

**Применение
технологий
Оптимизационной
Теории для цифровой
связи вблизи границы
Шеннона**



18.11.2020 г.

В.В. Золотарёв
ИКИ РАН



Золотарёв Валерий Владимирович – выпускник МЭТИ, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ 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 электротехники (МСЭТУ) в 2013 г. избран на аналитическом 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 особо достоверные методы коррекции ошибок в цифровых системах, обеспечивающие успешную работу в непосредственной близости пропускной способности канала связи. Сложность предложенных им алгоритмов увеличивается с длиной кода лишь в минимальной линейной степени, что стало успешным и технологичным решением проблемы Шеннона, поставленной более 70 лет назад.

На сайте порталах научной школы В. В. Золотарёва представлены обширные материалы по ОТ и демонстрации 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



2018г

- Представлены теоретические и прикладные результаты современной теории кодирования как задачи поиска глобального экстремума функционала в дискретных пространствах. Показано, что многопороговые декодеры (**МПД**), различные версии алгоритма Витерби (**БАВ**) и новые методы кодирования успешно решают на высоком технологическом уровне главную проблему теории информации – **крайне простое, линейное от длины кода, и очень эффективное, т. е. оптимальное декодирование (ОД) вблизи границы Шеннона.**
- **Прежняя прикладная теория кодирования завершена!**

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

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 № —

(23) Приоритет —

(43) Опубликовано 25.11.75, Бюллетень № 43

(45) Дата опубликования описания 11.03.76

(51) М. Кл. G 06 f 11/08

(53) УДК 681.325.7
(088.8)

(72) Автор
изобретения

В. В. Золотарев

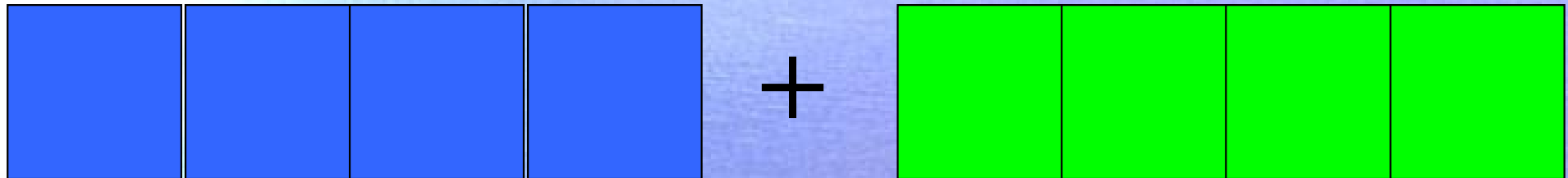
(71) Заявитель Московский ордена Трудового Красного Знамени физико-технический институт

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЕКОДИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ СВЕРТОЧНЫХ
КОДОВ

Кодирование - это введение избыточности

К - информация

r - избыточные символы



$n = k + r$ - длина блока

$R = k/n < 1$ -

КОДОВАЯ СКОРОСТЬ

**Более 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**

А ведь это важный юбилей!

-

Кодировать проще!!!

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

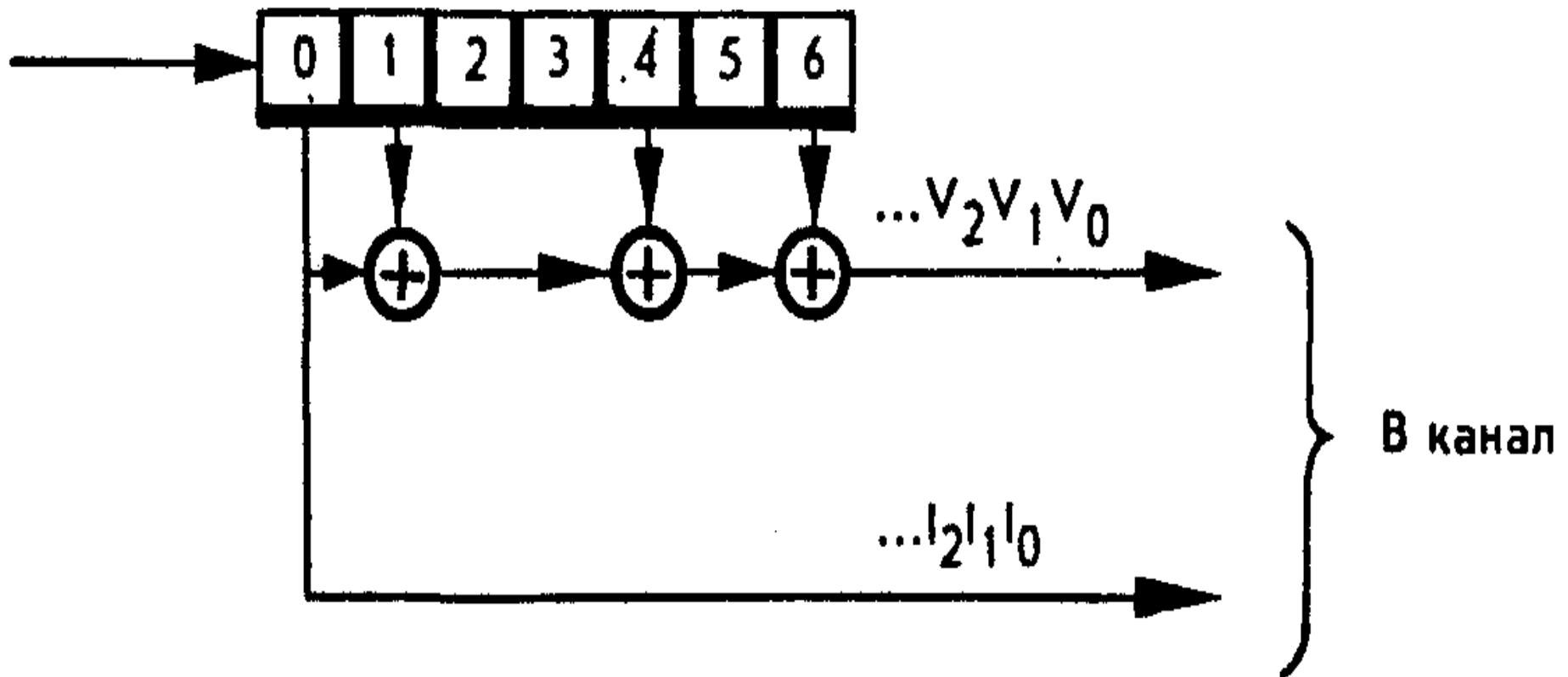


Рис.4,б. Кодер сверточного кода

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

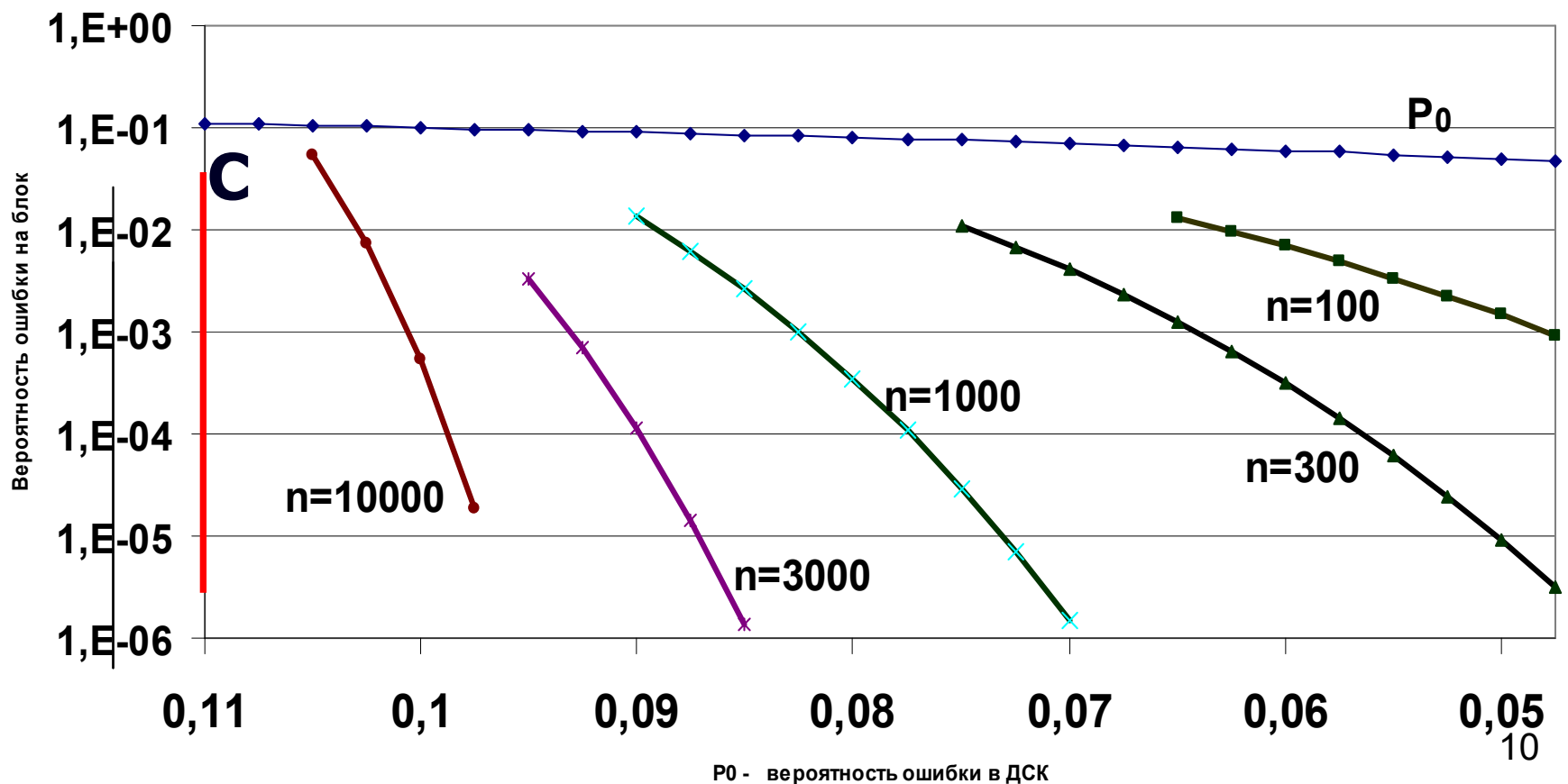
Даже коды длины $n=1000$ неэффективны при вероятности ошибки в канале $P_0 > 0.08$. А теория-то утверждает, что можно успешно работать при $P_0 < 0.11$!!!

И это при 2^{500} вариантах!

2^n



2^k



Триединый критерий помехоустойчивость- достоверность- сложность

- Это: $R \lesssim C$ (кпд) !
- $P_b(e) \Rightarrow \sim OD$!!
- $N \Rightarrow$ abs min: $\sim n?$!!!

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**

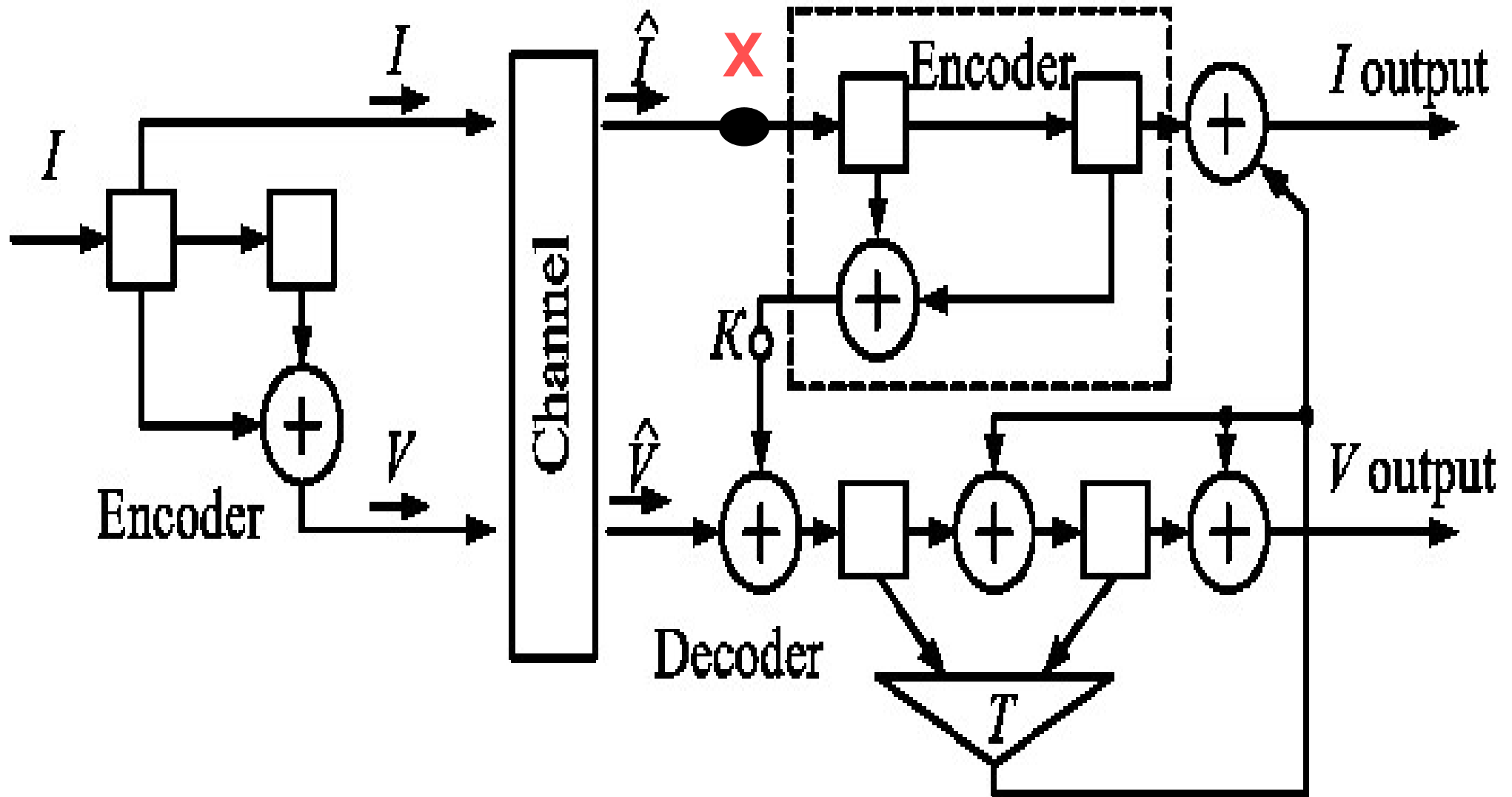
- 2. Кодирование источника.

Достигается сжатие данных **в $2 \div 5$ и более раз.**

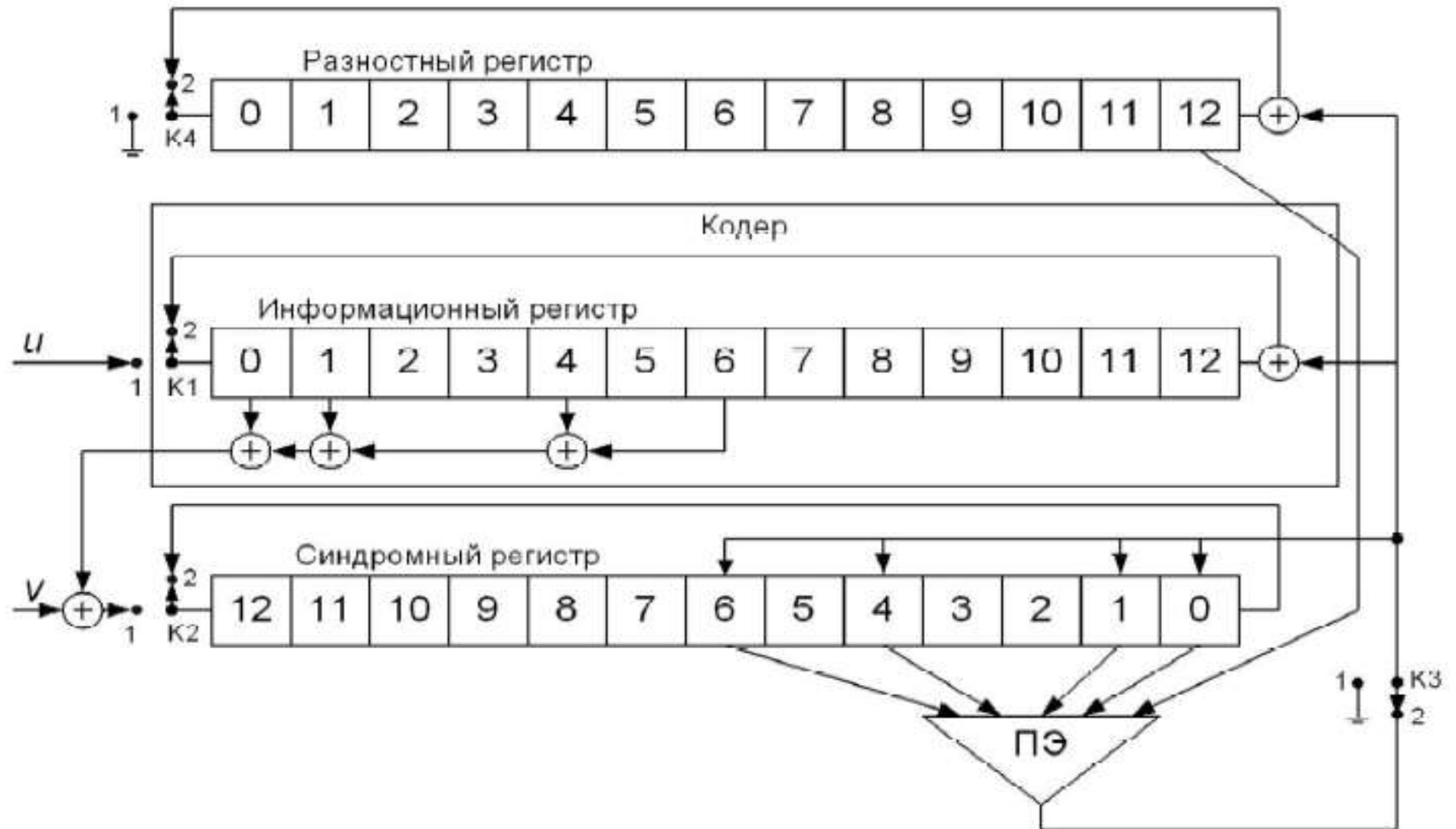
- 3. **Общий итоговый энергетический выигрыш от применения методов**

теории информации - до $40 \div 100$ раз!

Революционная интерпретация смысла синдрома линейного кода



Блочный МПД



1. Основная теорема

многопорогового декодирования

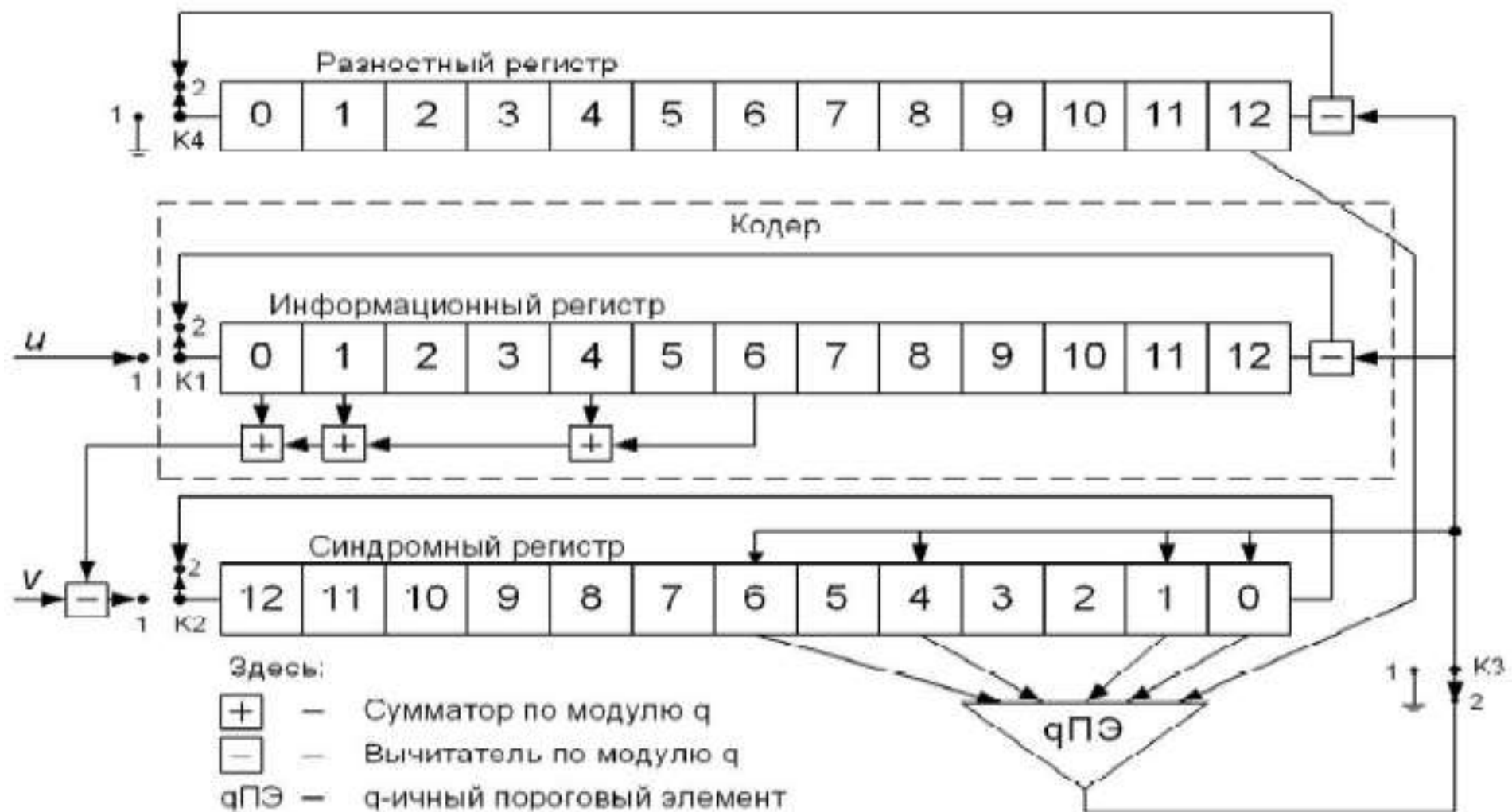
- При каждом изменении декодируемых символов кода решения МПД строго приближаются к принятому сообщению, **т.е. правдоподобие решений МПД всегда строго возрастает.**
- **Следствие-цель**
МПД **может** при линейной от длины кода сложности декодирования достичь наиболее правдоподобного решения, которое 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.
- К теории РО за последние 50 лет никто даже не подступился, не сформулировал её как актуальнейшую проблему.

Никто!

Символьный QМПД

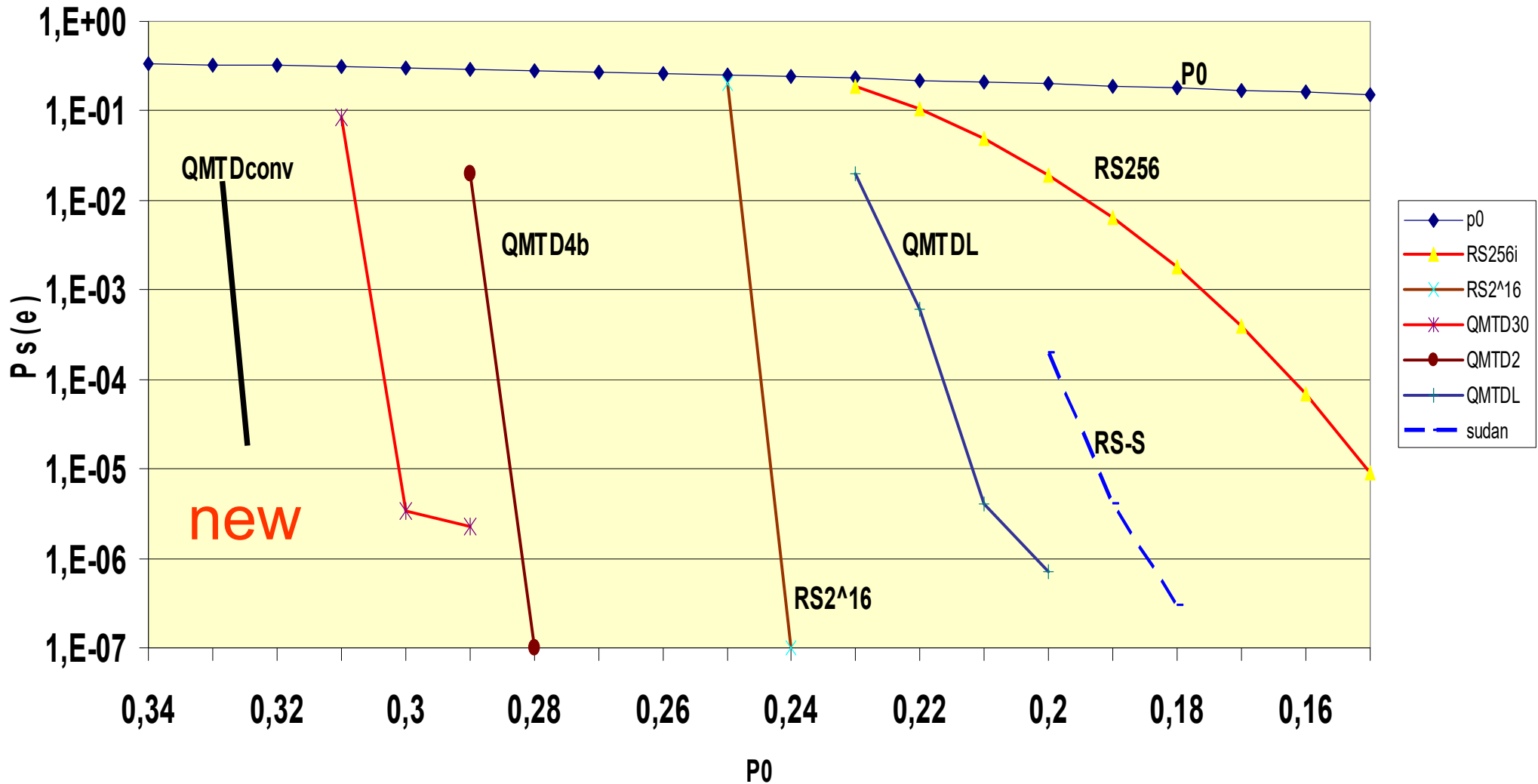


Оптимизационная теория

- **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.

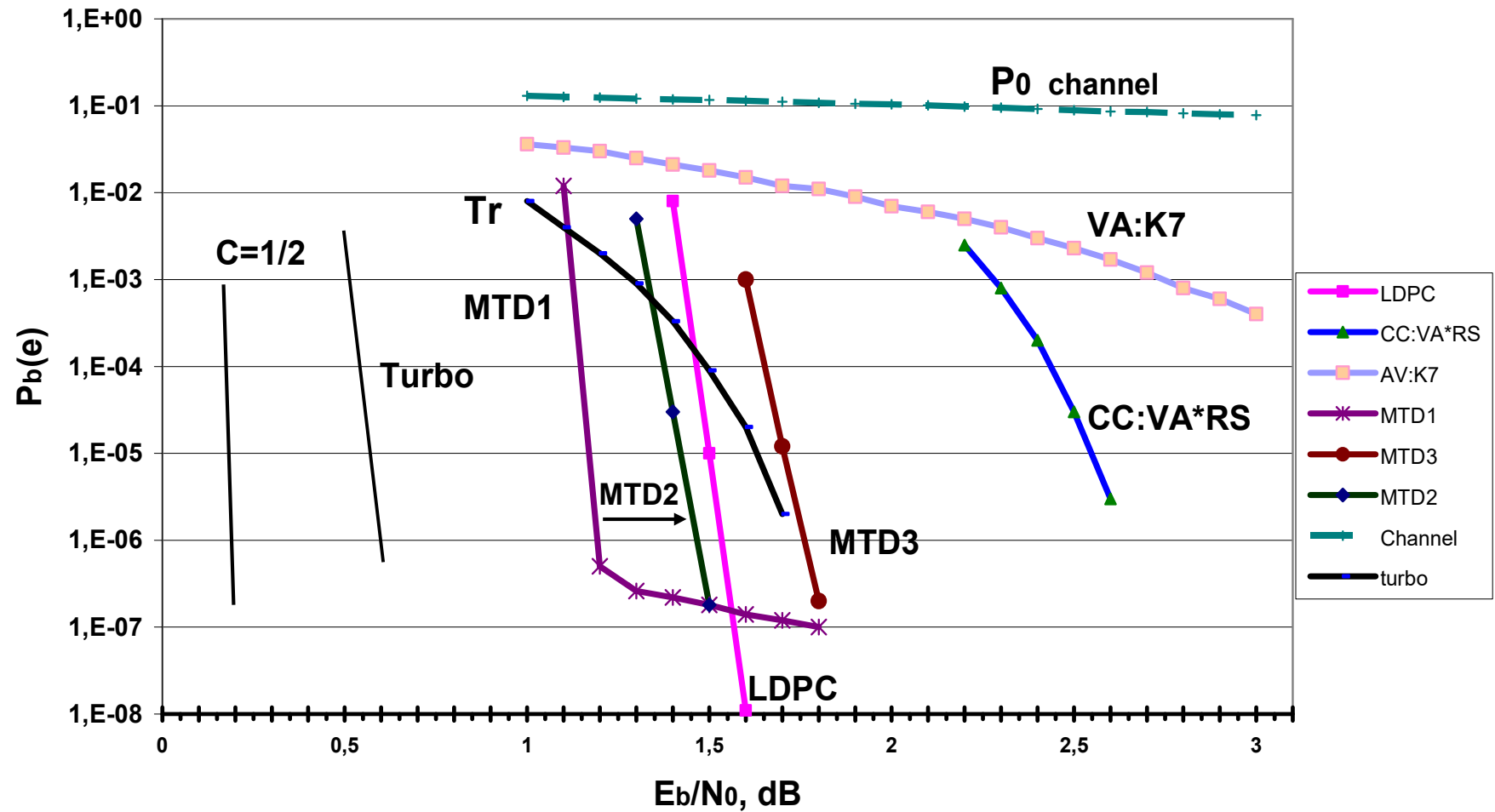


Performance QMTD and codes RS

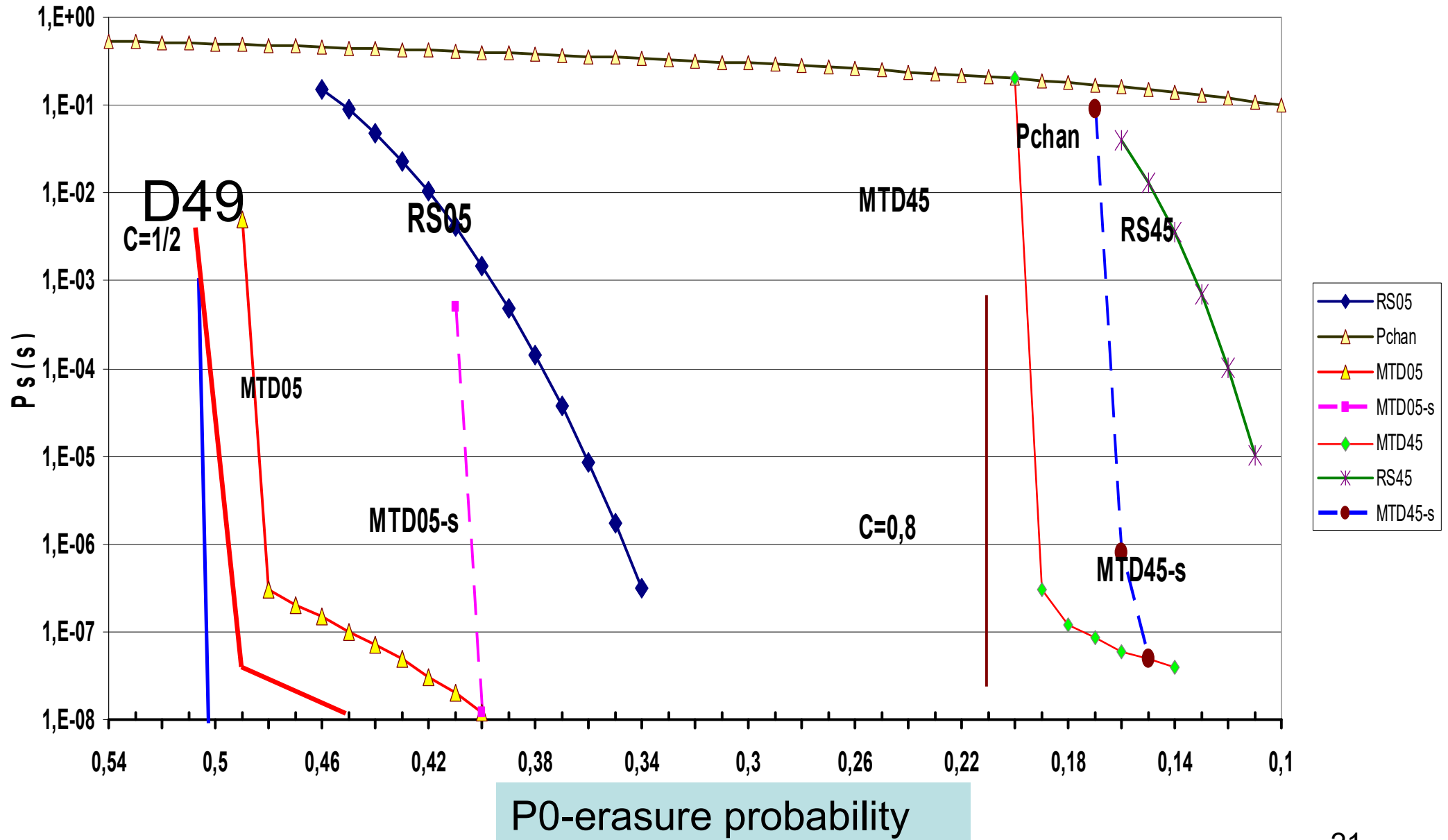


Характеристики методов декодирования гауссовских каналах

Performance of AV, new MTD and other decoders



Характеристики МПД и кодов РС в каналах со стираниями



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,

**СИМВОЛЬНЫЕ КОДЫ
длины 10^5 и более
с кодовой скоростью**

$R=0,16 \div 0,97$

?

Коды Рида-Соломона
длины до 255

?

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

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



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*



2-nd English book!

V.V. Zolotarev

**Coding Theory
as a Simple Optimal Decoding
near Shannon's Bound**

Optimization Theory
of error-correcting coding –
is a new “quantum mechanics”
in information theory



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 $R_2 \sim 1$ 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
- 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 - крупнейшие в мире порталы по Оптимизационной Теории (ОТ) помехоустойчивого кодирования**

Наши порталы по ОТ и МПД

www.mtdbest.ru

www.mtdbest.iki.rssi.ru

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

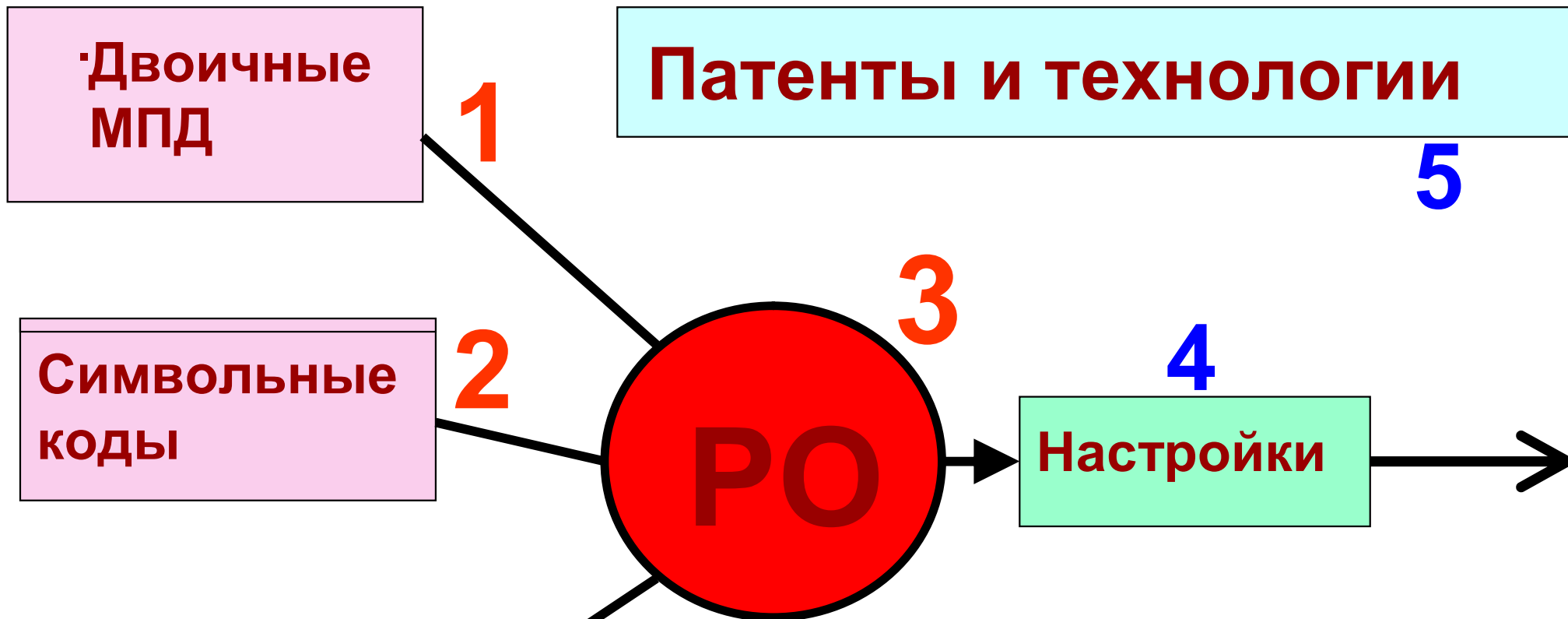
Россия



сша

Rank	Country	Visits
1	United States	13980
2	Not determined	10280
3	Germany	2170
4	Russian Federation	1600
5	Ukraine	850
6	China	610
7	United Kingdom	220
8	Kazakhstan	100

Открытия Оптимизационной Теории



1,2,3 – Нобелевские достижения (60 лет застоя!!!)

4,5,6,7 – важнейшие открытия теории кодирования

6 $A=X+V$

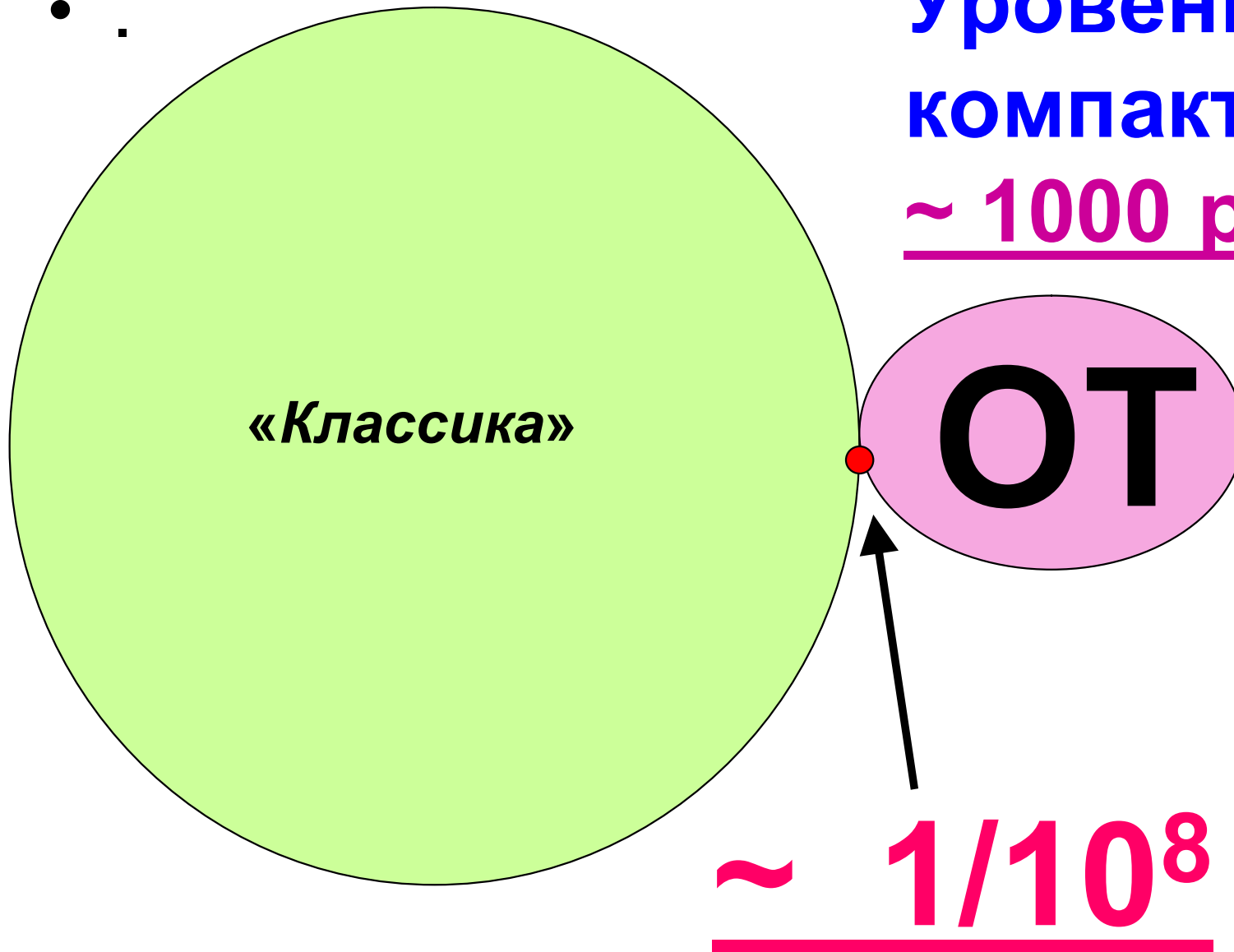
Парадигмы развития ОТ 7

Размеры «классики» и ОТ

Уровень

компактности ОТ

~ 1000 раз!!!



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 при минимуме ресурсов и - **главное** – в самый актуальный стартовый момент, на взлёте мира «цифры»!
- Триумф теории Золотарёва по всему миру подтверждают и сетевые порталы его научной школы, которые ежегодно посещают ~100'000 человек.³³
- (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.**

- 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 монографии 2018г.

(17 лет был директором ИППИ РАН)

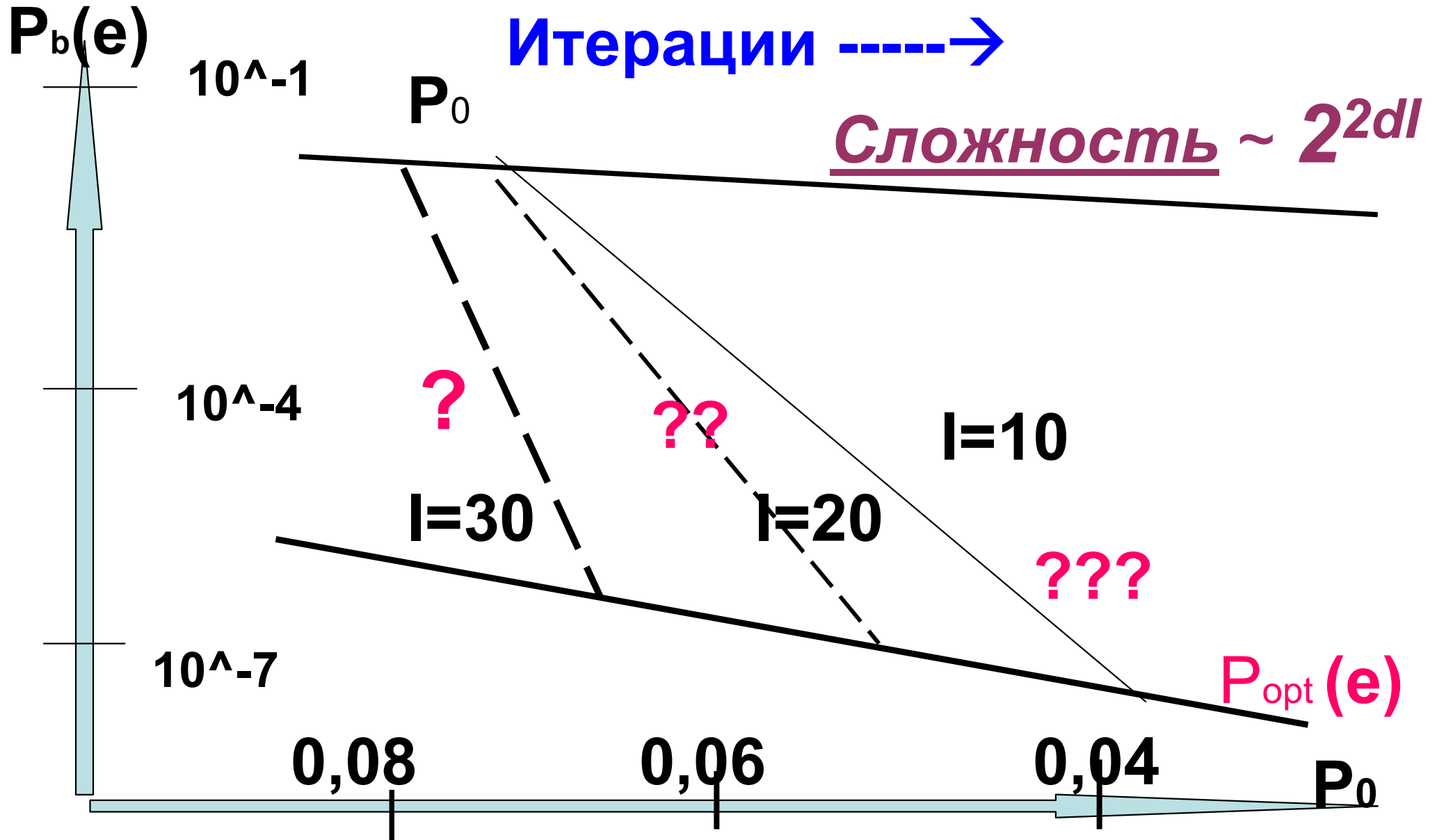
• Из статьи на портале РАН:

- «1. Противостояние компьютерного моделирования и теории, основанной на математических методах, – Болезнь Века. ...
2. Теоретик, работающий в любой научной области, знает, что далеко не все задачи можно решить аналитически: для подавляющего большинства проблем получить точные и даже приближенные решения не удастся. ...
3. Комбинирование возможностей теории и моделирования – особая профессия, требующая сочетания навыков и талантов, необходимых теоретикам прошлого века и специалистам по компьютерному моделированию современности».

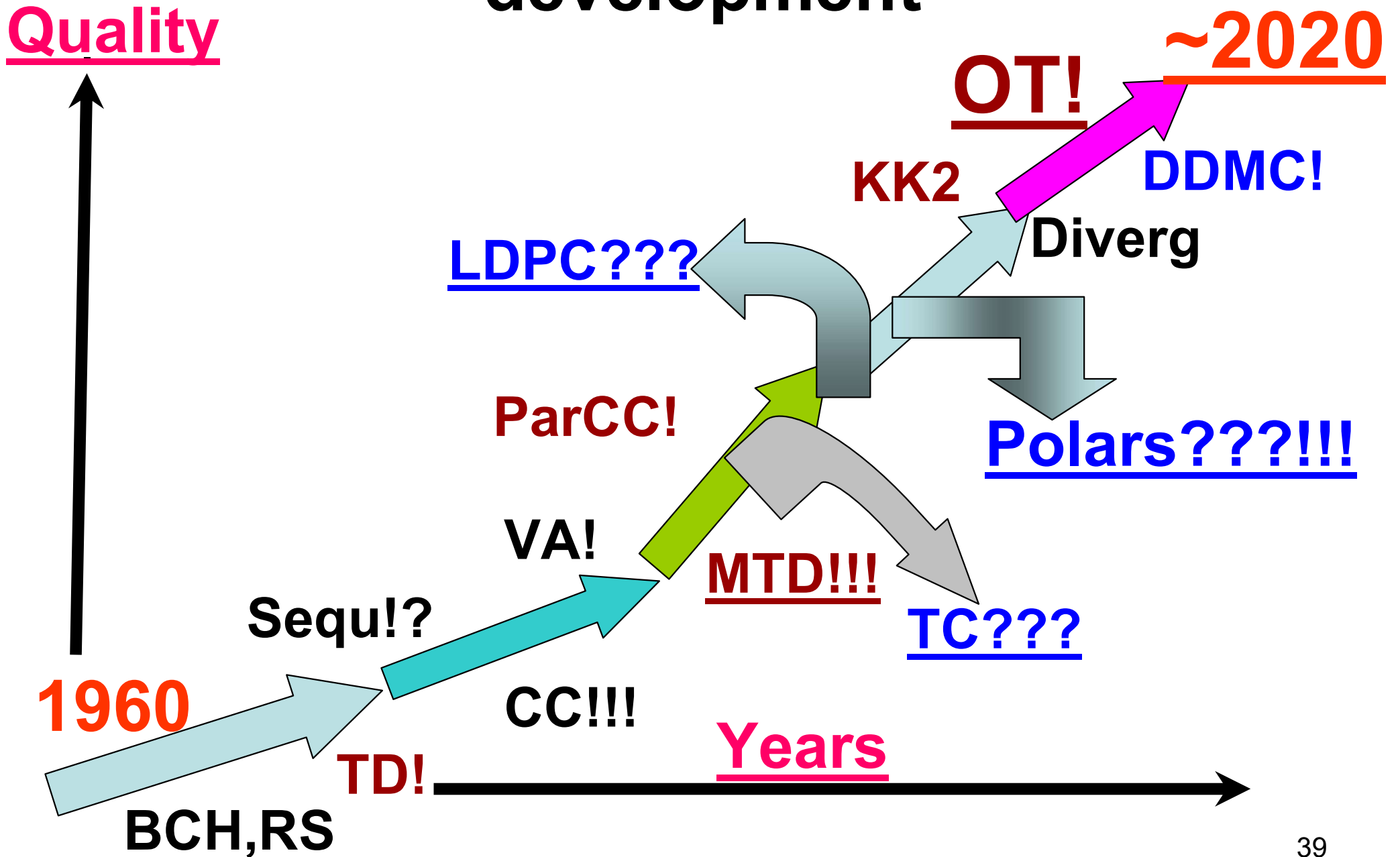
Новая **«квантовая механика»** в теории информации

- Препятствия теории кодирования (пТК) 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, которые позволила указать новые пути развития, успешность которых была продемонстрирована в докладе.
- ОТ – новая **«квантовая механика»** теории информации

Варианты стремления решений МПД к оптимальному

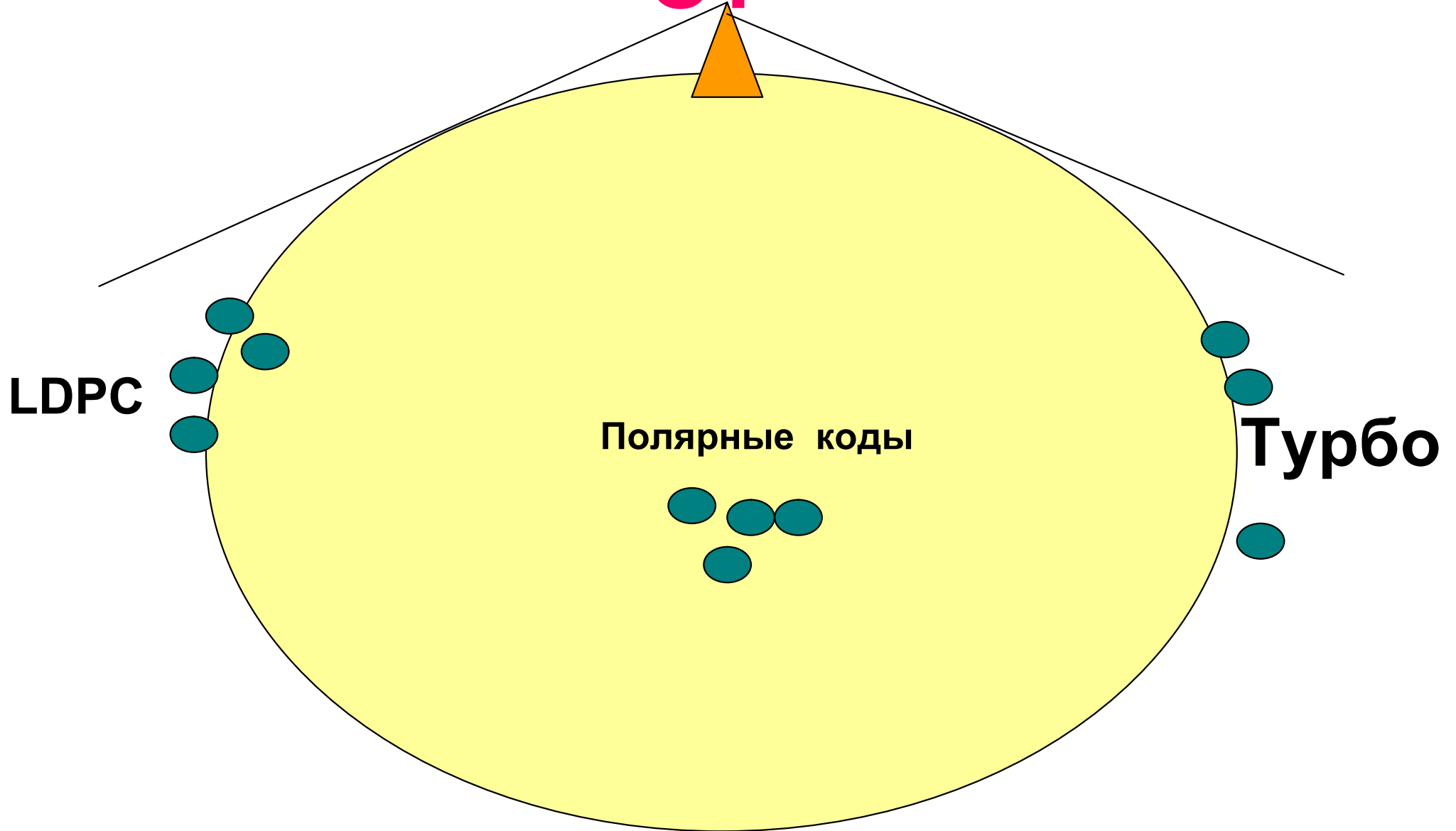


The dynamics of the coding theory development



Судьба лидеров

OT



Мы одинокие лидеры. Все остальные - за горизонтом!

Причины заката прежней теории



По триединому критерию
«**помехоустойчивость-
достоверность-
сложность**»

посчитать что-либо при большом уровне шума
ничего нельзя! Но в рамках прежней теории
мы не знаем кого-либо, кто умеет заниматься
экспериментом. Мы ищем коллег. Но их нет!

Теория кодирования –

не математическая проблема!

- Прежняя теория не решила никаких (!!!)
стоявших перед ней проблем –
неадекватная технология!

Наши текущие цели

1. Публикация главных итогов ОТ в нашей монографии 2021 года. Нужна поддержка!
2. Издание нового справочника по современным методам помехоустойчивого кодирования работающим вблизи границы Шеннона. Требуется активнейшее участие МФТИ в адаптации **готового на ~90% справочника** к условиям преподавания на физтехе.
3. Подготовка предложений для Минобрнауки по быстрому созданию новых учебных программ по методам коррекции ошибок при передаче данных по дорогим цифровым каналам связи и при создании систем высоконадёжной памяти для ВУЗов соответствующего профиля
4. Выход на зарубежных коллег ! **Надо работать!**
ИТОГ: Давайте всё делать вместе!

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
и Золотой медали Европейского Союза (ЕС)
"За исключительные достижения в науке"

**В.В. Золотарёв, моб.: +7-916-518-86-28, www.mtdbest.ru,
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.

(Вся программа есть в подборке материалов)

www.mtdbest.ru

Спасибо!

ИКИ РАН

www.mtdbest.iki.rssi.ru

e-mail: zolotasd@yandex.ru

МОБ.: +7-916-518-86-28

18.11.2020 г.

ИКИ РАН

