

Мастер-класс:

**технологии школы ОТ:
после решения
проблемы Шеннона**



29.03.2023 г.

В.В. Золотарёв
ИКИ РАН

Проводит мастер-класс

В.В. Золотарёв –

**ведущий научный сотрудник
Института космических**

исследований РАН,

доктор технических наук,

профессор,

лауреат премии Правительства РФ,

Золотой медали Евросоюза

«За исключительные достижения» и

Золотой медали Международного

салона изобретений

– О чём речь?

- Для передачи данных из цифровых массивов по радио эфиру нужно устройство преобразования цифровых данных, которые нужно сохранить в целостности. Для этого используется важнейшее в радиотехнике устройство - **МОДЕМ** !.
- Но это же просто? Радио известно давно.
- Да. Но когда надо передать, а затем и принять «цифру», **почти всегда** без каких-либо ошибок, модем становится самым ключевым узлом системы связи, сердцем которого являются таинственные **декодеры**, т. е. алгоритмы, реализация которых - «**высший пилотаж**» науки - **теории помехоустойчивого кодирования!**

**Значит, цифровая информатика
успешно работает только
с достоверными данными.**

***Эта задача в каналах связи с большими
искажениями решается методами***

**теории информации
и её сложнейшего**

прикладного раздела:

**Теории помехоустойчивого
кодирования**

Вначале любая оригинальная
теория признаётся абсурдной,
потом — верной,
затем — самоочевидной
и незначительной,
и, наконец, столь важной
и самобытной, что бывшие
критики **присваивают её себе.**

У. Джеймс, философ, США

- 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

- ----- **Под эту проблему создан 60 лет назад ИППИ АН СССР** -----

- - 18.06.2019

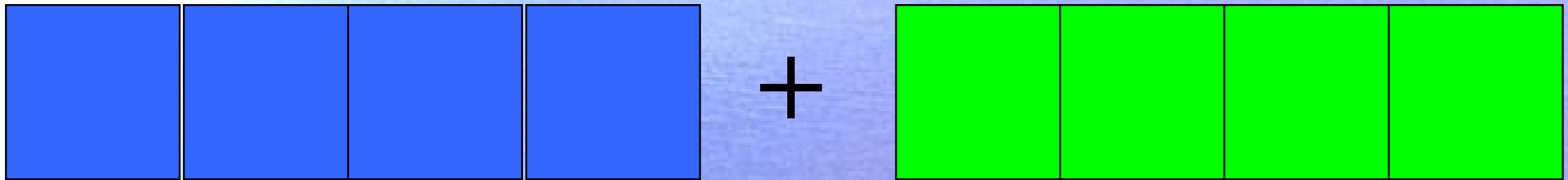
Наши сетевые порталы

- 1 - www.mtdbest.ru
- 2 - www.mtdzoldec.ru **-здесь!**
- 3 - www.decoders-zolotarev.ru
- 4 - www.mtdbest.iki.rssi.ru
- Там - ~1500 блоков информации: статьи, обзоры, 11 монографий **с академиками РАН** и ~40 демопрограмм и платформ с **ПО (!)**
научной школы ОТ для цифровых сетей

Кодирование - это введение избыточности

k - информация

r - избыточные символы



$n=k+r$ - длина блока

$R=k/n < 1$ -

КОДОВАЯ СКОРОСТЬ

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

Значит, цель кодирования - ЭВК

$$G=R*d$$

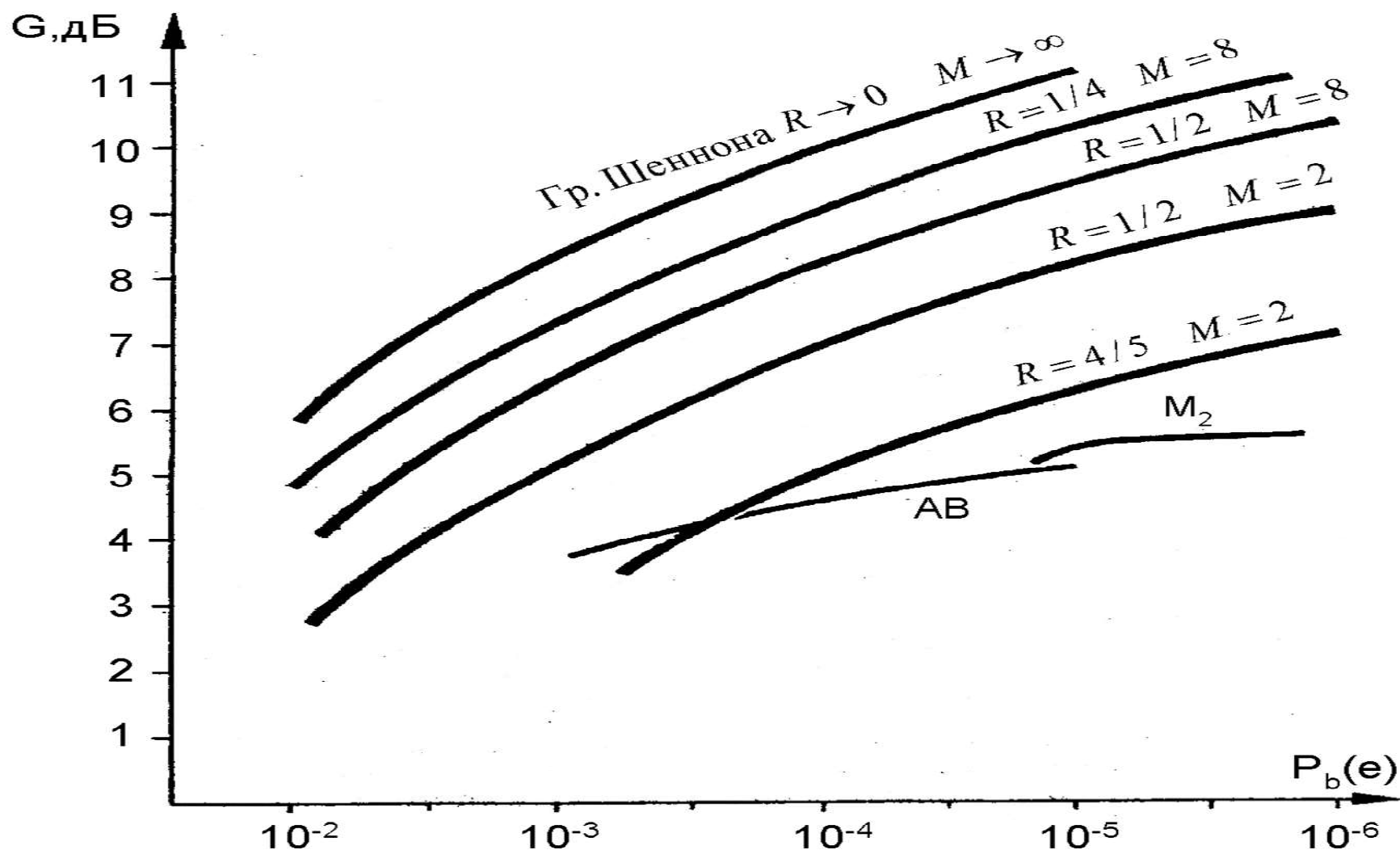
. - Не привязывается к длине кода n !

— И при этом надо работать:

При меньшей энергетике канала E_b/N_0

- Максимально быстро – аппаратно
- Минимально просто - программно
- Почти абсолютно достоверно!

Возможные уровни энергетического выигрыша кодирования - ЭВК !



**Таким образом,
кодирование**

снижает

**размеры антенн и
мощность передатчика,**

увеличивает

**скорость, дальность и
достоверность
данных для многих типов
каналов связи**

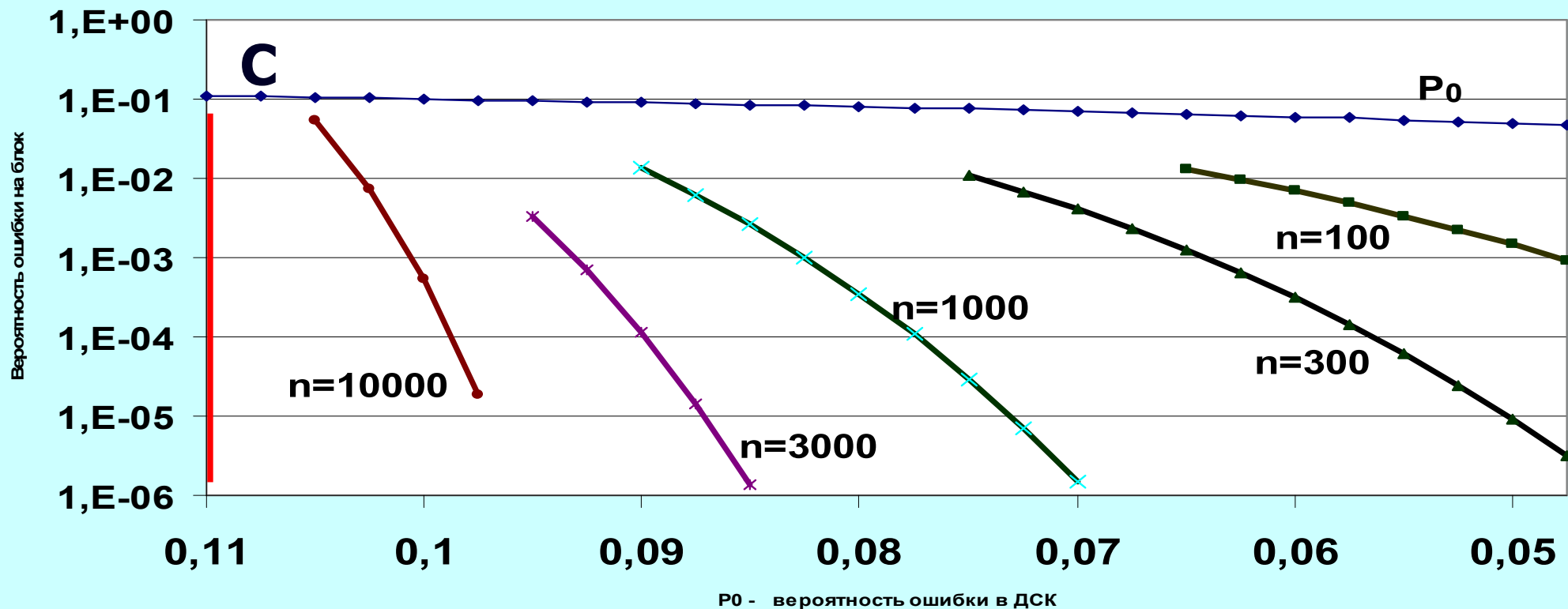
- Но как должны реализоваться декодеры?
- Они по возможности должны быть оптимальными!-Как это?-
- Решение – сообщение, ближайшее к принятому из канала вектору.
- - Зачем? - Тогда это наиболее правдоподобный результат.
- Правда, тут проблема: число решений растёт экспоненциально!

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

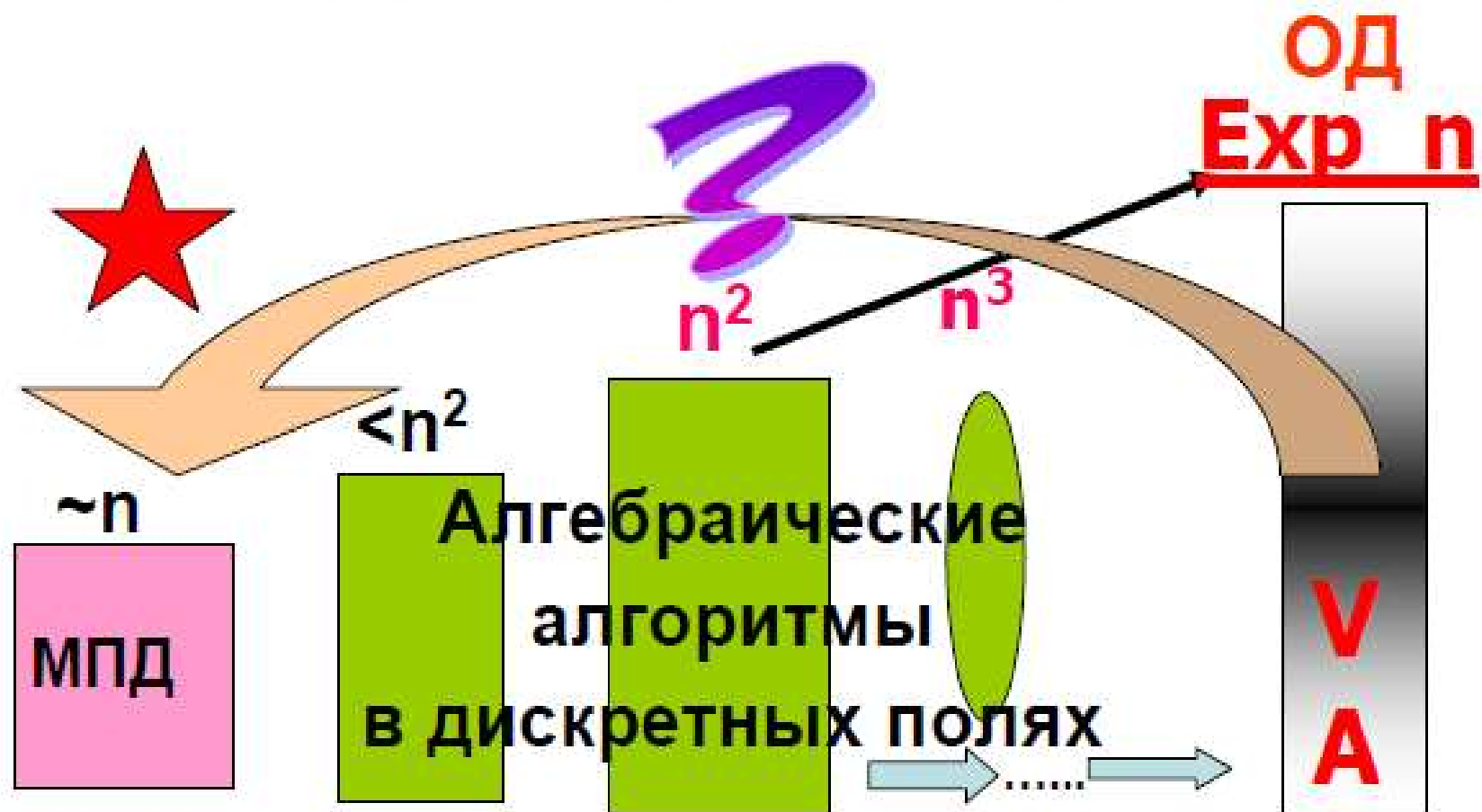
Даже коды длины $n=1000$ неэффективны при вероятности ошибки в ДСК канале $P_0 > 0.08$. А теория-то утверждает, что можно успешно работать при $P_0 < 0.11$!!!

И это при 2^{500} вариантах!

Сложность - больше числа атомов во Вселенной!



Обновление главной парадигмы Оптимизационной Теории помехоустойчивого кодирования



Сложность алгоритмов декодирования

И в настоящее время в теории кодирования - две труднейшие проблемы

- 1-я проблема –затянувшийся на много десятилетий застой в ТК оказался жёстким доказательством того, что ТК – вовсе не математическая задача. - ПОЧЕМУ? –
- В комплексном критерии ПДС \equiv Помехоустойчивость-Достоверность-Сложность для ТК эти важнейшие параметры декодеров нельзя найти аналитически! Видимо, это – навсегда! Но теоретики этого не приняли. А моделировать они не могут!
- Р-т: «математическая» ТК ушла с полей науки

Вторая сложнейшая проблема

- А) Создание эффективных декодеров – тяжёлый комплексный тест для технологий организаций, которые реализуют системы декодирования: сложность, эффективность, элементная база, надёжность. Это –ключ ТК
- Б) Лишь после этого можно рассматривать работу декодера в модеме с выбранной системой сигналов.
- В) И только потом: **проектировать систему связи (СС) с кодированием!**
- Но наши спецы СС совсем не знают ТК!

Оптимизационная теория

Критерии выбора алгоритмов

–Помехоустойчивость

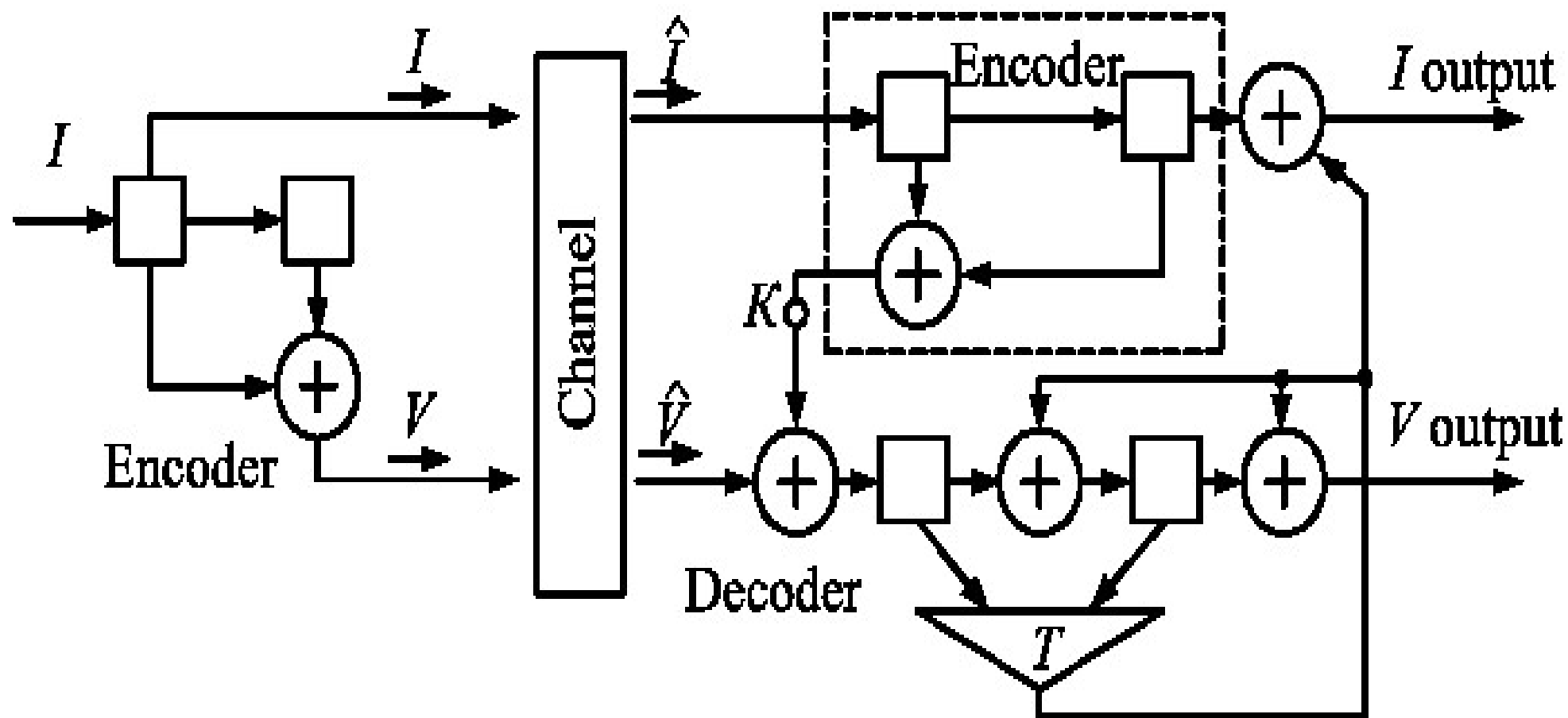
Достоверность –

Сложность

- Никакие декодеры никогда не имеют формул для этих параметров вблизи границы Шеннона
- *Но этого никто не захотел признать*
- **Однако это значит, что создание алгоритмов декодирования – совсем не математическая задача**
- ***Но – какая? Эксперимент → моделирование?***

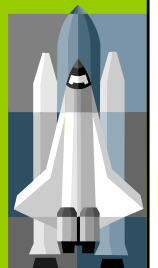
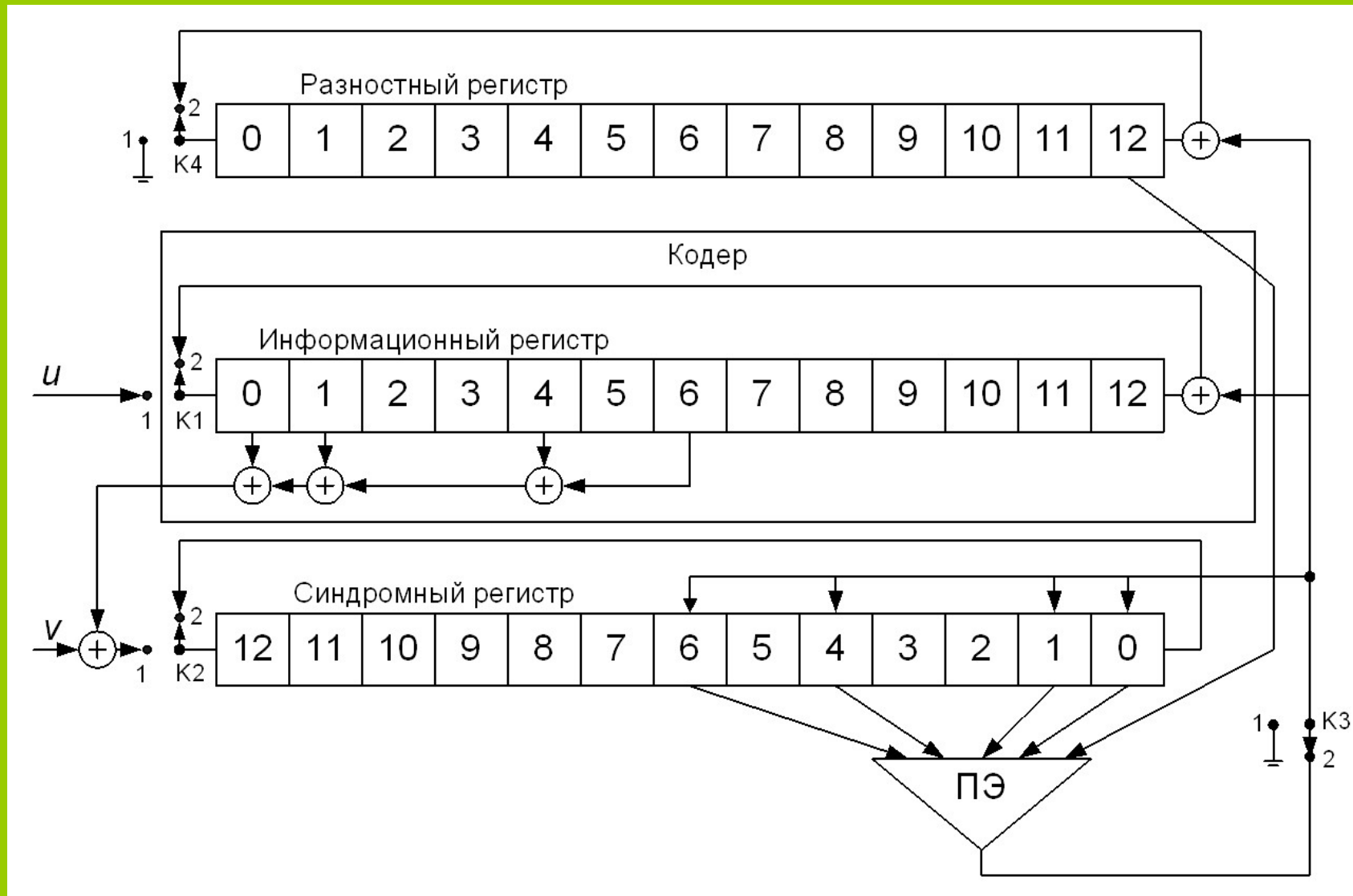
Лозунг «Программирование - вторая грамотность» - **забыт!**

Революционная интерпретация смысла синдрома линейного кода



$R=1/2, d=3$

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



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

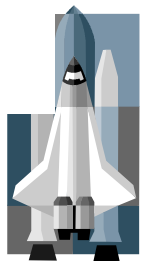
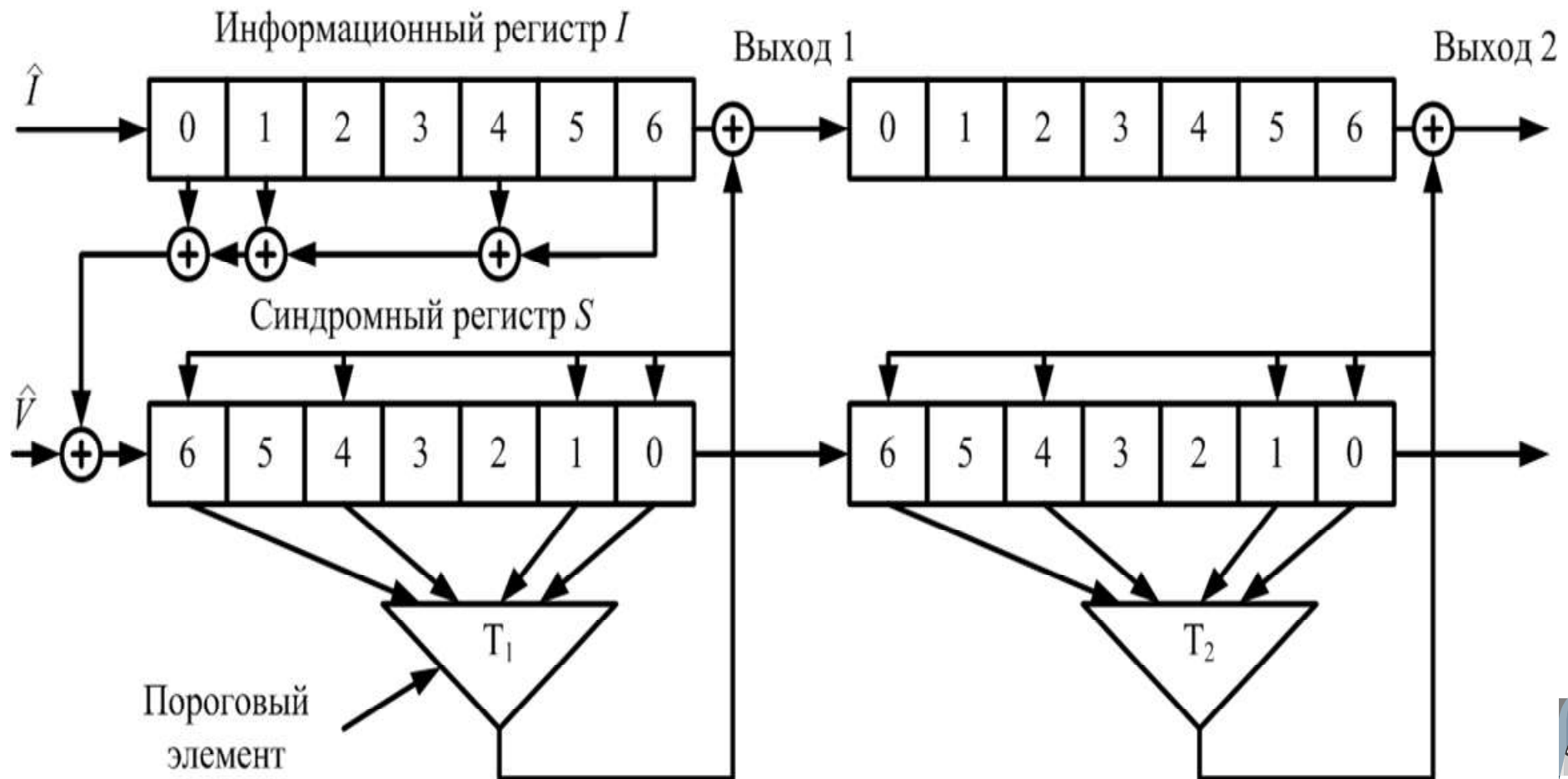
В. В. Золотарев

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

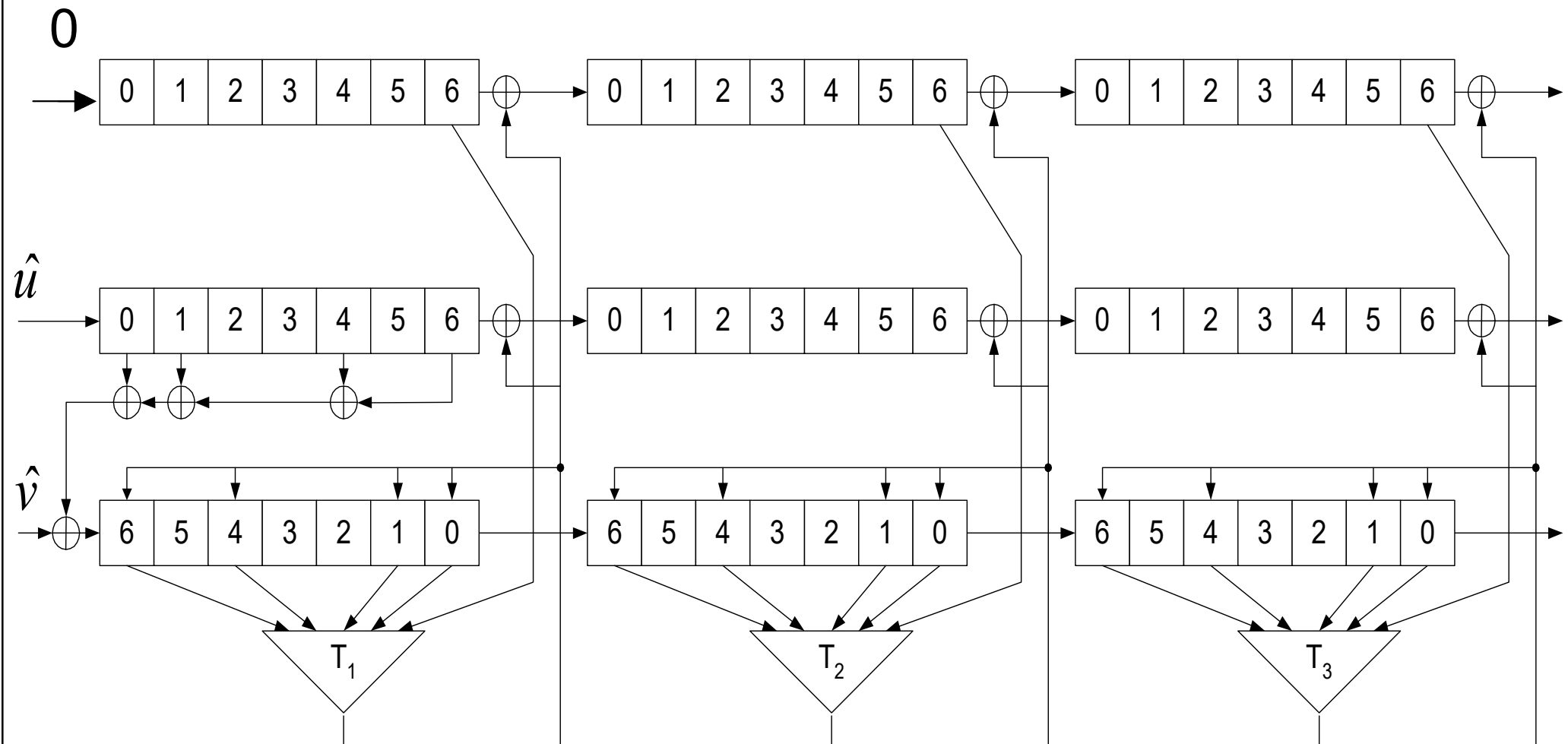
(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЕКОДИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ СВЕРТОЧНЫХ
КОДОВ

Пороговое повторное декодирование короткого свёрточного кода с $R=1/2$, $d=5$

СЛАБО!




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



→ **Основа оптимизационной теории**

Результат создания ОТ

- 1.. Основная теорема МПД и все её обобщения на цифровые каналы.
 - 2.. Теория размножения ошибок.
 - 3. Теория поиска глобального экстремума функционалов
- 
- The diagram consists of three arrows originating from the pink text 'ПО' on the right. One arrow points to the first bullet point (Main theorem of MPD), another points to the second bullet point (Theory of error reproduction), and a third points to the third bullet point (Theory of global extremum of functionals). A plus sign '+' is placed between the third bullet point and the 'ПО' text.

- Ни одной из этих теорий
не было в прежней ТК.

ОТ создана заново.

Её девиз: теория + эксперимент!

Более 150 типов
моделей декодеров

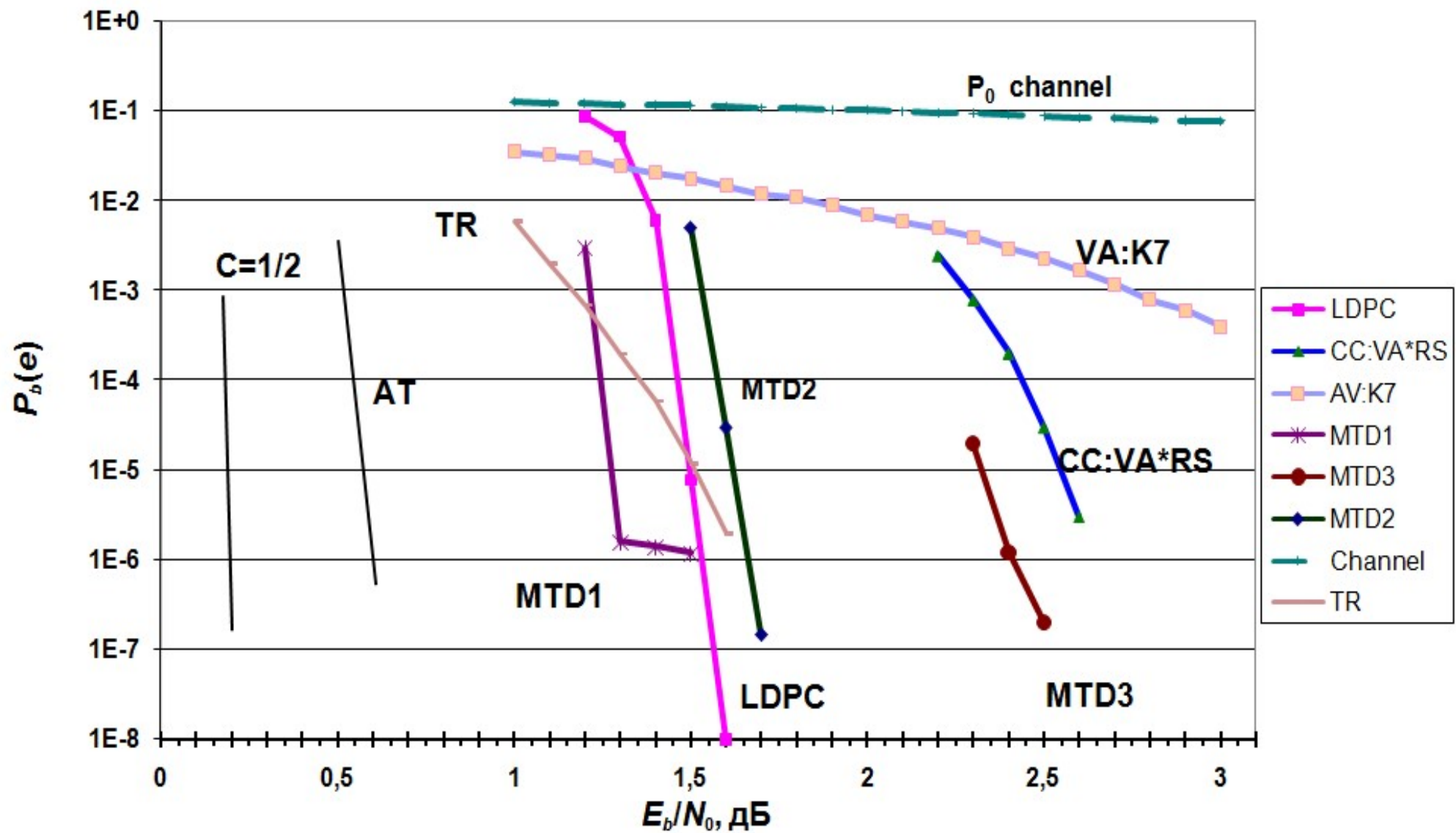
Оптимизационная теория

- ОТМПД – основа теории !
- Все этапы:
- настройка алгоритма,
- выбор кодов и
- сами алгоритмы МПД –
это - задачи поиска глобального
экстремума функционалов.

Но их результаты всегда
НЕВЫЧИСЛЯЕМЫЕ!



Performance MTD,LDPC,turbo,VA,CC



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

МПД на ПЛИС Altera 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**



МПД для космоса, оптических каналов и флеш-памяти

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

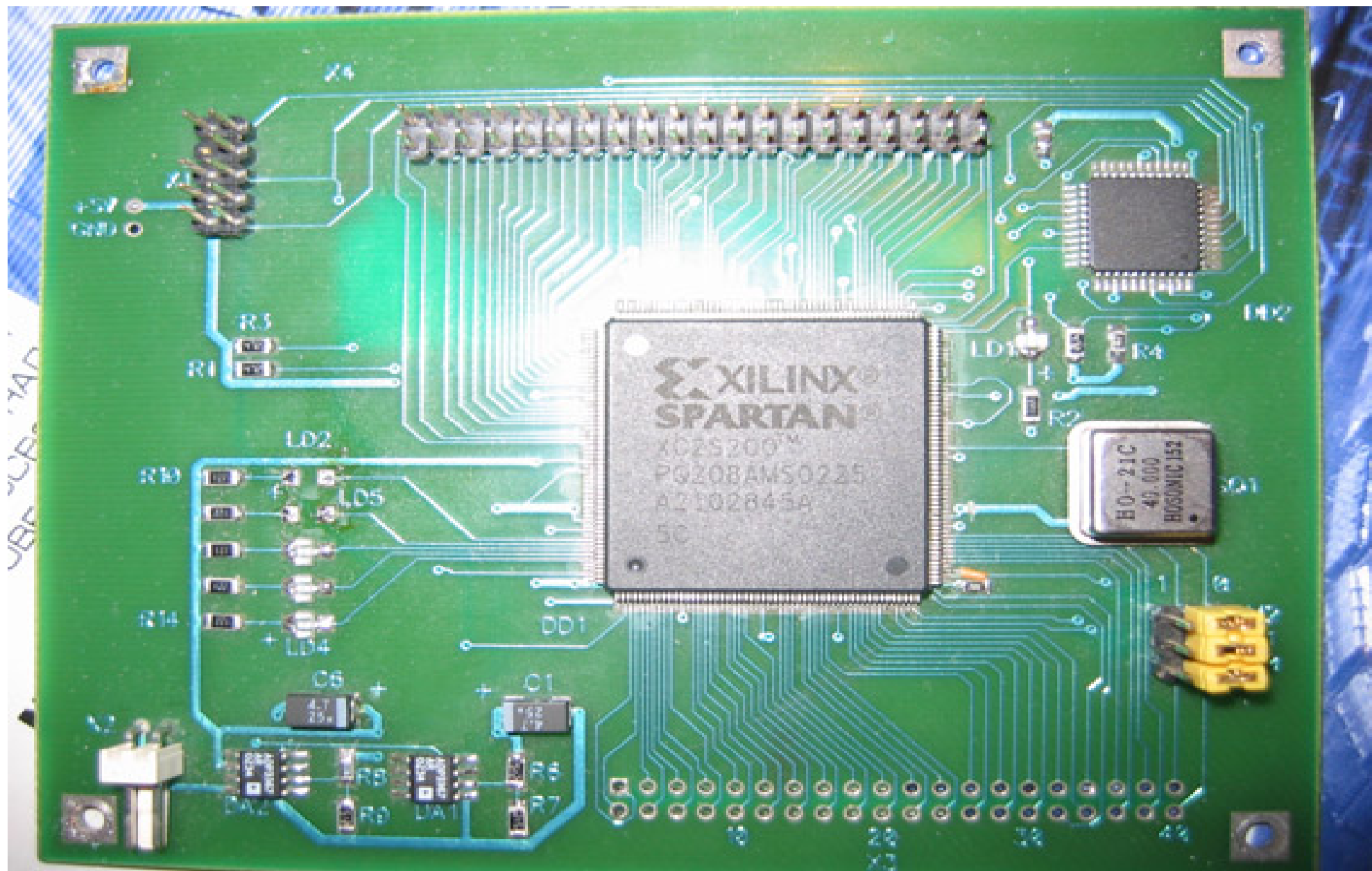
Президент Салона

Д.И. Зезюлин

Руководитель
Федеральной службы
по интеллектуальной
собственности

Б.П. Симонов

Чипсет МПД декодера на ПЛИС Xilinx



Применение наиболее мощных систем кодирования канала и источника

- 1. Кодирование канала.

Повышает достоверность передачи данных на 2-5 десятичных порядков,

ЭВК~8-15 дБ

- 2. Кодирование источника.

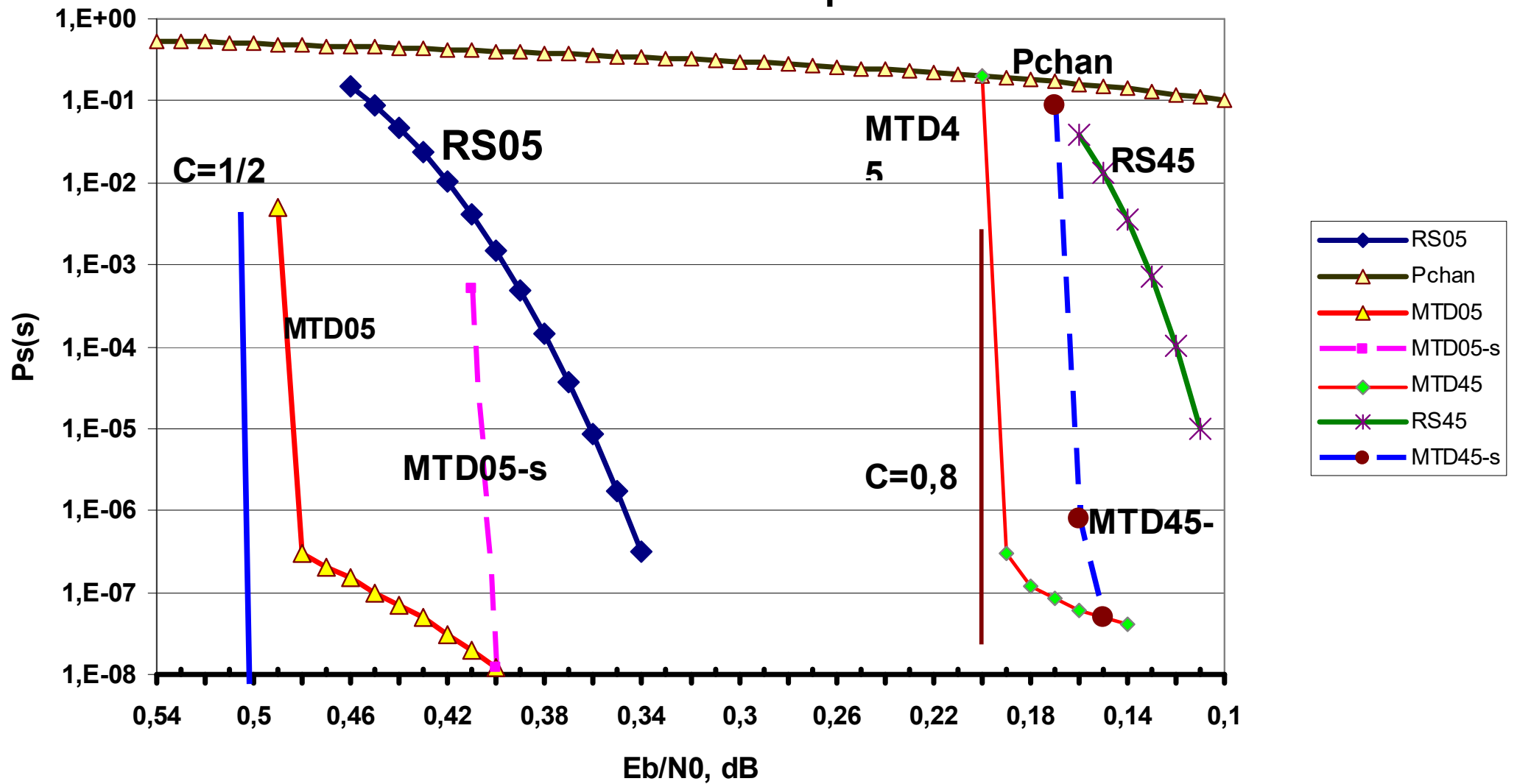
Достигается сжатие данных в 2-5 и более раз.

- 3. Общий итоговый энергетический выигрыш от применения методов теории информации - **до 40 - 100 раз !**

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



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



Теория кодирования..... – 2018г.



Золотарёв Валерий Владимирович – выпускник МФТИ, 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 электросвязи (МСЭ/ITU) в 2015 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 особо достоверные методы коррекции ошибок в цифровых системах, обеспечивающие успешную работу в непосредственной окрестности 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 сетевых порталах научной школы В. В. Золотарёва представлены обширные материалы по ОТ и дешиграммам 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**

Монография 2021 г.



От научного редактора

- История науки не знала до сих пор такого случая, чтобы небольшая научная школа полностью развернула в принципиально новом направлении столь грандиозную и инерционную, но одновременно и такую необходимую для техники связи сложнейшую отрасль науки, практически полностью решив все ранее сформулированные для неё прикладные проблемы.
- **Член-корреспондент РАН Ю.Б. Зубарев**



Золотарёв Валерий Владимирович – выпускник МФТИ, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института когнитивных исследований РАН, лауреат премии Правительства России в области науки и техники, Золотой медали Международной выставки изобретений и Золотой медали Европейского союза (ЕС) «За исключительные достижения». Опубликовал более 260 научных работ, в том числе 11 монографий по прикладной теории помехоустойчивого кодирования. Международным союзом электросвязи (МСЭ/ITU) в 2015 г. издана его монография на английском языке. Автор более 15 патентов на изобретения в РФ и за рубежом.

Изложены теоретические основы и описаны конкретные методы оптимального декодирования (ОД) с линейной от длины кодов сложностью для всех основных видов цифровых каналов связи с независимыми искажениями вплоть до окрестностей их пропускной способности. Все методы Оптимизационной Теории (ОТ) помехоустойчивого кодирования представлены как технологии, обеспечивающие полное решение великой проблемы Шеннона. Свёрточные и блочные модификации алгоритма Витерби (AB) и многопороговые декодеры (МПД), относящиеся к давно известным инженерам и специалистам абсолютно понятным способам коррекции ошибок, описаны как кодовые системы, проектируемые с использованием тонких методов настройки их параметров для задач поиска глобальных экстремумов функций.

Справочный и методический материал всесторонне поддерживается информационными и технологическими ресурсами трёх сетевых порталов научной школы ОТ.

ISBN 978-5-9912-0976-2



сайт издательства:

www.techbook.ru



КОДИРОВАНИЕ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ И СИСТЕМ ПАМЯТИ

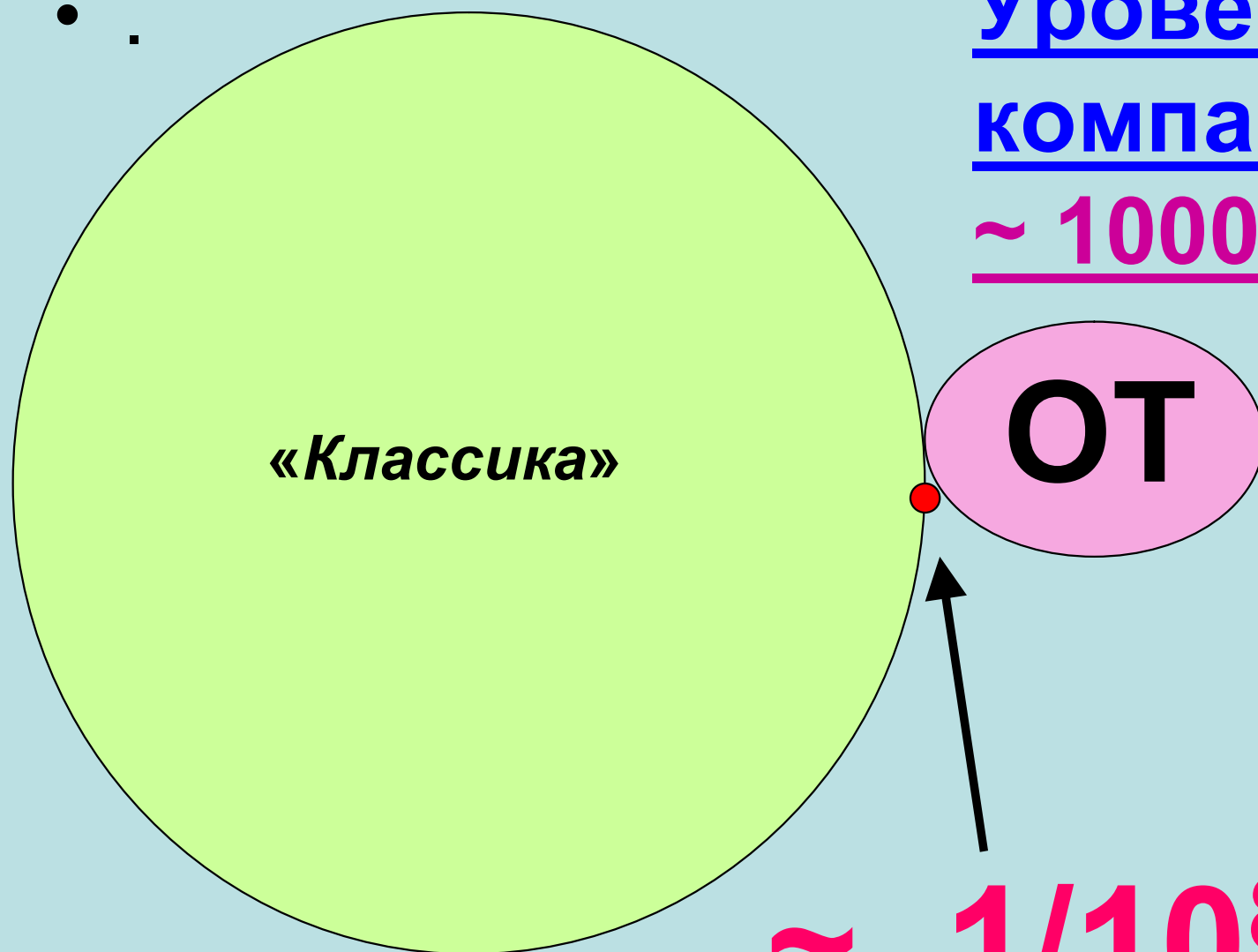
В. В. Золотарёв

КОДИРОВАНИЕ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ И СИСТЕМ ПАМЯТИ

СПРАВОЧНИК

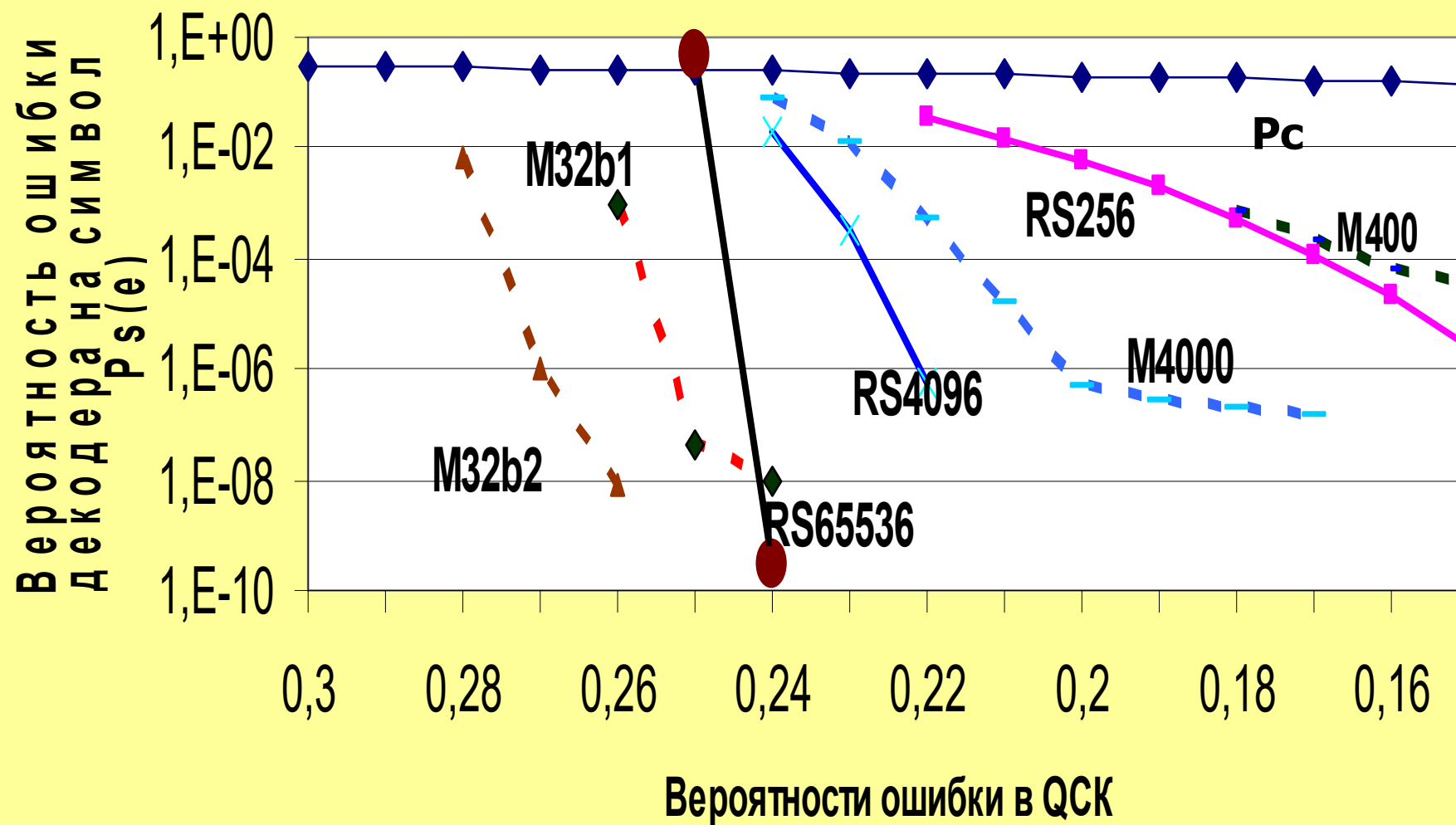
Размеры «классики» и ОТ

Уровень
компактности ОТ
~ 1000 раз!!!



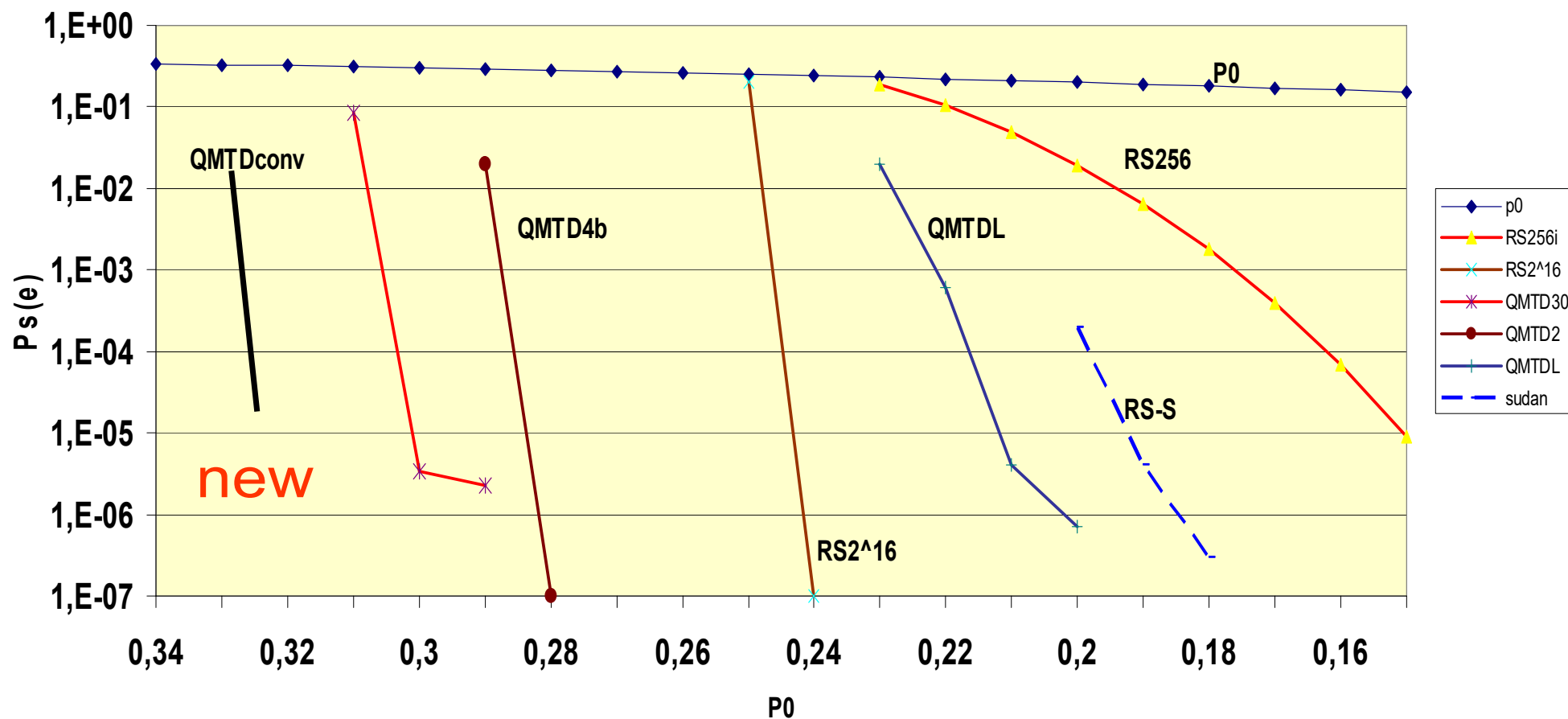
~ 1/10⁸ ?

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



Свёрточные символные МПД

Performance QMTD and codes RS



Для первого ознакомления с ОТ



В соавторстве с
академиком РАН
Н.А. Кузнецовым
и членом —
корреспондентом
РАН
Ю.Б. Зубаревым

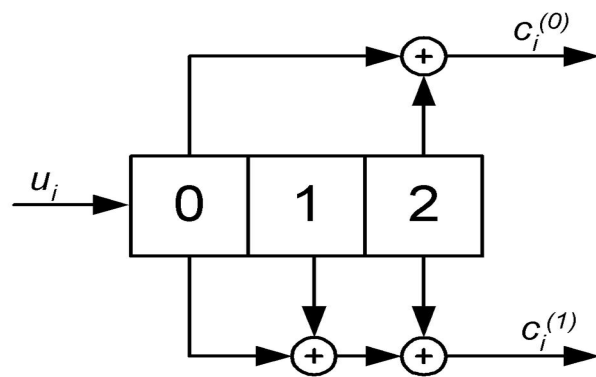
Н.А. Кузнецов, В.В. Золотарёв, Ю.Б. Зубарев,
Г.В. Овечкин, Р.Р. Назиров, С.В. Аверин



**Проблемы и открытия
Оптимизационной Теории
помехоустойчивого кодирования
(ОТ в иллюстрациях)**

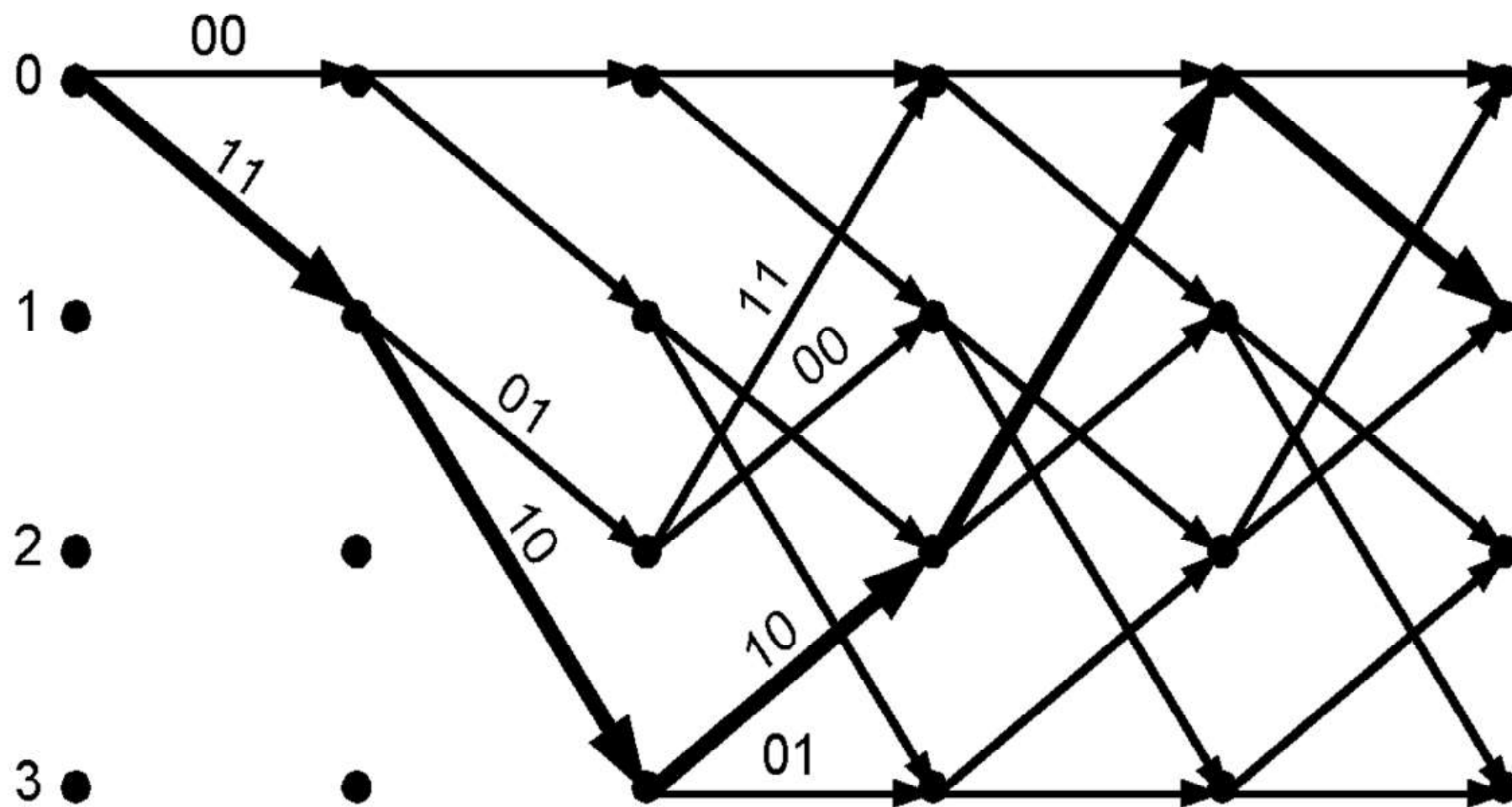


Москва
ИКИ РАН
2020 г.



Алгоритм Витерби

Анализ решётки



Наши порталы по ОТ и МПД

www.decoders-zolotarev.ru, www.mtdbest.ru

www.mtdbest.iki.rssi.ru

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

Россия

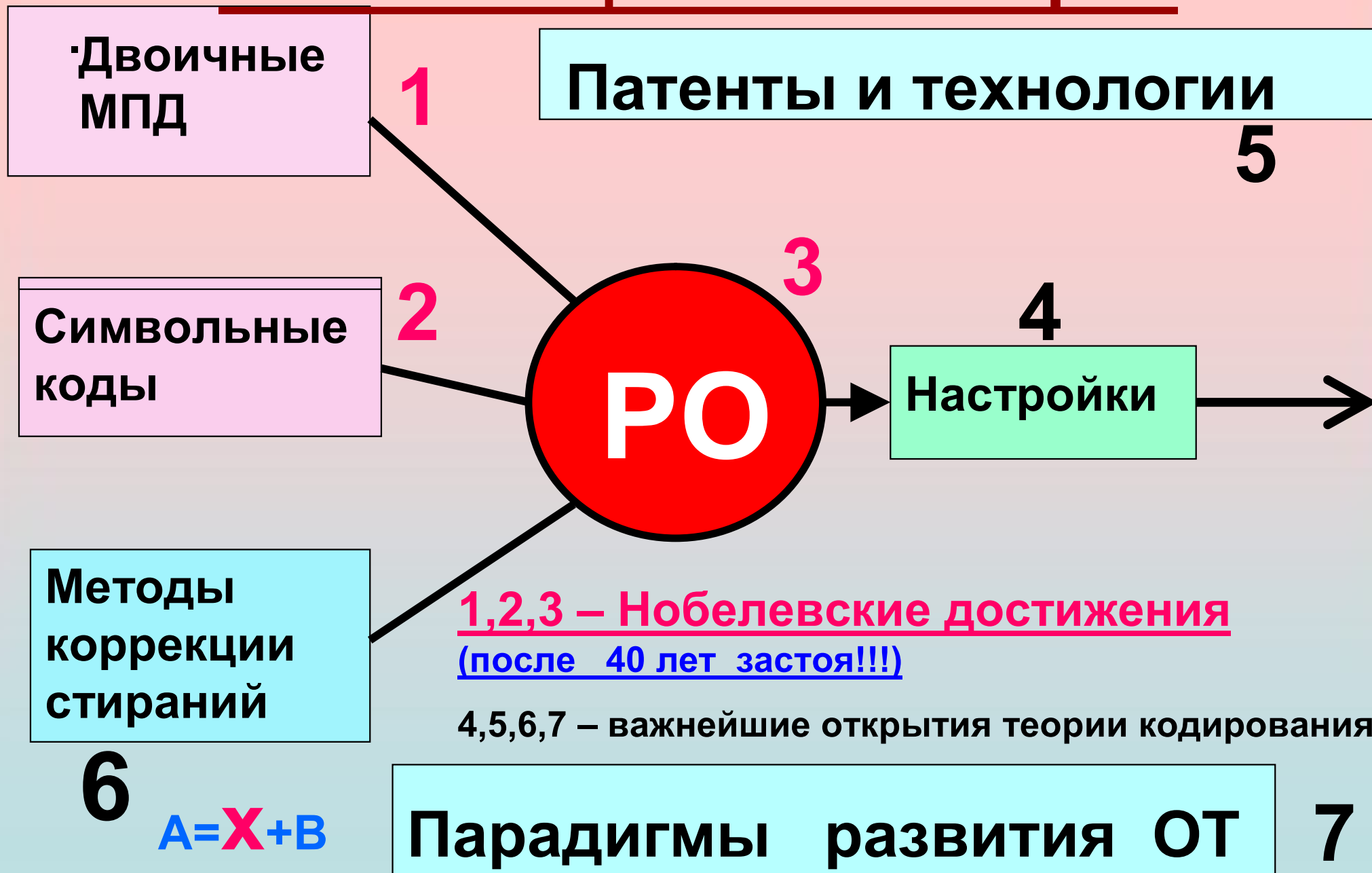


Rank

Country

- | | |
|---|--------------------|
| 1 | United States |
| 2 | Not determined |
| 3 | Germany |
| 4 | Russian Federation |
| 5 | Ukraine |

Открытия школы Оптимизационной Теории



Наша поддержка – всем!

Всё - в свободном доступе.

- Более 800 статей школы ОТ за **50** лет;
- **16** книг, из них 11 монографий с участием академиков и членов РАН – системно-философские трактаты по алгоритмам
- 3 сетевых портала;
www.decoders-zolotarev.ru, www.mtdbest.ru,
www.decmtdzol.ru , www.mtdbest.iki.rssi.ru
с 1000 блоков данных. + 3 вида учебных программ

Два единственных в России справочника
по кодированию с технологиями решения
проблемы Шеннона для всех типов каналов

Выводы

1. Создана Оптимизационная Теория (ОТ) помехоустойчивого кодирования.
2. При линейной сложности реализуются уровни достоверности оптимального (переборного!) декодирования в непосредственной близости от пропускной способности канала.
3. Решена великая проблема Шеннона, поставленная им 70 лет назад. Современная цифровая цивилизация получила технологии обеспечения произвольной достоверности информации.
4. Аналогичных разработок уникального теоретического и экспериментального уровня школы ОТ у каких-либо научных групп в мире нет!
Опережение составляет ~15-20-30(?) лет.

Общий итог!

- Российскую науку можно поздравить с выдающимся результатом: решением главной научной задачи всего современного цифрового мира – великой проблемы Шеннона.
- Классическая теория кодирования полностью завершена как проблема. Ей на смену пришли технологии ОТ создания кодеков для всех традиционных в теории кодирования цифровых каналов

**Факт: Теория и эксперимент всегда
ускоряют, контролируют и взаимно
поддерживают друг друга**

• 09.09.2009 - «Независимая газета»
«Число, возведенное в абсолют»

скопировано с портала РАН

**Но: цитата: ...противостояние
компьютерного моделирования
и теории, основанной
на математических методах, –
болезнь века»**

Ю.Магаршак - профессор, исполнительный
вице-президент Международного комитета
интеллектуального сотрудничества.

О тупиковом направлении движения классической теории кодирования

- «.....Теоретик, работающий в любой научной области, знает, что не все задачи можно решить аналитически

А для подавляющего большинства масштабных проблем
даже приближенные аналитические выражения найти не удаётся.

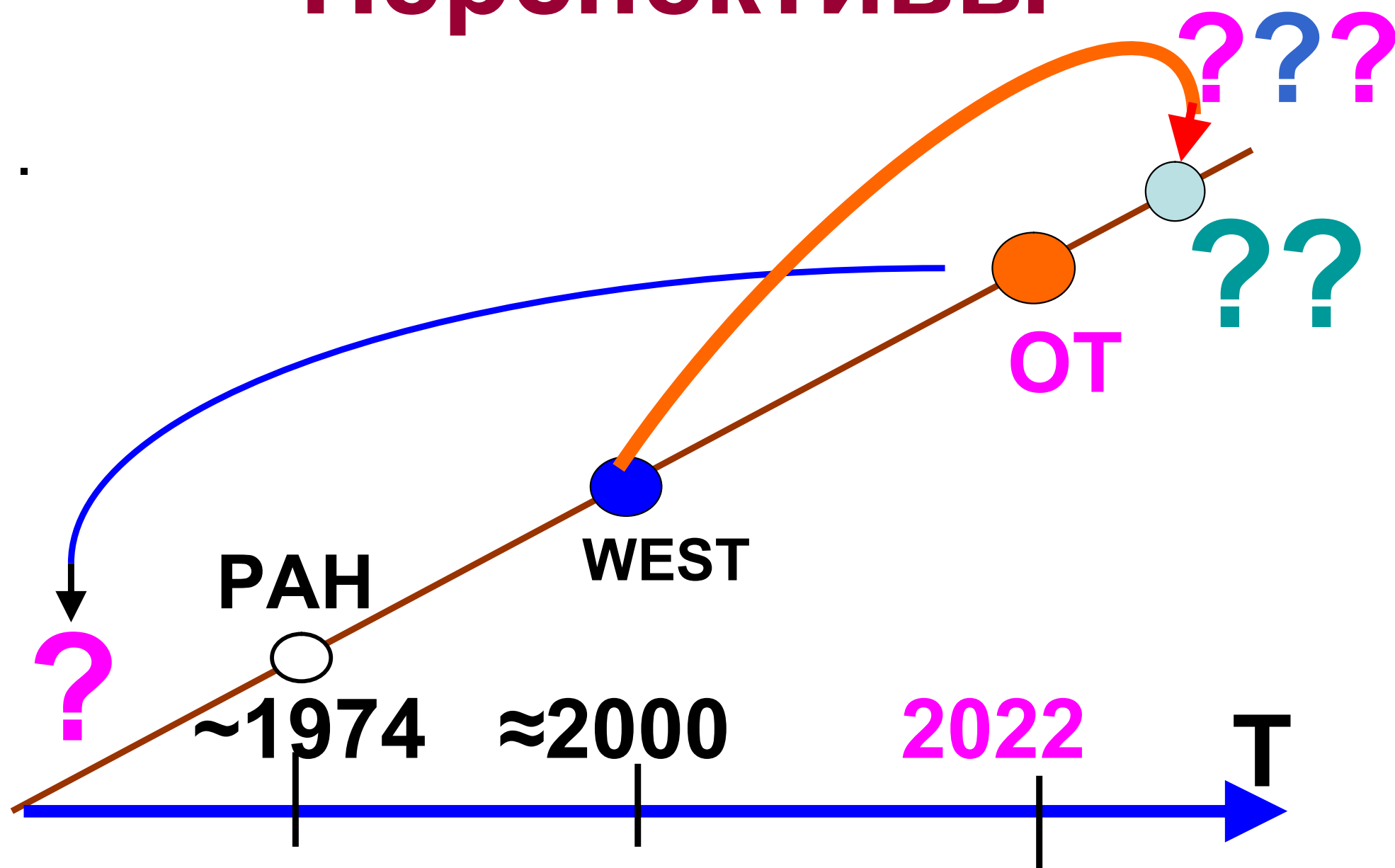
ИХ НИКОГДА НЕТ !

{**Портал РАН**}

Учебные программы по ОТ

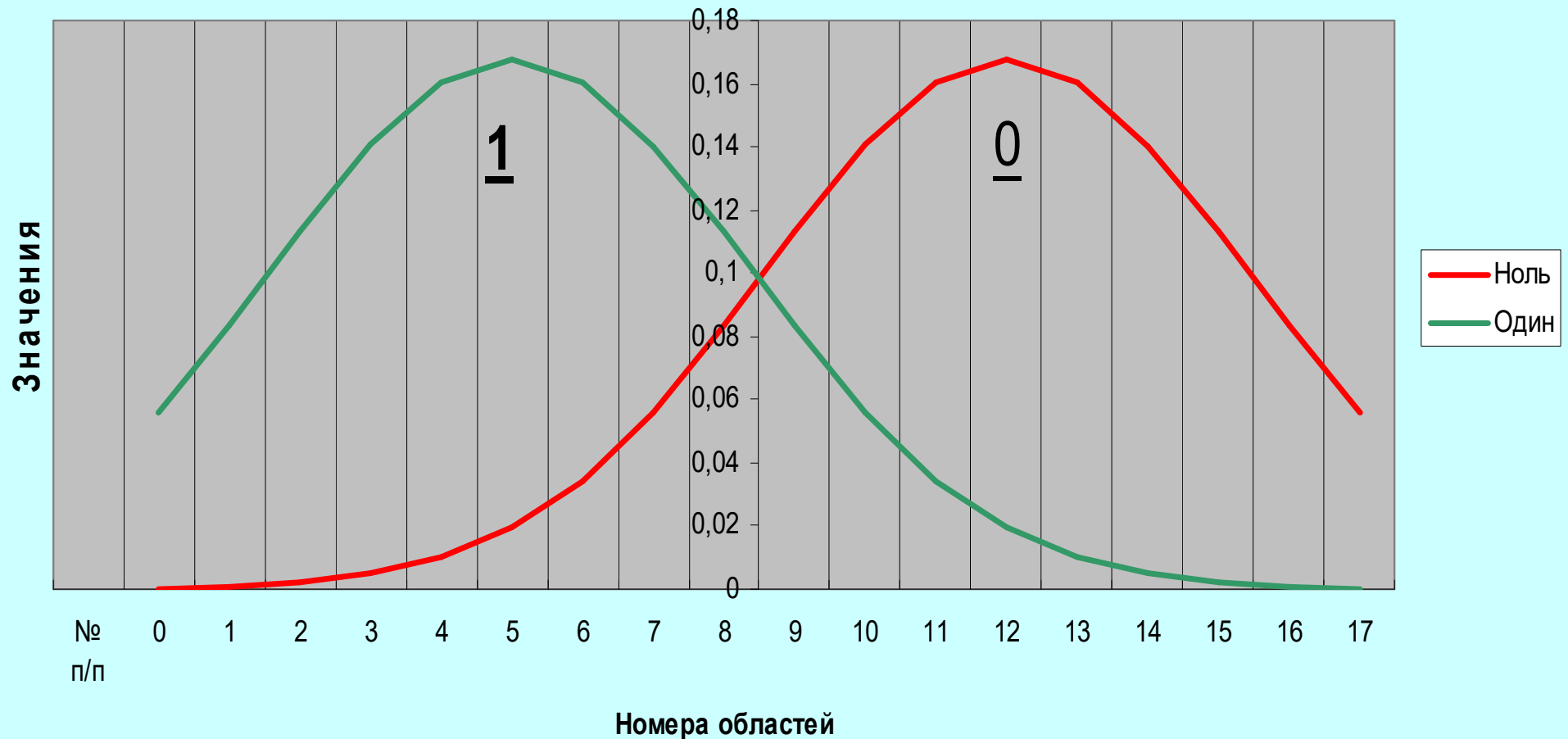
- Программа курса научно-методических лекций
- «Современные методы декодирования на основе Оптимизационной Теории (ОТ)»
- В.В. Золотарёв, **моб.: 8-916-518-86-26**,
www.coders-zolotarev.ru , www.mtdbest.ru .
- *Лекция 1.*
- Обзор проблематики помехоустойчивого кодирования
- *Лекция 2.*
- Технология декодирования как оптимизация ф-ла.
- *Лекция 3.*
- Методы каскадирования и недвоичные коды для МПД.
- *Лекция 4.*
- Методы разработки алгоритмов декодирования.
- **Выводы по циклу лекций**

Перспективы



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



Об ориентации в мире информатики



#17. «Эффект Даннинга-Крюгера»



ДАННИНГ

Дэвид

социальный психолог

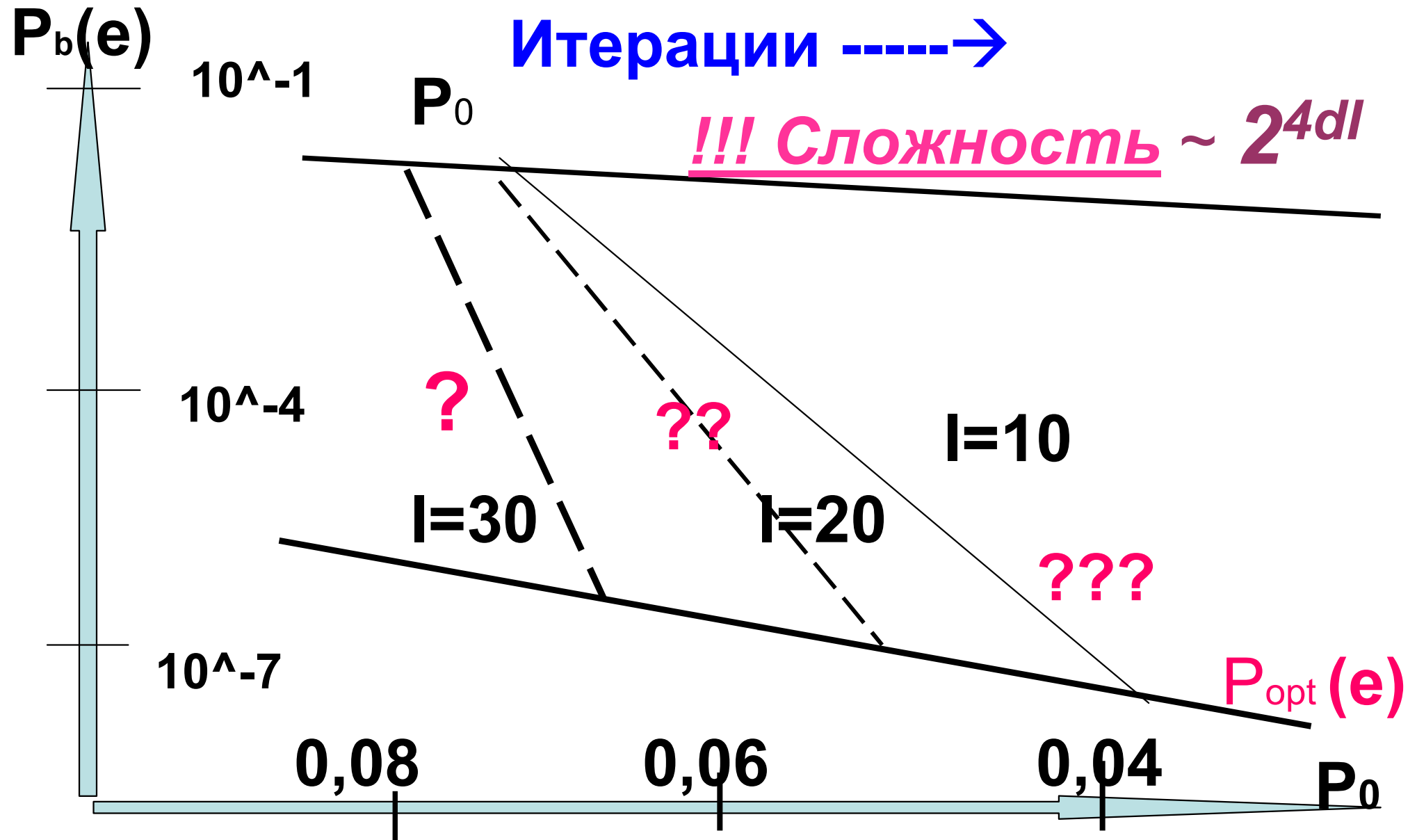


КРЮГЕР
Джастин

Когнитивное искажение которое заключается в том, что люди, имеющие низкий уровень квалификации, принимают неудачные решения и не осознают ошибки из-за завышенных представлений о своей компетенции. В то же время квалифицированные люди часто склонны занижать оценку своих способностей и страдать недостаточной уверенностью в своих силах.



Варианты стремления решений МПД к оптимальному



-работы российской научной школы преодолели долговременный кризис теории кодирования и на основе научно-идеологической революции, сменившей значительную часть основных парадигм прежней теории кодирования, создали условия для её развития на совершенно новых основах. Можно сказать, что в теории кодирования сформировалась своя особая **"квантовая механика"**. Она трудна, но плодотворна. **Других путей пока нет.**

- Член-корреспондент РАН Ю.Б. Зубарев
- Журнал «Наукоёмкие технологии» 2016 г.

www.mtdbest.ru

СПАСИБО !

www.decmtdzol.ru

www.decoders-zolotarev.ru

ИКИ РАН

т.(495)-333-24-12

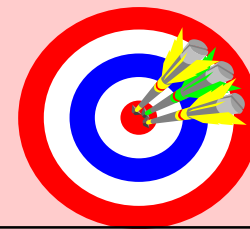
www.mtdbest.iki.rssi.ru

e-mail: zolotasd@yandex.ru

МОБ.: +7-916-518-86-28

29.03.2023 г.

ИКИ РАН



Функции надёжности блочных и свёрточных кодов [Forney]

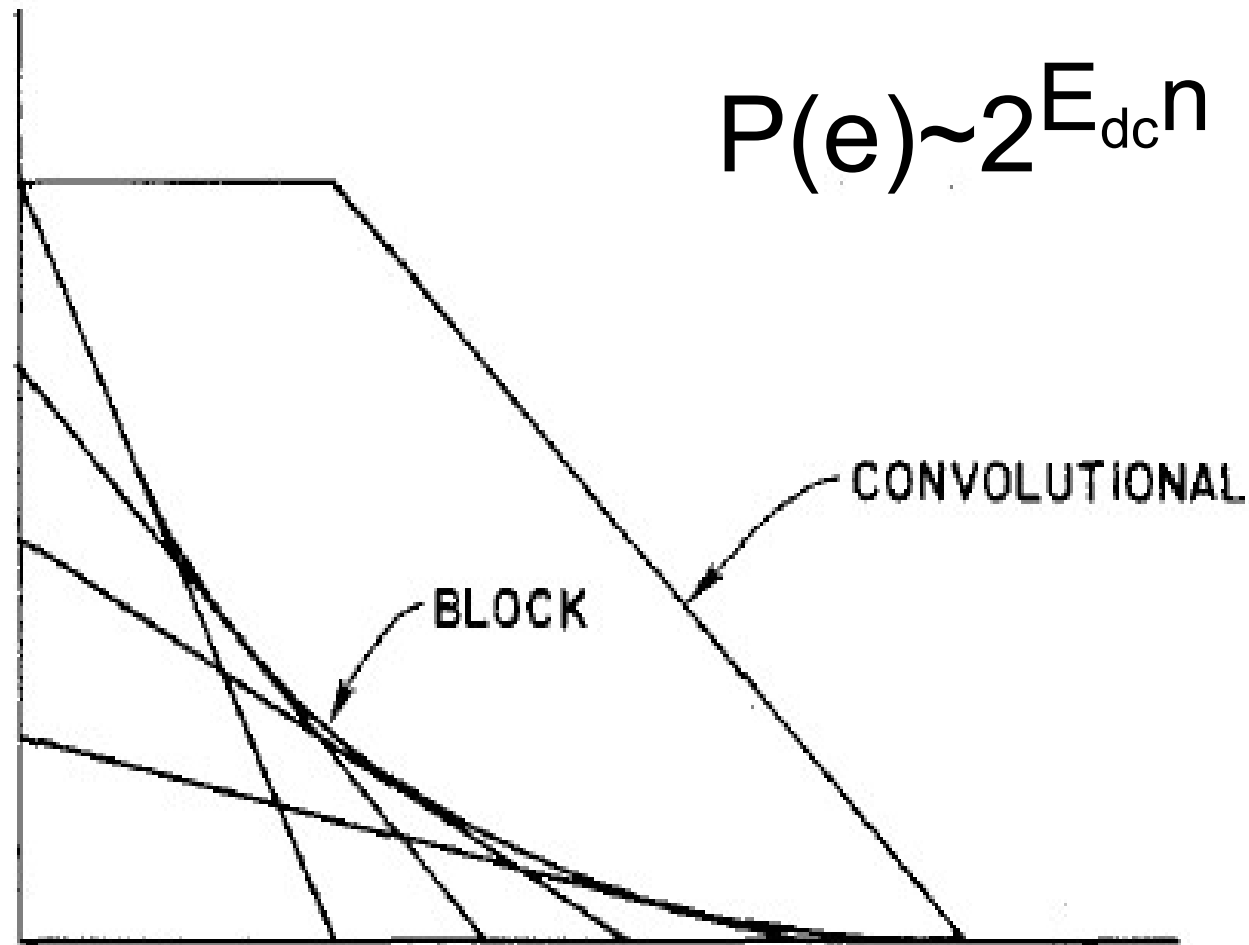


FIG. 11. List-of-2 decoding exponents for very noisy channel.

Наши порталы

Our adresses

- www.decoders-zolotarev.ru
Страницы/pages «Наши книги/Books»

- www.mtdbest.ru

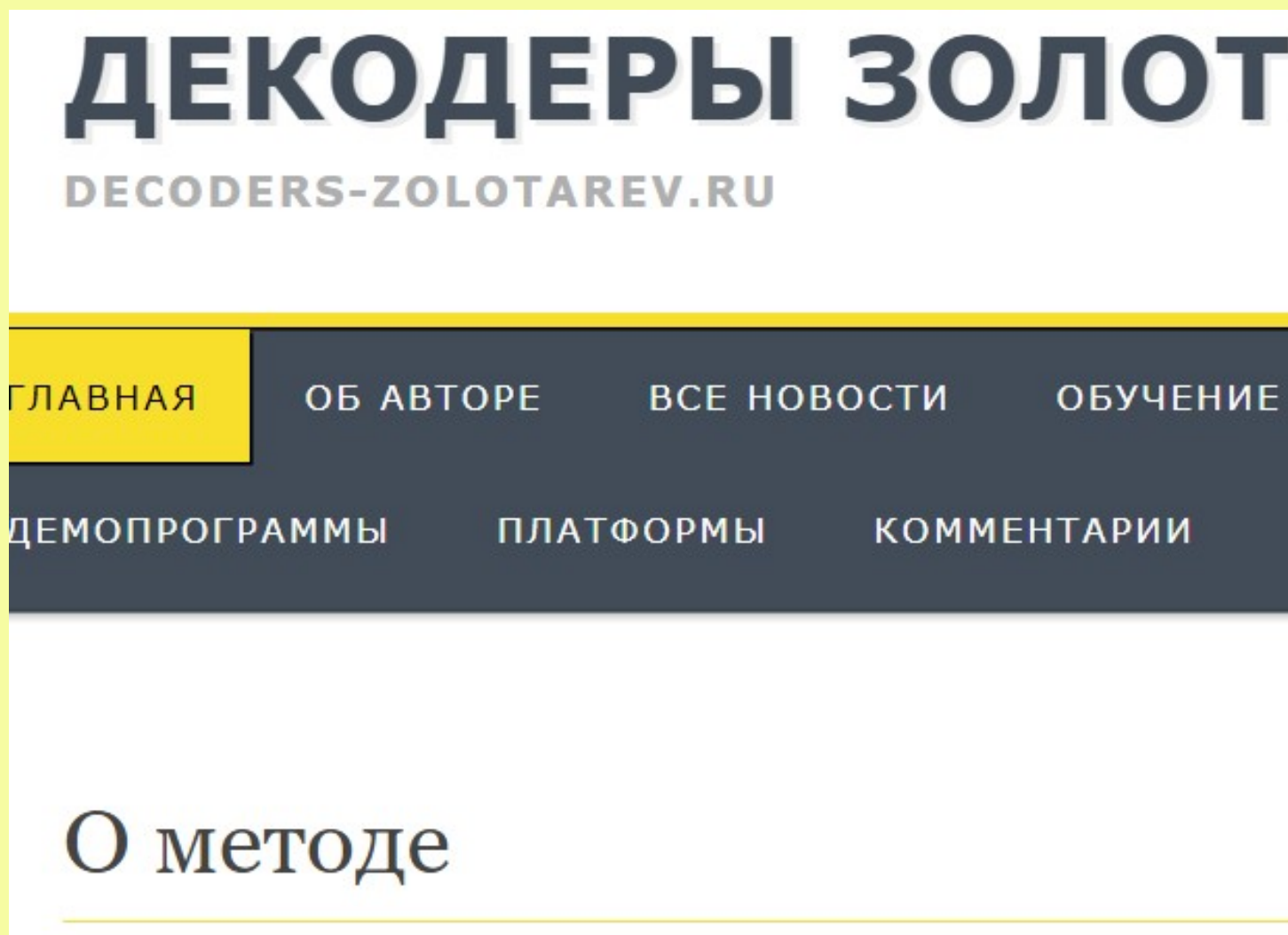
- страницы/pages «Наши книги/Books»

- www.decmtdzol.ru

- Теория завершена в 1985г.!

- Теперь – только технологии!

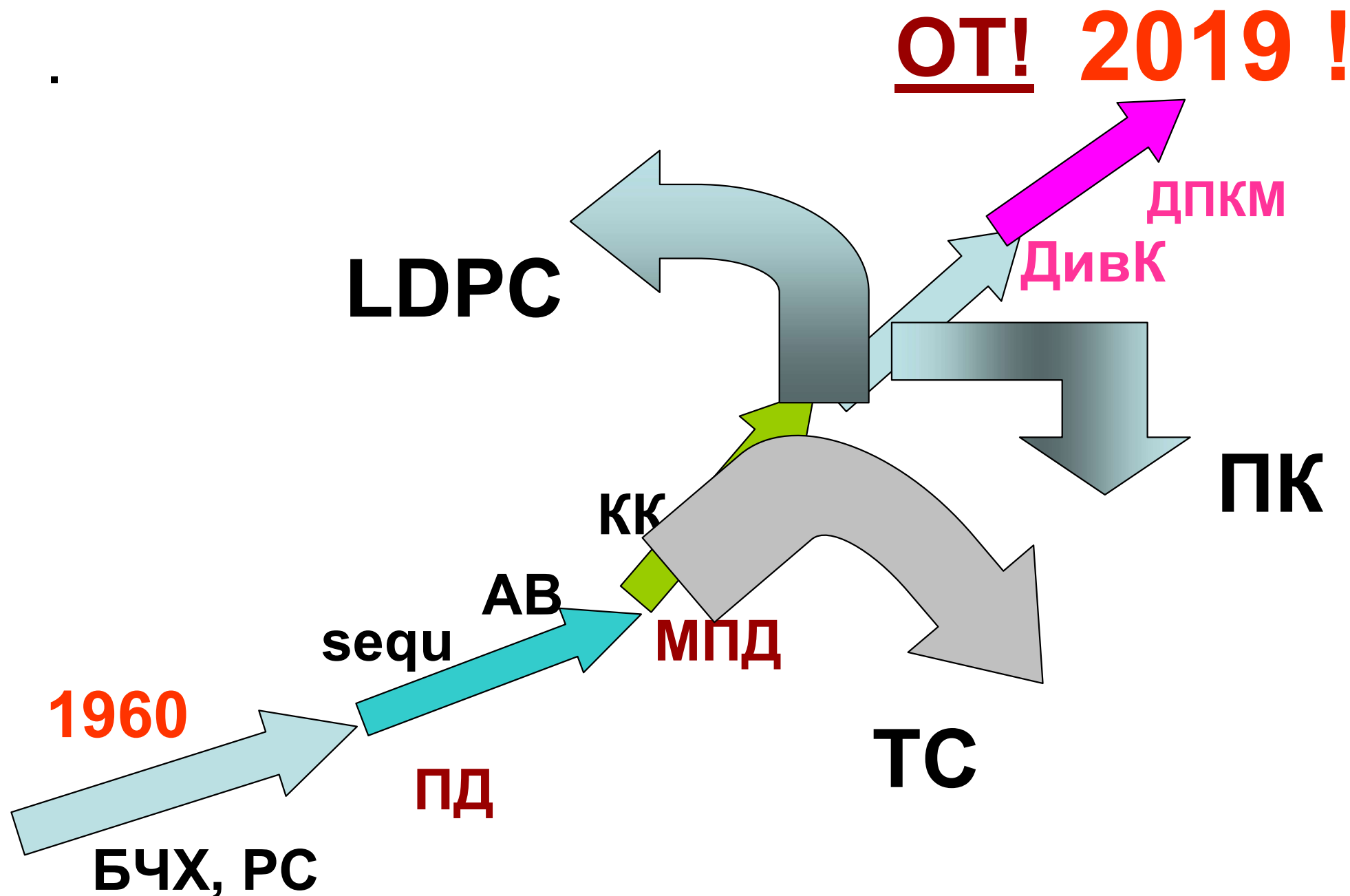
Наши порталы



Юбилейная книга МСЭ/ITU



Динамика развития теории кодирования



Общий результат - единственный

Вероятность ошибки порогового декодера
в первом символе кода **$P_1(e)$ (1963г.)**.

Так как проверка неправильна с вероятностью
 $p_J = 0,5[1 - (1 - 2p_0)^J]$.

Тогда через ПФВ вида

$$A(x) = (p_0 x + q_0)(p_J x + q_J)^J = \sum_{m=0}^d a_m x^m$$

получаем вероятность ошибки
в первом символе

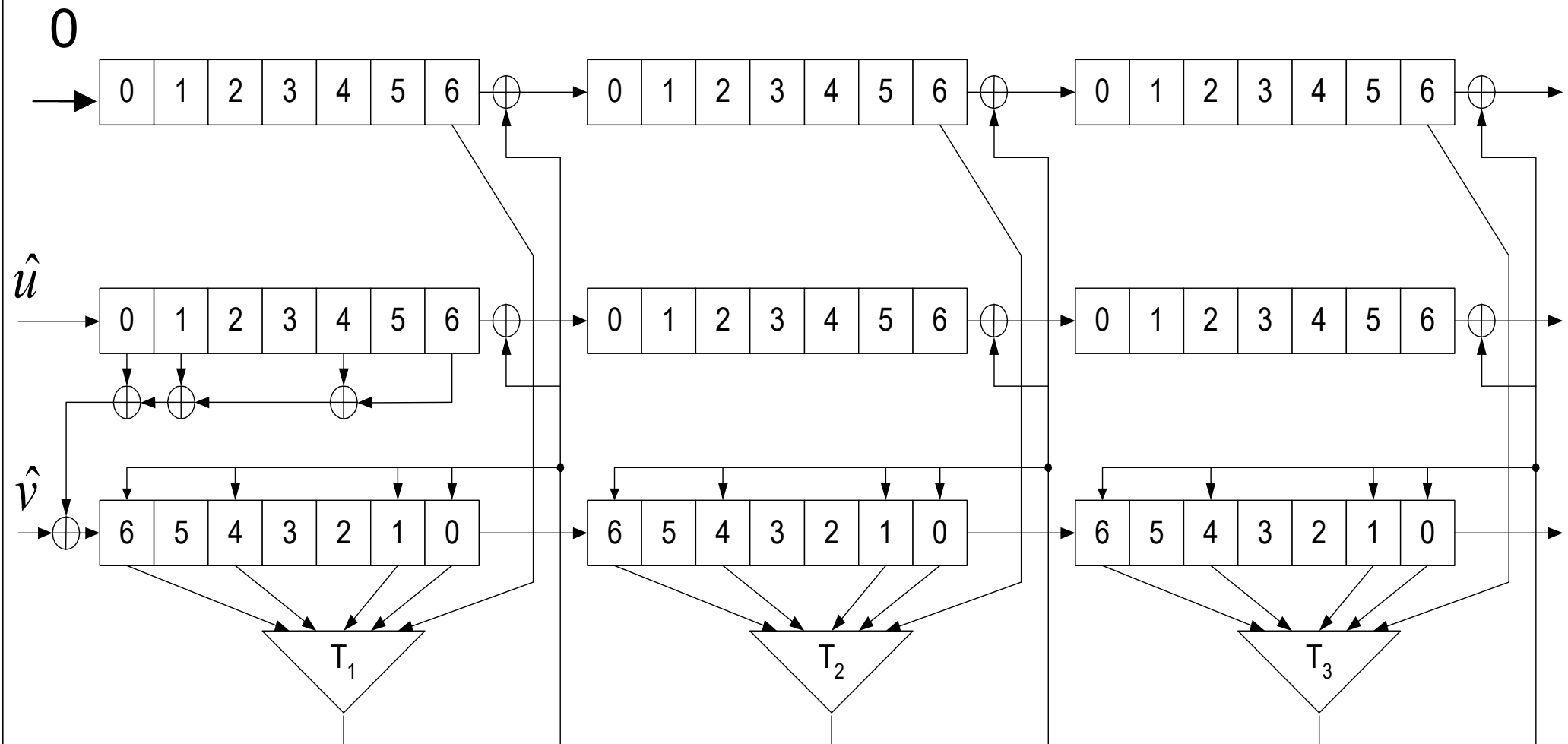
$$P_1(e) = \sum_{m = (d+1)/2}^d a_m$$

И ЭТО ВСЁ!

Какой исходный шаг создания ОТ?

- Постепенно искать всё более правдоподобные решения и запоминать только их последовательно по одному.
- Но даже после публикации полвека назад этой привлекательной идеи, уменьшающей сложность N таких декодеров до линейной, пропорциональной длине кодов n , т. е. сразу до минимально возможной, реализовала её лишь наша школа ОТ

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



→ **Основа оптимизационной теории**

1.. Сложность - Основная теорема многопорогового декодирования

- При каждом изменении декодируемых символов кода решения МПД строго приближаются к принятому сообщению, т.е. правдоподобие решений МПД строго возрастает. (А. С. 1972 г.)
- Следствие. МПД может при линейной от длины кода сложности декодирования достичь наиболее вероятного решения, которое ранее требовало экспоненциальной от длины кода сложности. Но достигнет ли?
- Как добиться? Убрать главную причину – пакетирование решений!

2.. Достоверность - создана теория размножения ошибок (РО)

Эта задача была оставлена, брошена
в мире теории кодирования 60 лет назад.

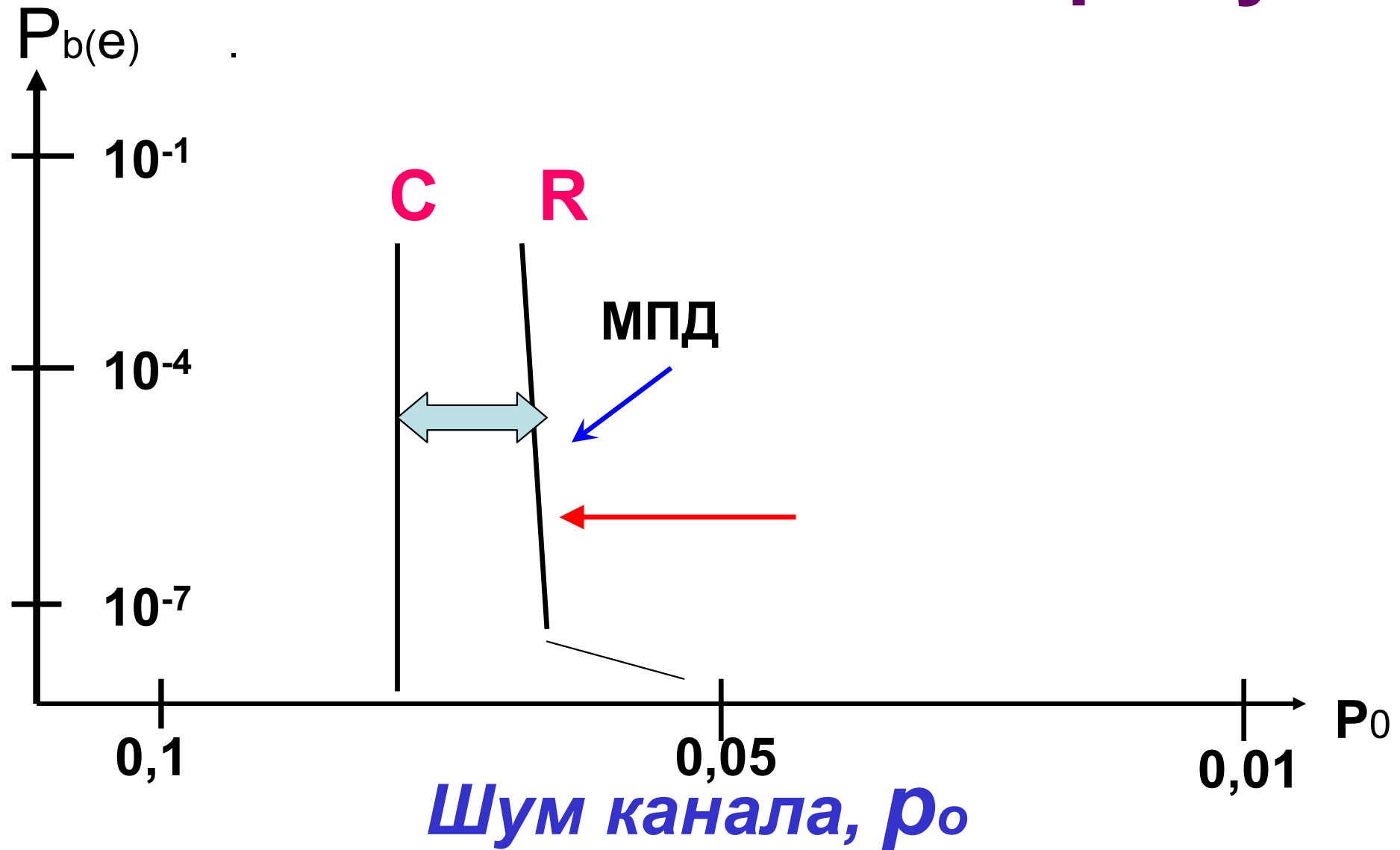
* * *

А мы нашли её решение, создали
полную теорию РО для разных класси-
ческих каналов и разработали методы
построения таких кодов, декодируемых
с теоретически **минимально возможной**
линейной по длине **n** сложностью,
НО, главное (!), оптимально, как и при
экспоненциально сложном
полном переборе.

3.. Помехоустойчивость – поиск глобальных экстремумов функционалов

- **НО!** – проблема: никакие задачи этого типа почти никогда не имеют решений, представленных в виде формул!
- Это – начало кризиса ТК 50 лет назад
- А мы давно поняли, что ТК – вовсе не математическая проблема.
- Мы 50 лет в ОТ развивали и теорию, и программное обеспечение (ПО) для задач поиска экстремумов ~20 типов!
- Теория ОТ - 1985г., комплекс ПО - 2001 г.

Стремление алгоритмов ОТ к границе Шеннона - методы поиска глобального экстремума



Что нужно от кодов для сетей связи?

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

**Коды создают эффект
увеличения энергии сигнала.**

**Это очень дорогой эффект -
в сотни миллионов долларов!**

Скопировано с портала РАН

09.09.2009 - «Независимая газета»

«Число, возведенное в абсолют»

Ю.Магаршак - профессор, исполнительный вице-президент Международного комитета интеллектуального сотрудничества

- ***Теория и эксперимент должны взаимно ускорять, контролировать и поддерживать друг друга***
У теоретиков кодирования они
в глубоком конфликте.

О тупиковом направлении движения классической теории кодирования

- «.....Теоретик, работающий в любой научной области, знает, что не все задачи можно решить аналитически

А для подавляющего большинства масштабных проблем
даже приближенные аналитические выражения найти не удаётся.

ИХ НИКОГДА НЕТ !

{**Портал РАН**}

-работы российской научной школы преодолели долговременный кризис теории кодирования и на основе научно-идеологической революции, сменившей значительную часть основных парадигм прежней теории кодирования, создали условия для её развития на совершенно новых основах. Можно сказать, что в теории кодирования сформировалась своя особая **"квантовая механика"**. Она трудна, но плодотворна. **Других путей пока нет.**

- Член-корреспондент РАН Ю.Б. Зубарев
- Журнал «Наукоёмкие технологии» 2016 г.