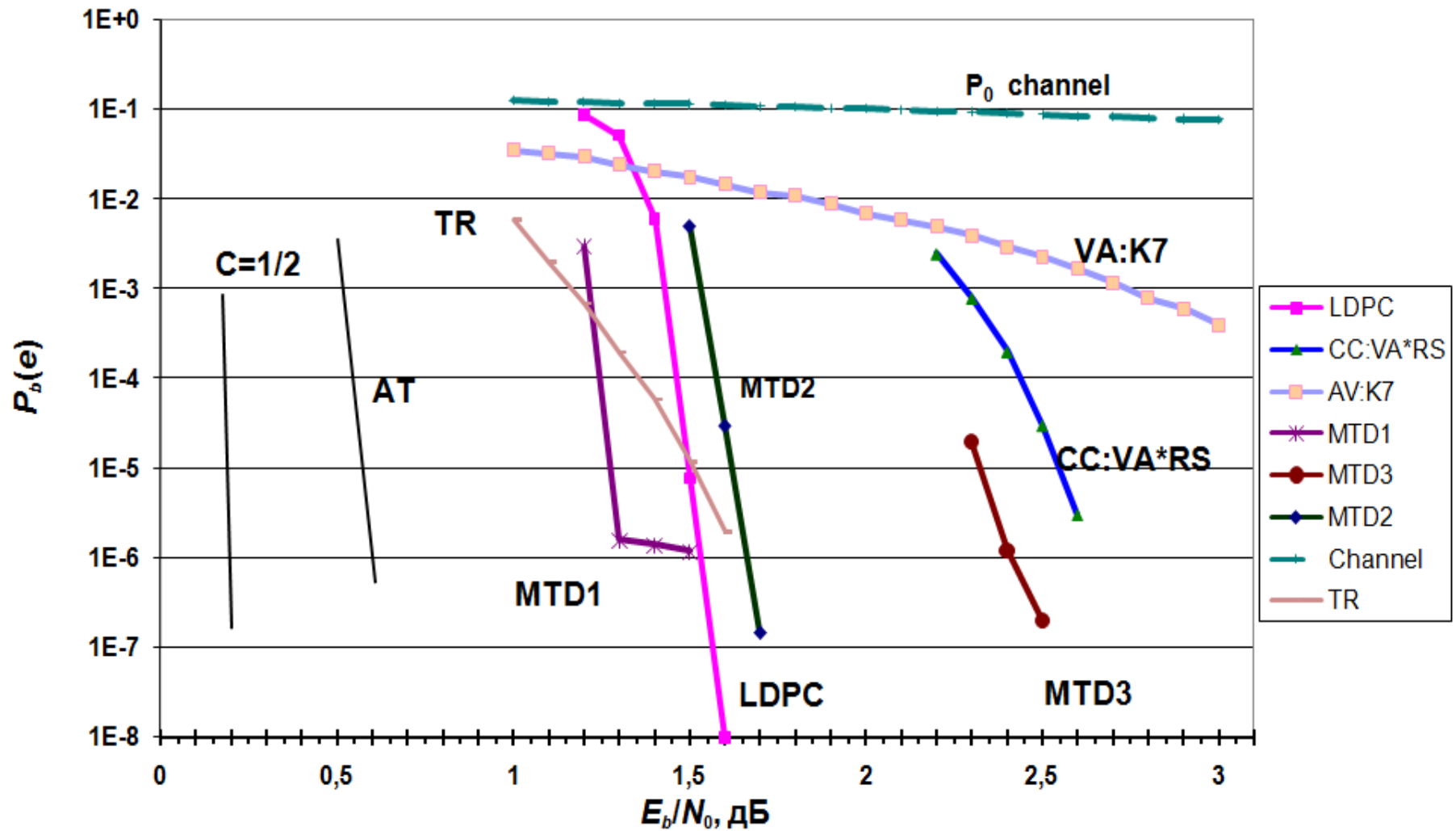
# Характеристики методов декодирования гауссовских каналах

В

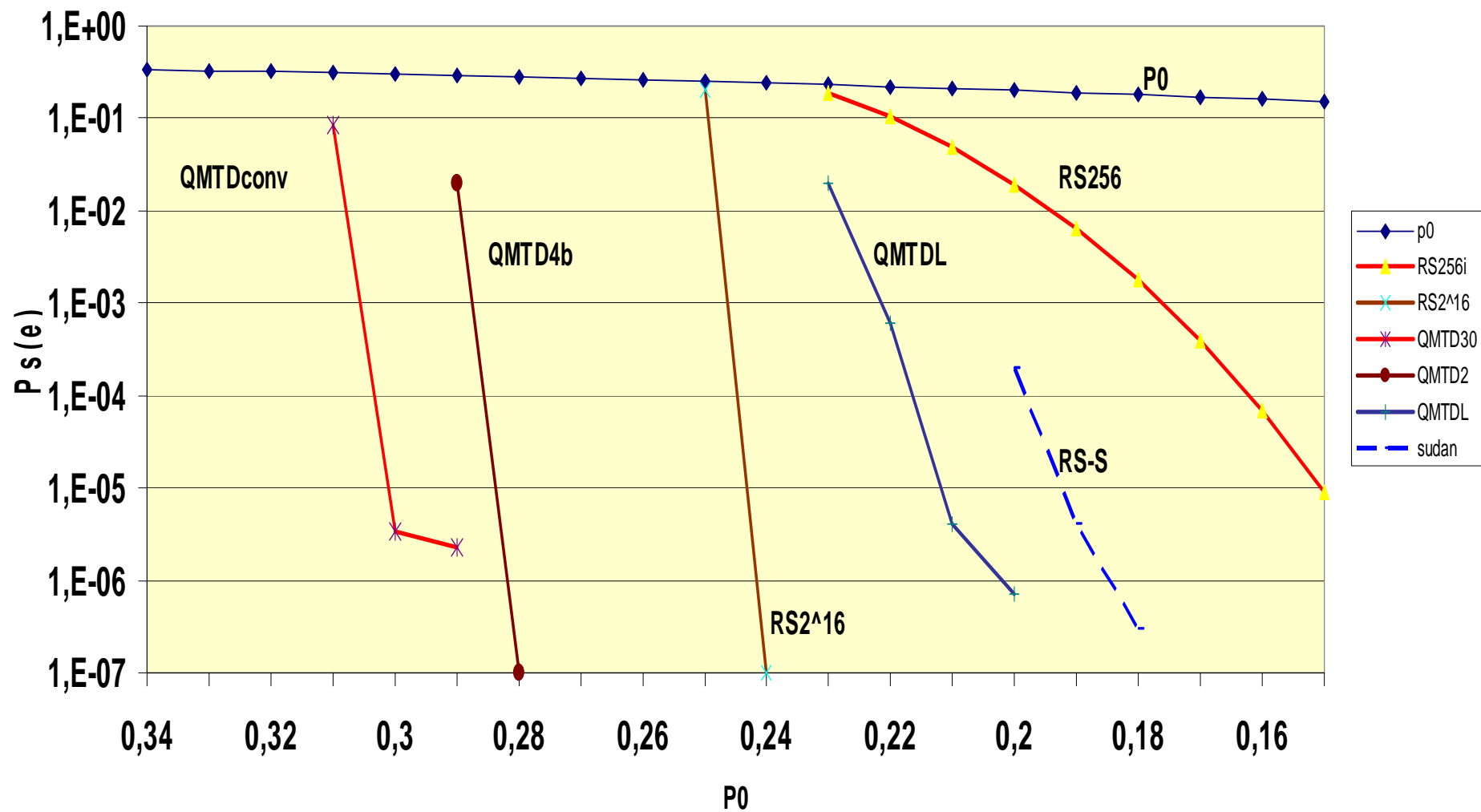
Performance of AV, new MTD and other decoders



# Performance MTD,LDPC,turbo,VA,CC

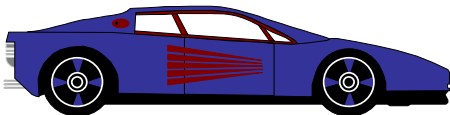
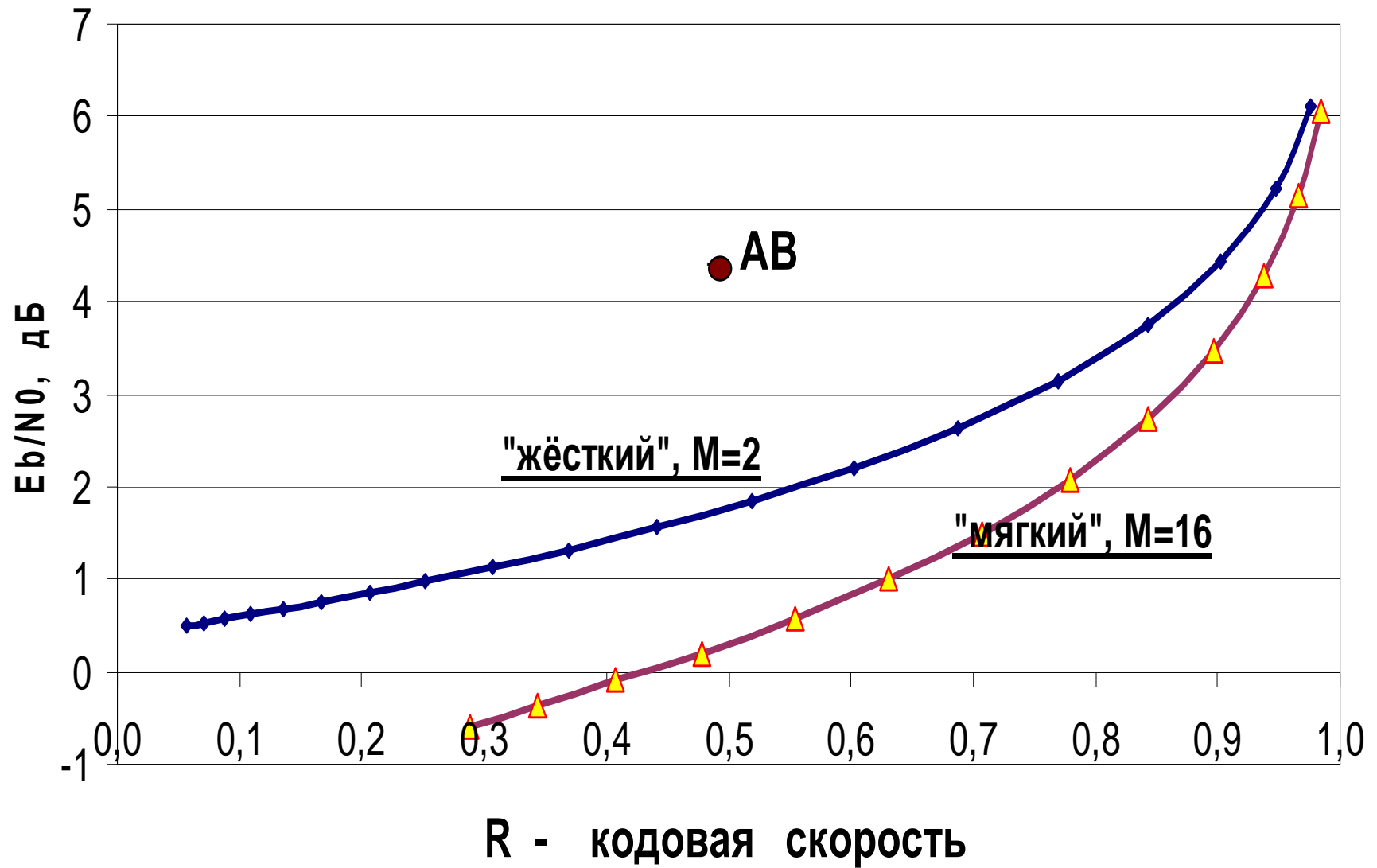


# Performance QMTD and codes RS



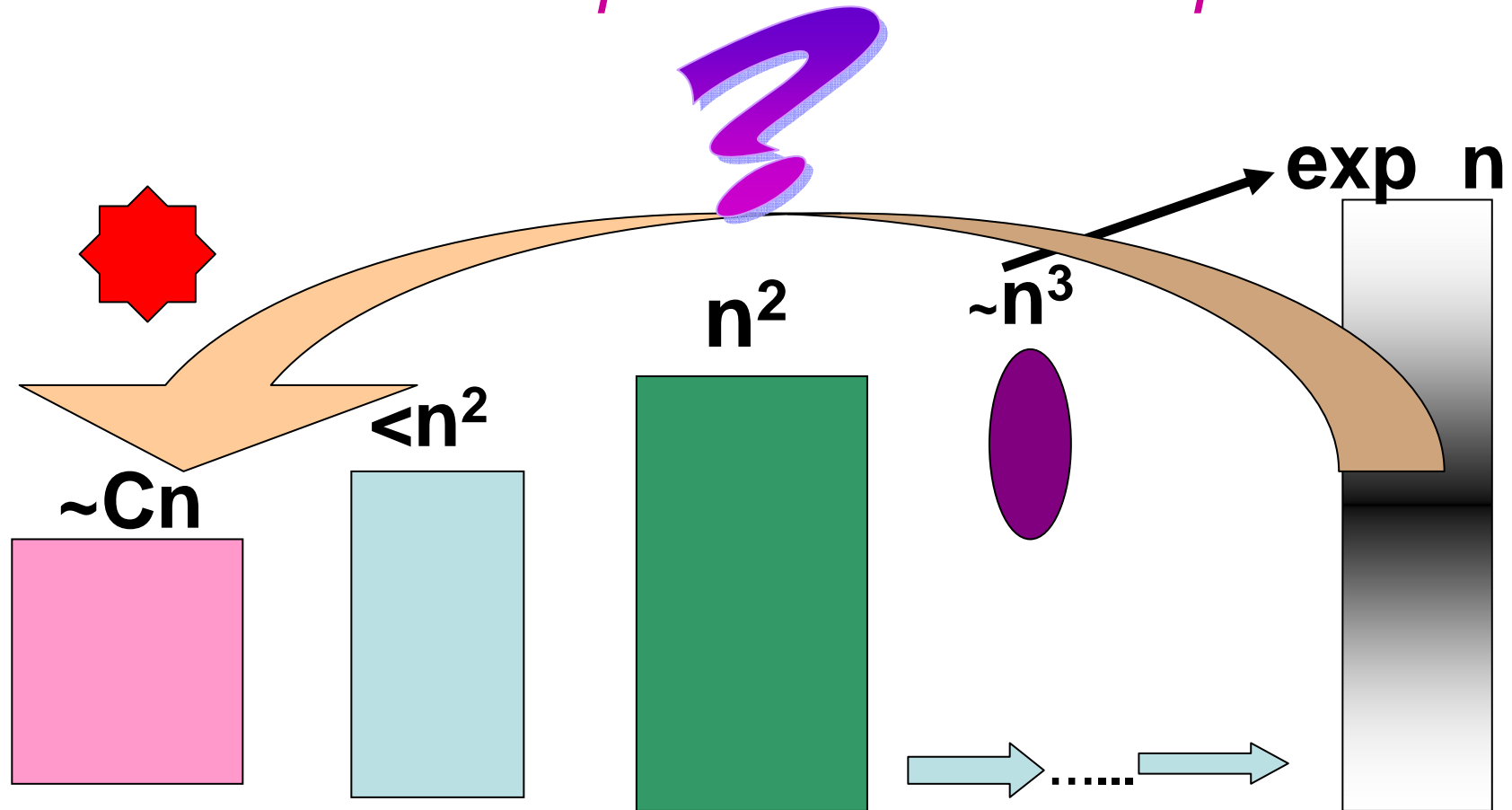


Зависимость предельной энергетика канала  $E_b/N_0$   
от кодовой скорости  $R$



# Обновление главной парадигмы теории кодирования

*Сложность алгоритмов декодирования*



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

**СПАСИБО !**

**ИКИ РАН Т.(495)-333-24-12**

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

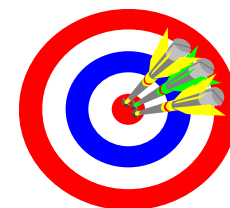
**e-mail: zolotasd@yandex.ru**

**моб.: +7-916-518-86-28**

**В.В.Золотарёв**

**18.01.18 г.**

**ИКИ РАН**



# Мир недвоичных кодов

**QМПД, СИМВОЛЬНЫЕ  
КОДЫ ДЛИНЫ  $10^5$  И  
БОЛЕЕ  
С КОДОВОЙ СКОРОСТЬЮ  
 $R=0,16 \div 0,97$**

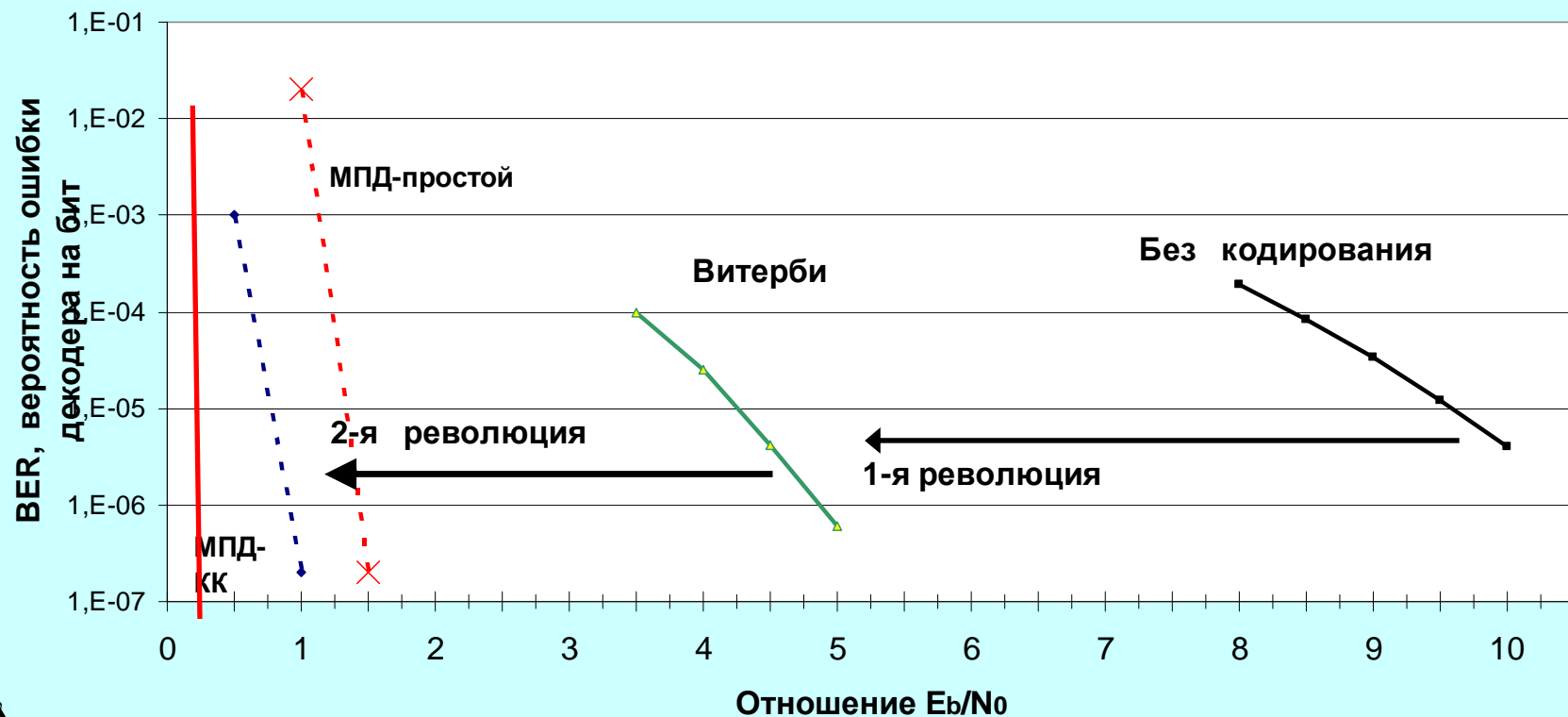
?

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

**АВ**

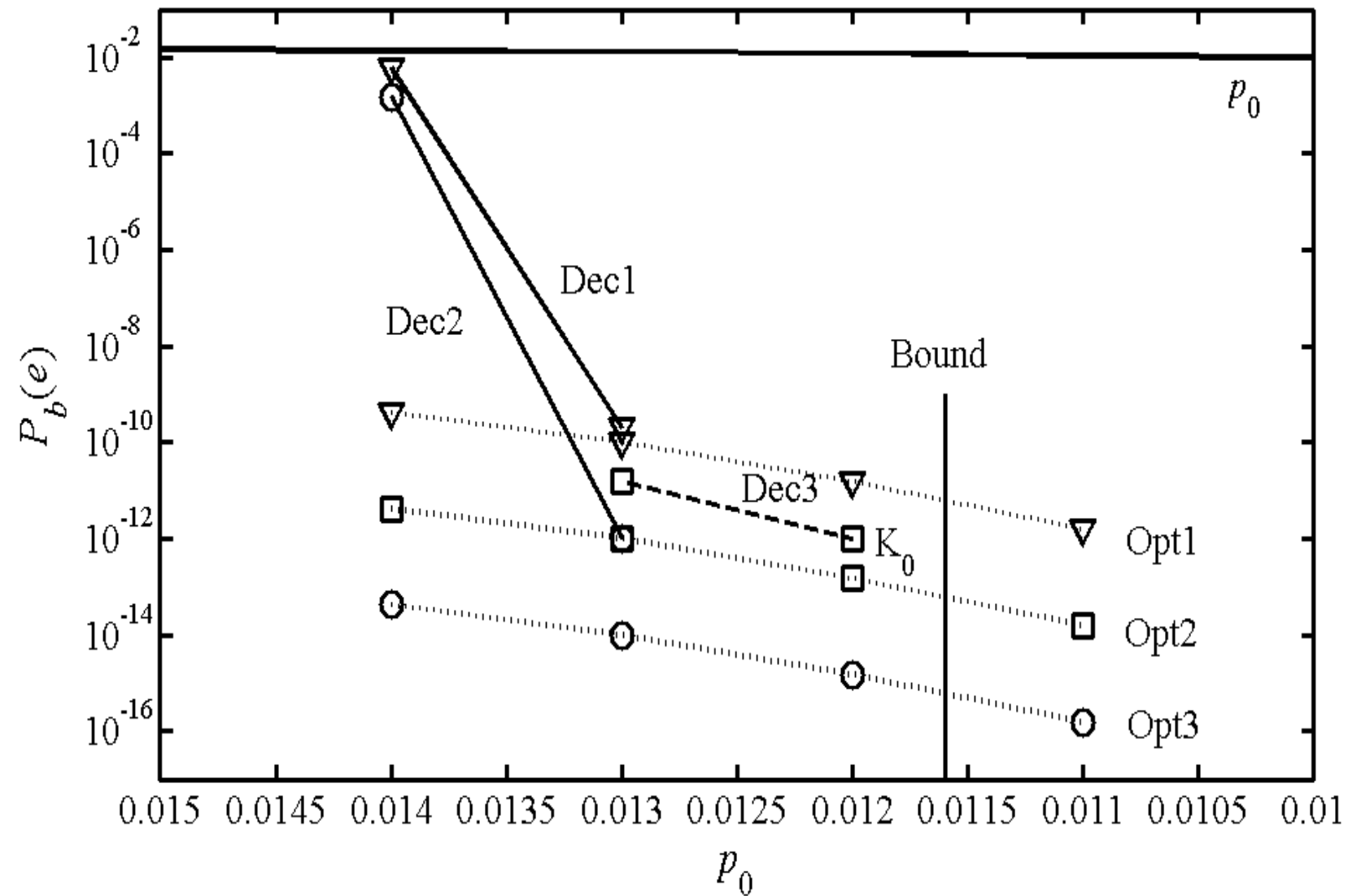
и двоичные коды для **МПД**  
длины  $10^5$  и более  
с кодовой скоростью  
 $R=0,16 \div 0,9$

**Турбо коды**

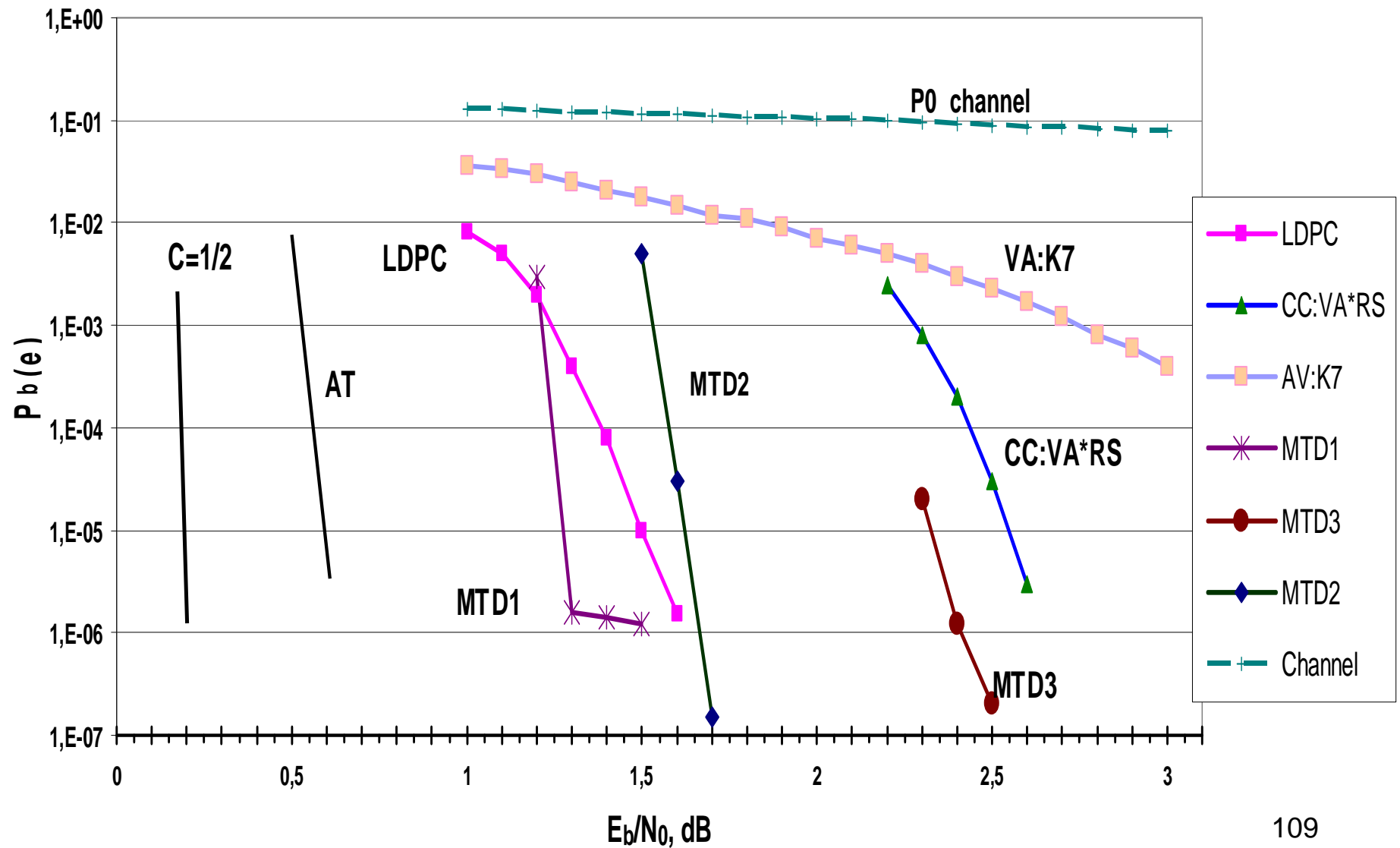
Каскадные коды  
АВ и РС

**LDPC коды**

# Decoder for flash memory

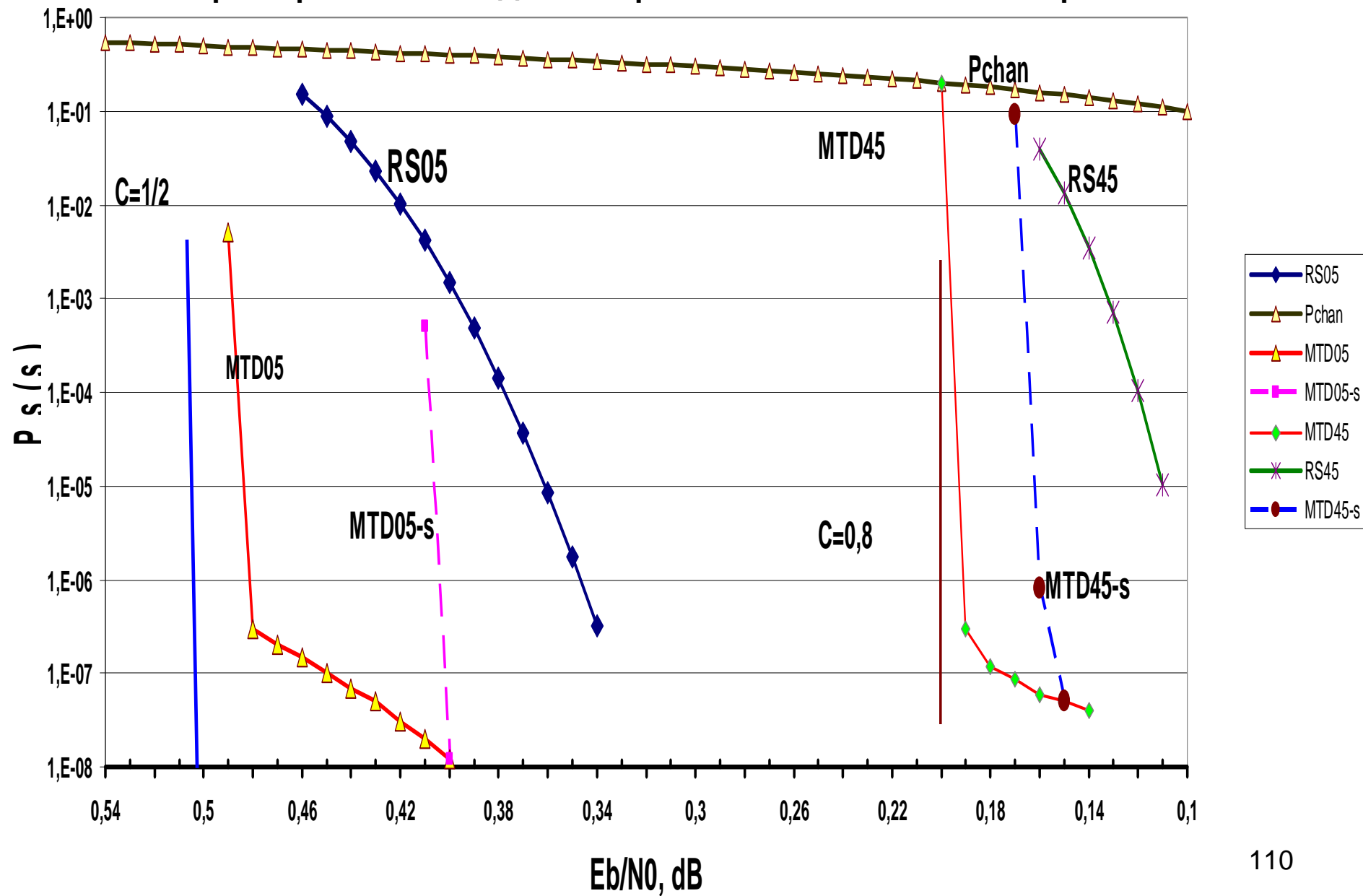


Perfomance of AV, CC, LDPC and new MTD september 2015

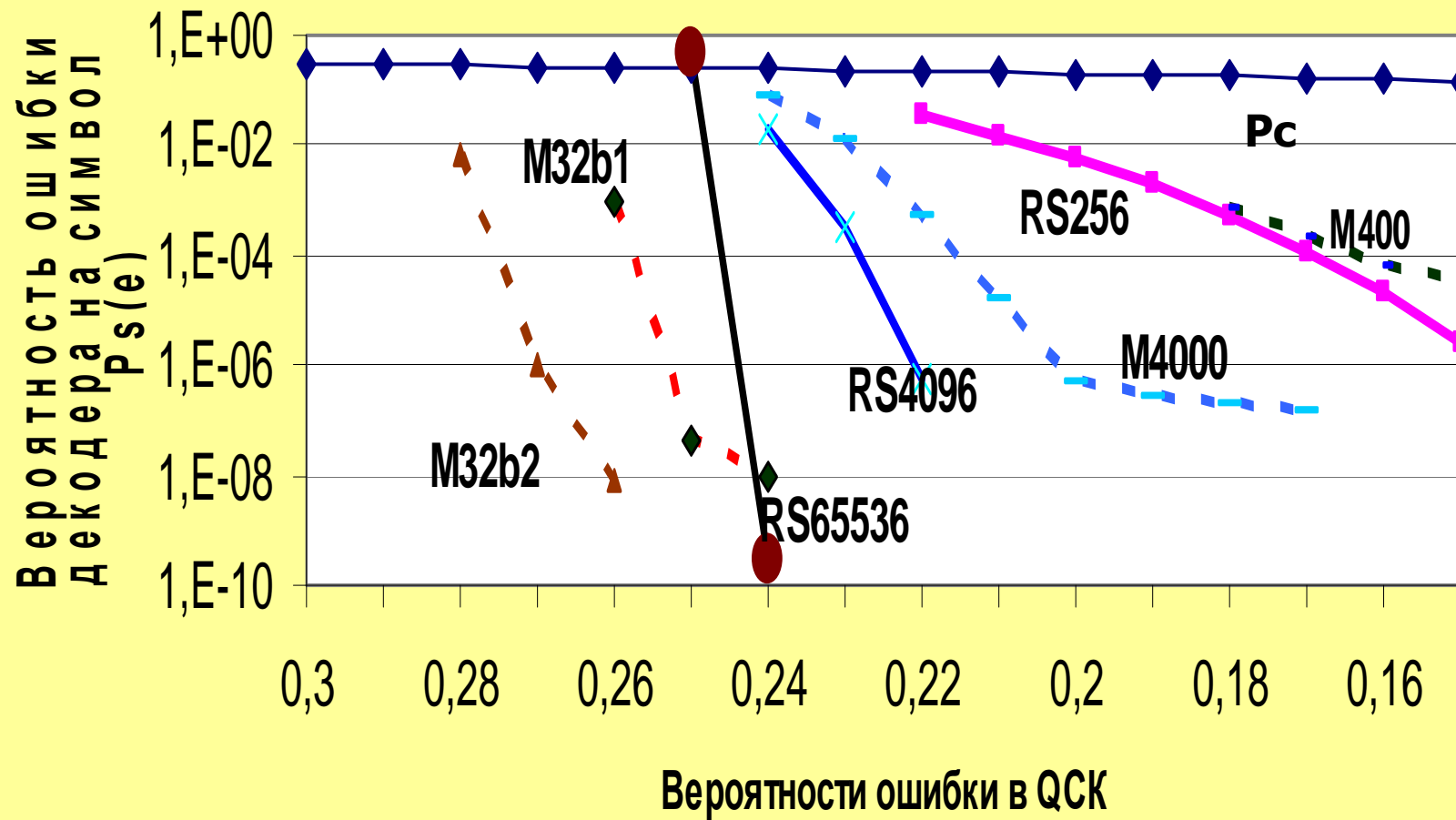




# Характеристики МПД и РС при R=1/2 в канале со стираниями



# 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 в  
сотни миллионов долларов!

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

# Что нужно от кодов для сетей связи?

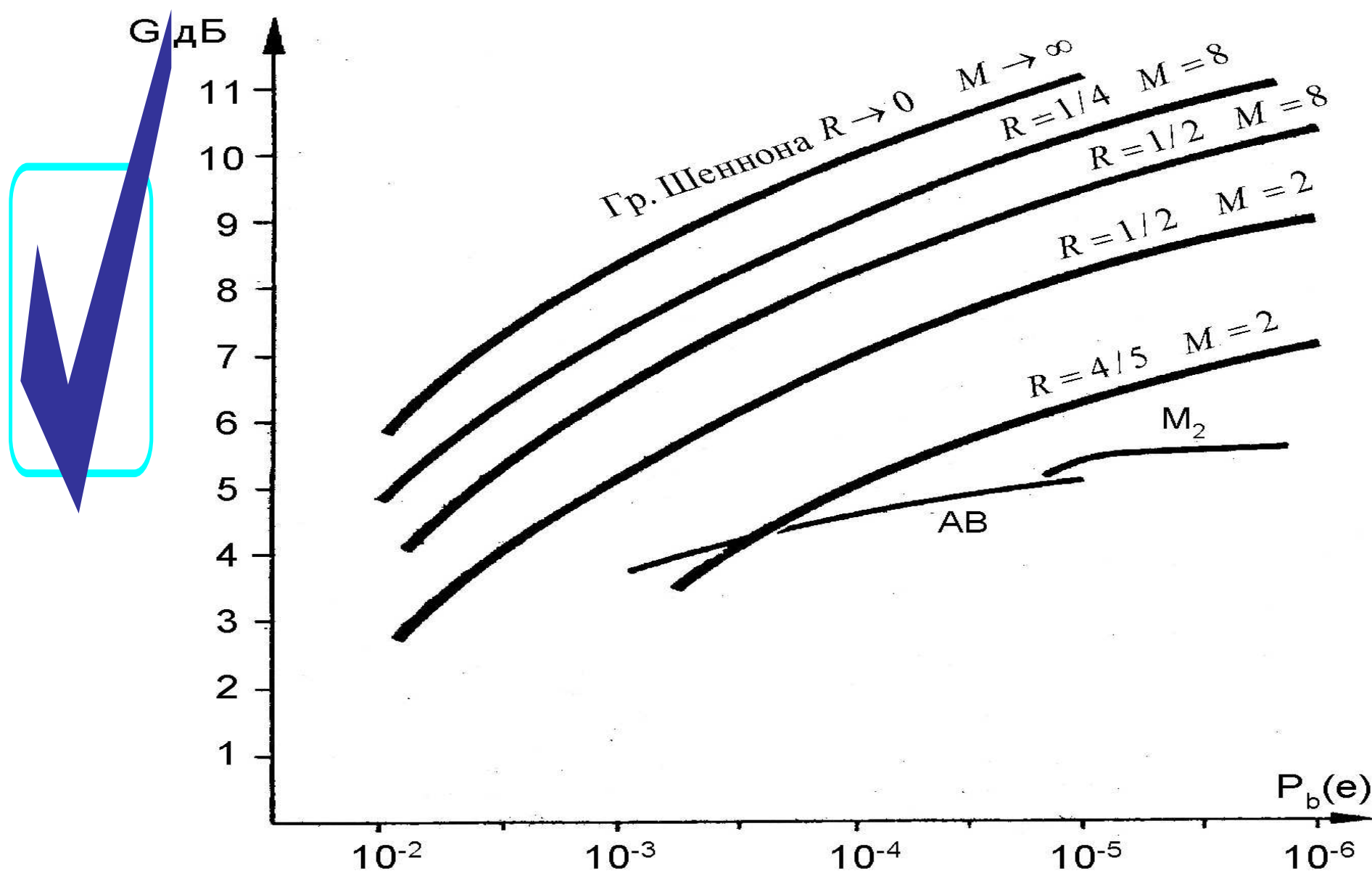
- Проф. Берлекэмп (США) указал в 1980г. в обзоре, опубликованном в ТИИЭР:

**“ 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](http://www.mtdbest.iki.rssi.ru) и РГРТУ [www.mtdbest.ru](http://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!

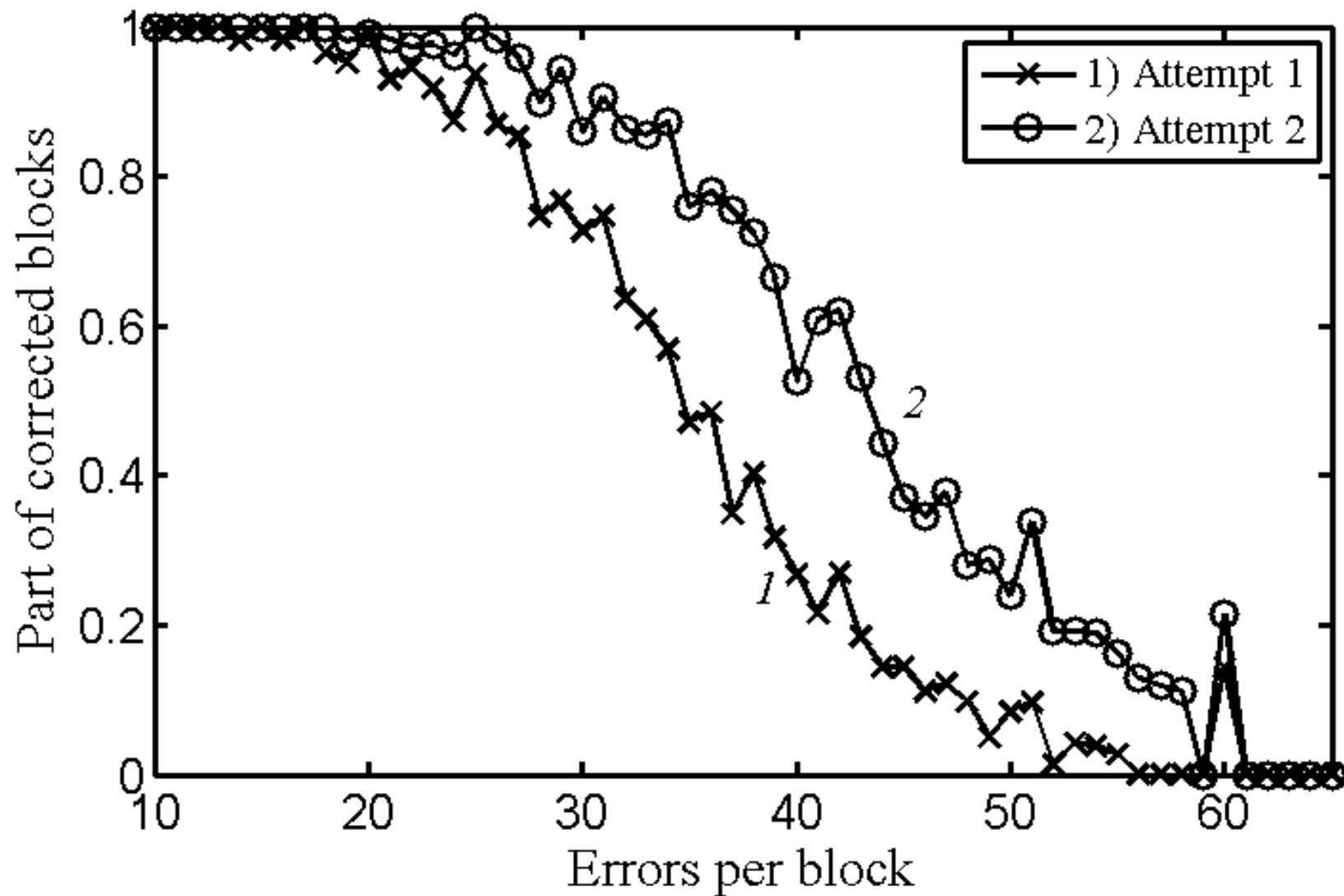
**Как всего этого достичь?**

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



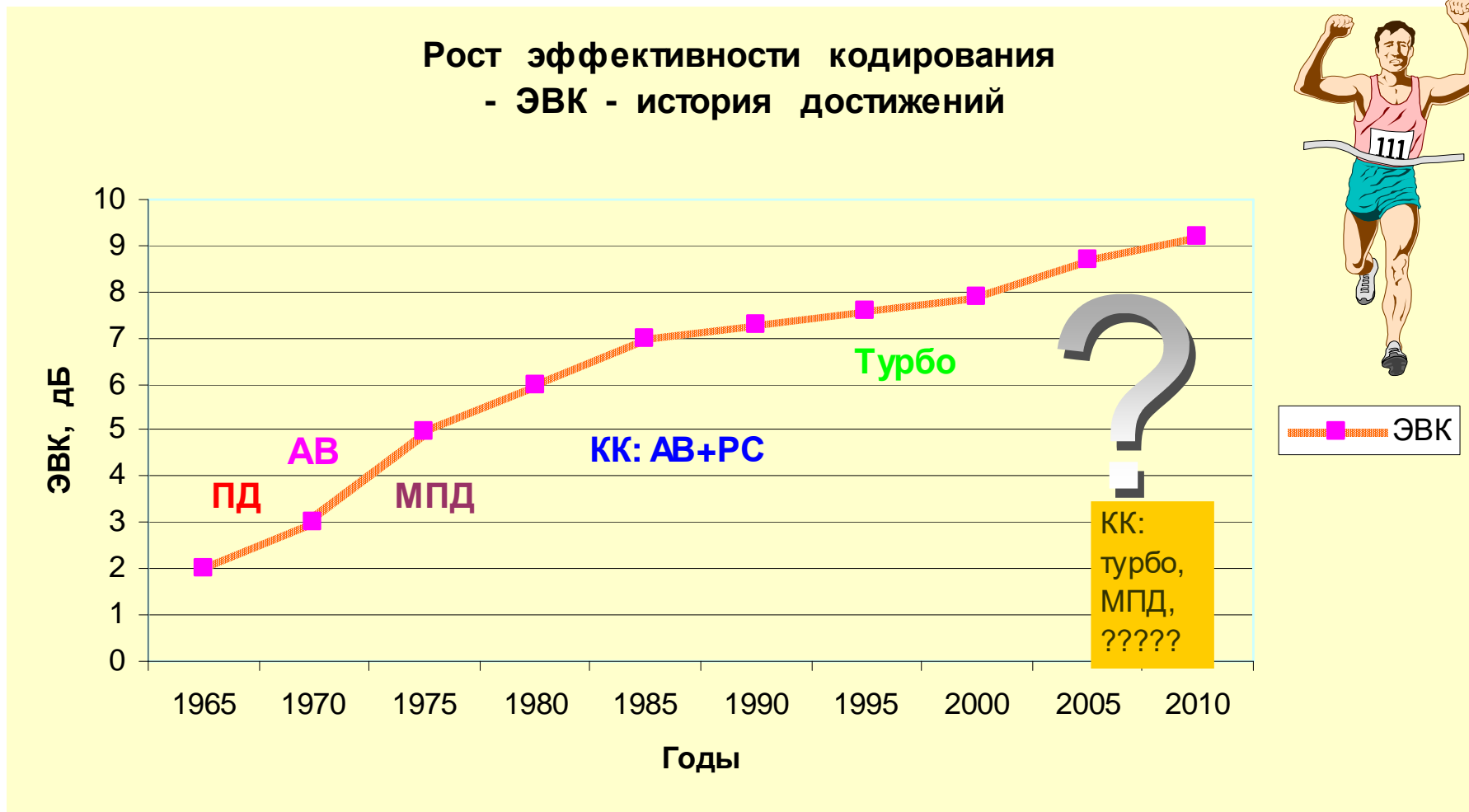
# Repeated threshold decoding

$d=11$ ,  $R=1/2$

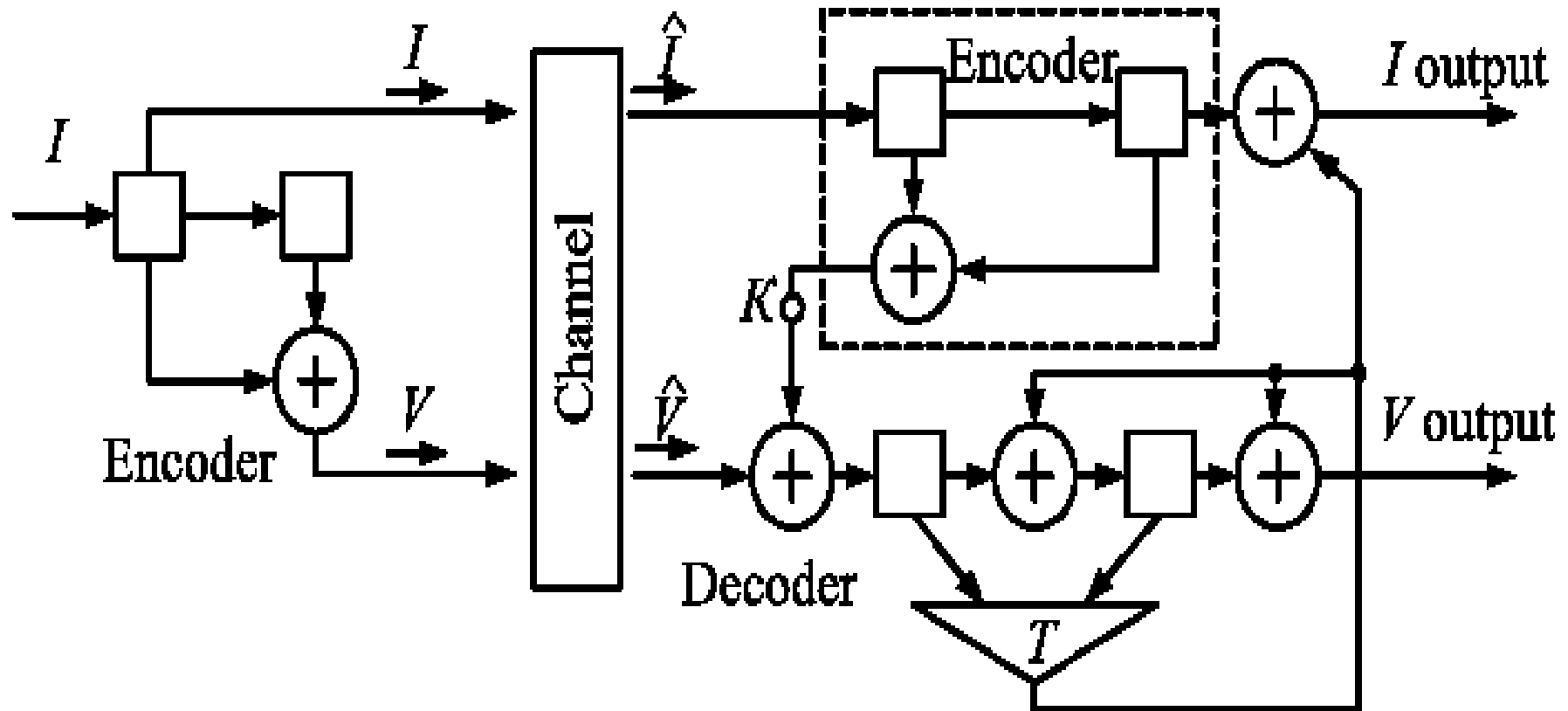


# Что будем использовать?

-Наиболее простые и эффективные методы  
!!!

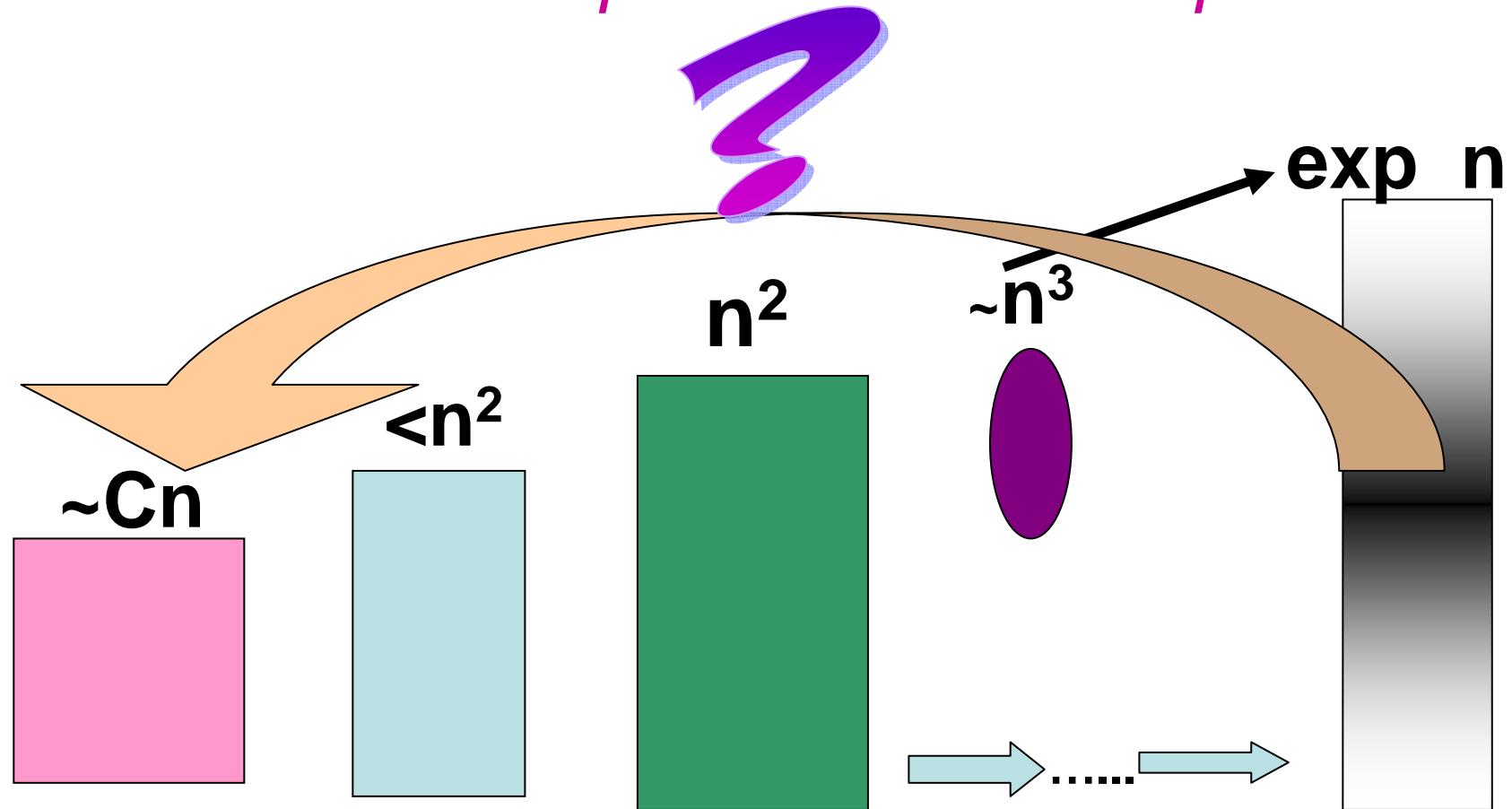


# Main idea of the syndrome entity



# Обновление главной парадигмы теории кодирования

*Сложность алгоритмов декодирования*



- 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