

**О выборе
технологий
кодирования
в спутниковых сетях
связи для ДЗЗ**



Золотарёв В.В., ИКИ РАН,

11-15.11.24

22 конференция

«Современные проблемы ДЗЗ»

– 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.

– 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!

Уточним:

кодирование снижает
размеры антенн и требуемую
мощность передатчика,

а также

увеличивает

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

Computer modem - sample



Первый патент по оптимизации, ~1974г

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)

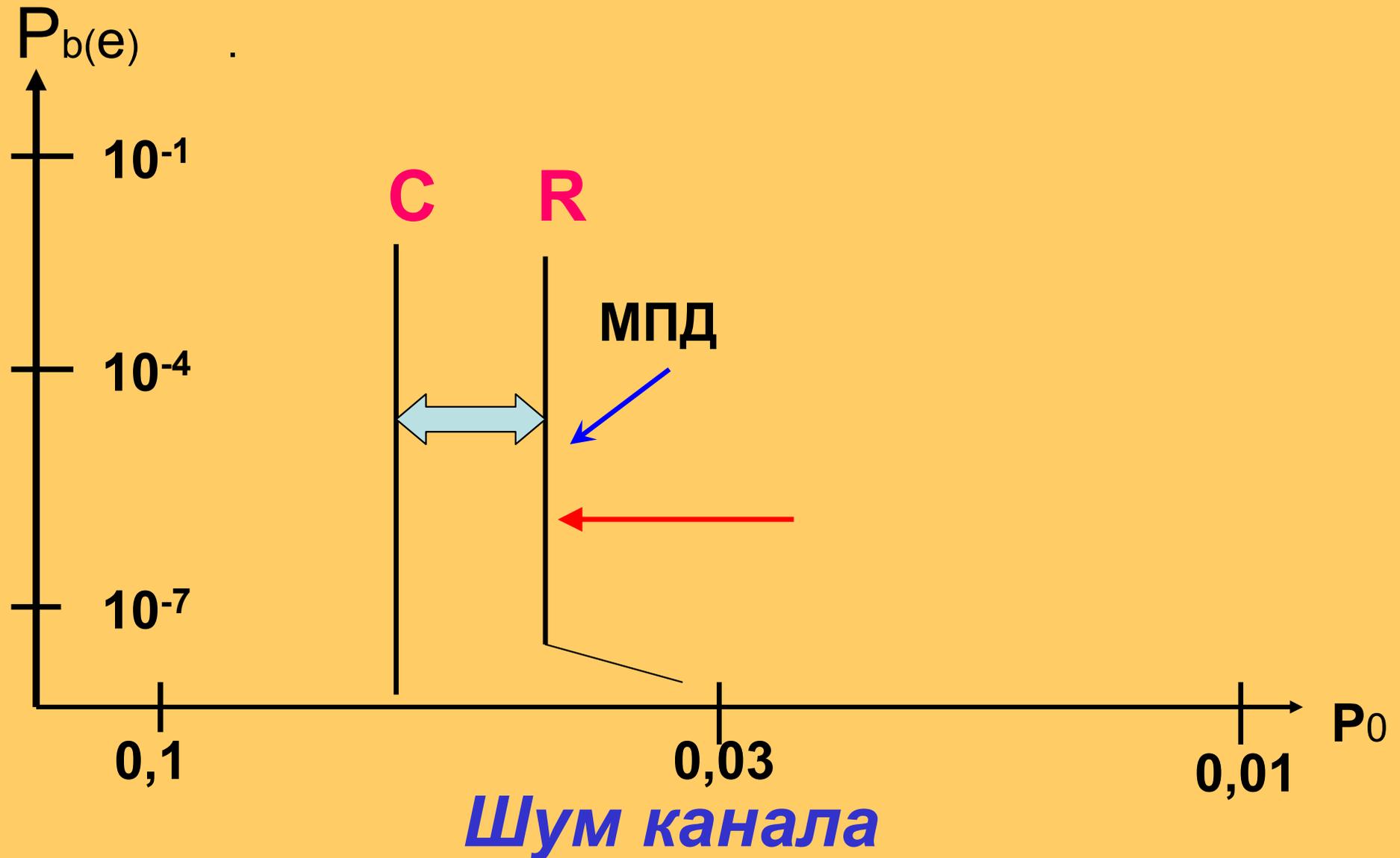
(72) Автор
изобретения

В. В. Золотарев

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

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЕКОДИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ СВЕРТОЧНЫХ
КОДОВ

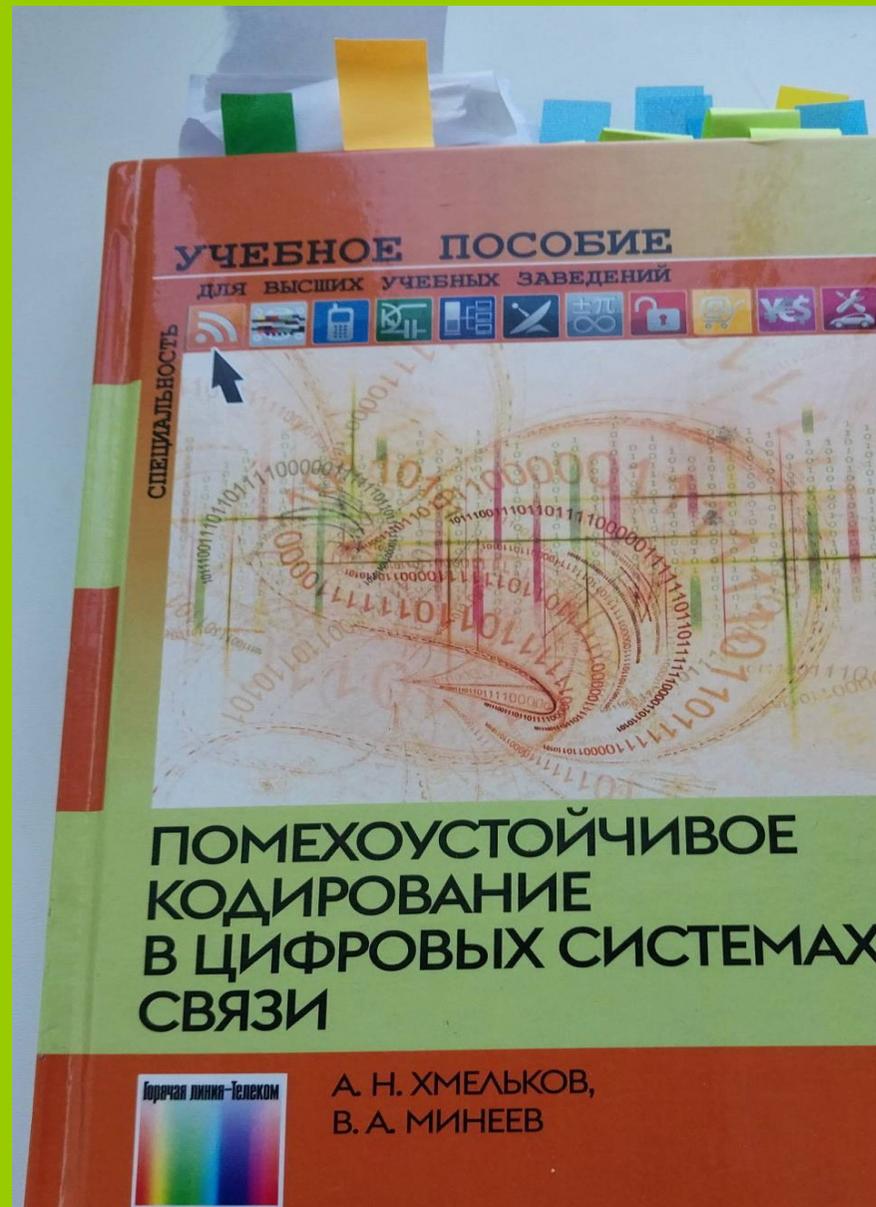
О стремлении к границе Шеннона



Редкое издание – пособие по кодированию в цифровых системах

Хмельков А.Н.

Минеев В.А.



Горячая
Линия –
Телеком,
2023г.

Фрагмент описания LDPC декодера

Одна итерация алгоритма ИВР включает:

- вычисление надежности символов в форме LLR и вание сообщений к проверочным узлам:

$$q_{i,j} = \text{LLR}_i + \sum_{k \in C_i, k \neq j} r_{k,i}$$

- вычисление проверок и формирование сообщений узлам:

$$r_{j,i} = 2 \tanh^{-1} \left(\prod_{k \in R_j, k \neq i} \tanh \frac{q_{k,j}}{2} \right).$$

- формирование выходного вектора, т. е. определе го» решения по надёжностям для каждого бита,

$$b_i = \text{sign} \left(\text{LLR}_i + \sum_{k \in C_i} r_{k,i} \right).$$

Помехоустойчивое кодирование в цифровых системах связи

А.Н. Хмельков, В.А. Минеев

Учебное пособие, 2023г.

Цитата:

Преимущества МПД:

- простота реализации (сложность $\sim n$);
- высокое качество декодирования.

13.2. Коды с малой плотностью проверок на четность

Основные преимущества ОТ

Лучшие характеристики по критерию ПДС - **полностью решена великая проблема Шеннона - 1984г. !**

Разница со всеми прочими методами:
на 2 и более порядков быстрее прочих;

Только алгоритмы ОТ являются оптимальными декодерами (ОД);

Очень **простая настройка** элементов декодеров

Удобная реализация **быстрых версий** алгоритмов ОТ

Всё запатентовано!

Наши сетевые порталы

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

- 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** -----

И в настоящее время в теории кодирования - две труднейшие проблемы

- 1-я проблема –затянувшийся на много десятилетий застой в ТК стал чётким доказательством того, что ТК – вовсе не математическая задача. - ПОЧЕМУ? –
- В комплексном критерии ПДС \equiv «Помехоустойчивость-Достоверность-Сложность» для ТК эти параметры декодеров нельзя найти аналитически! Видимо, это так – навсегда! Но теоретики этого не приняли. А моделировать они не могут! –«Ещё чего!?!»
- 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: это - сложность, эффективность, элементная база, надёжность. **Коды - ключ ТК.**
- Б) Лишь после этого можно рассматривать **работу декодера в модеме** с уже выбранной системой сигналов, **которая не должна быть экзотической.**
- В) **И только потом (!!!!!)** проектировать **ВСЮ систему связи (СС) с кодированием!**
- Прикладной ТК совсем ВУЗах нет! **Её не знает никто!?**
- **Быстродействие МПД на 2 и более порядков выше!**

Оптимизационная теория

Критерии выбора алгоритмов

–Помехоустойчивость

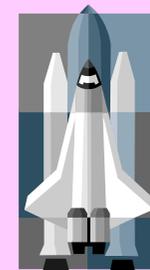
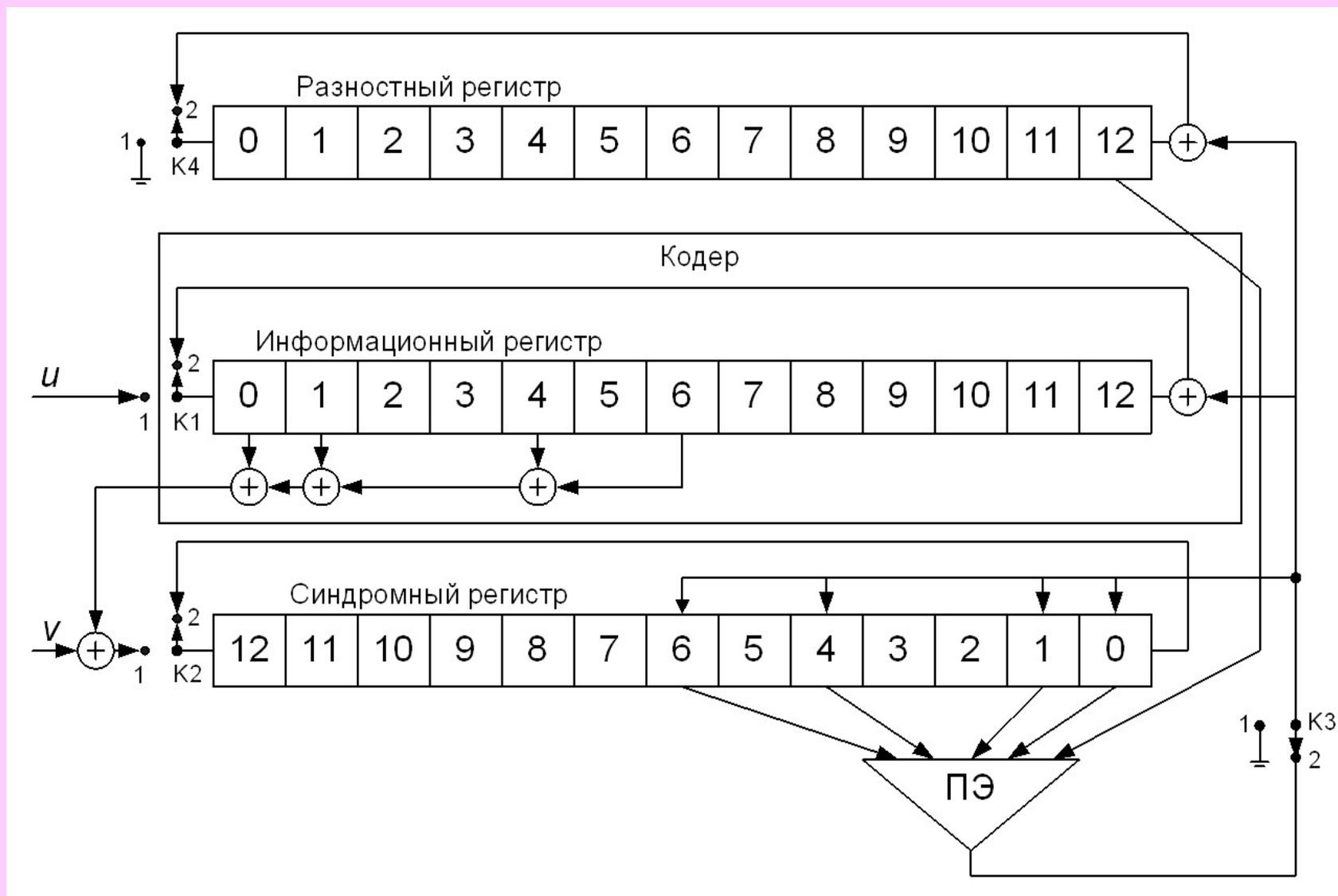
Достоверность –

Сложность

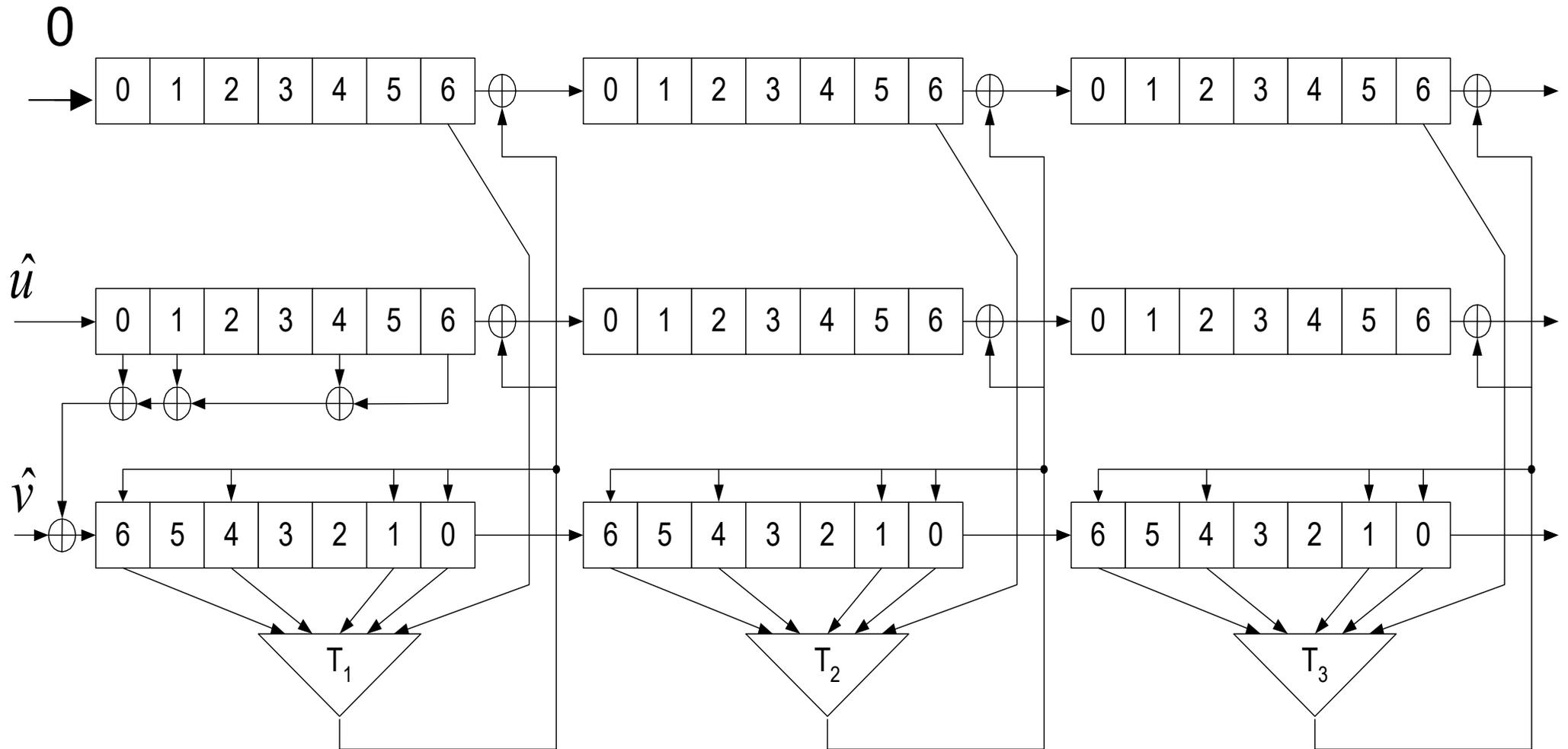
- Никакие декодеры никогда не имеют формул для этих параметров вблизи границы Шеннона
- *Но этого никто не захотел признать*
- **Однако это значит, что создание алгоритмов декодирования – совсем не математическая задача**
- **Но – какая? → Эксперимент → моделирование?**

Лозунг «Программирование - вторая грамотность» - забыт!

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

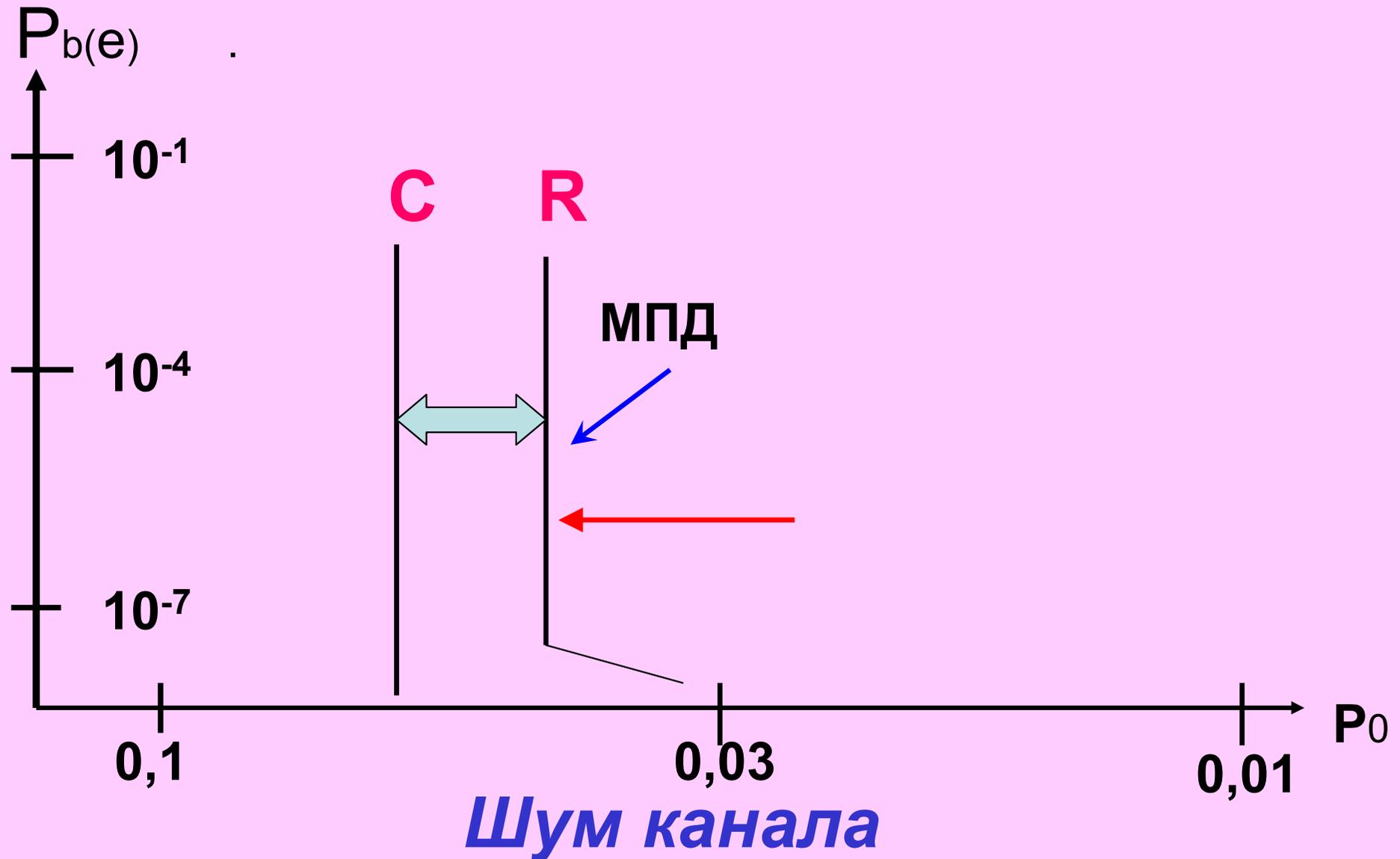


Свёрточный многопороговый декодер для кода с $R=1/2$, $d=5$ и 3 итерациями



→ **Основа оптимизационной теории**

О стремлении к границе Шеннона



Оптимизационная Теория

- ОТМПД – основа теории !
- Все этапы:
 - настройка алгоритма, выбор кодов и сами алгоритмы МПД – вся ОТ - это комплекс задач поиска глобального экстремума функционалов.
- Границы там всегда известны. Но конкретные результаты для декодеров никогда и никто не вычислит!
- Все характеристики – только в эксперименте.
- Но зато – почти «МГНОВЕННО»!
- Это - причина самоликвидации прежней прикладной «математизированной» ТК

Многопороговый 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

Для первого ознакомления с ОТ

- **Соавторы:**

Н.А. Кузнецов,
академик РАН

И

Член-
корреспондент

РАН

Ю.Б. Зубарев

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

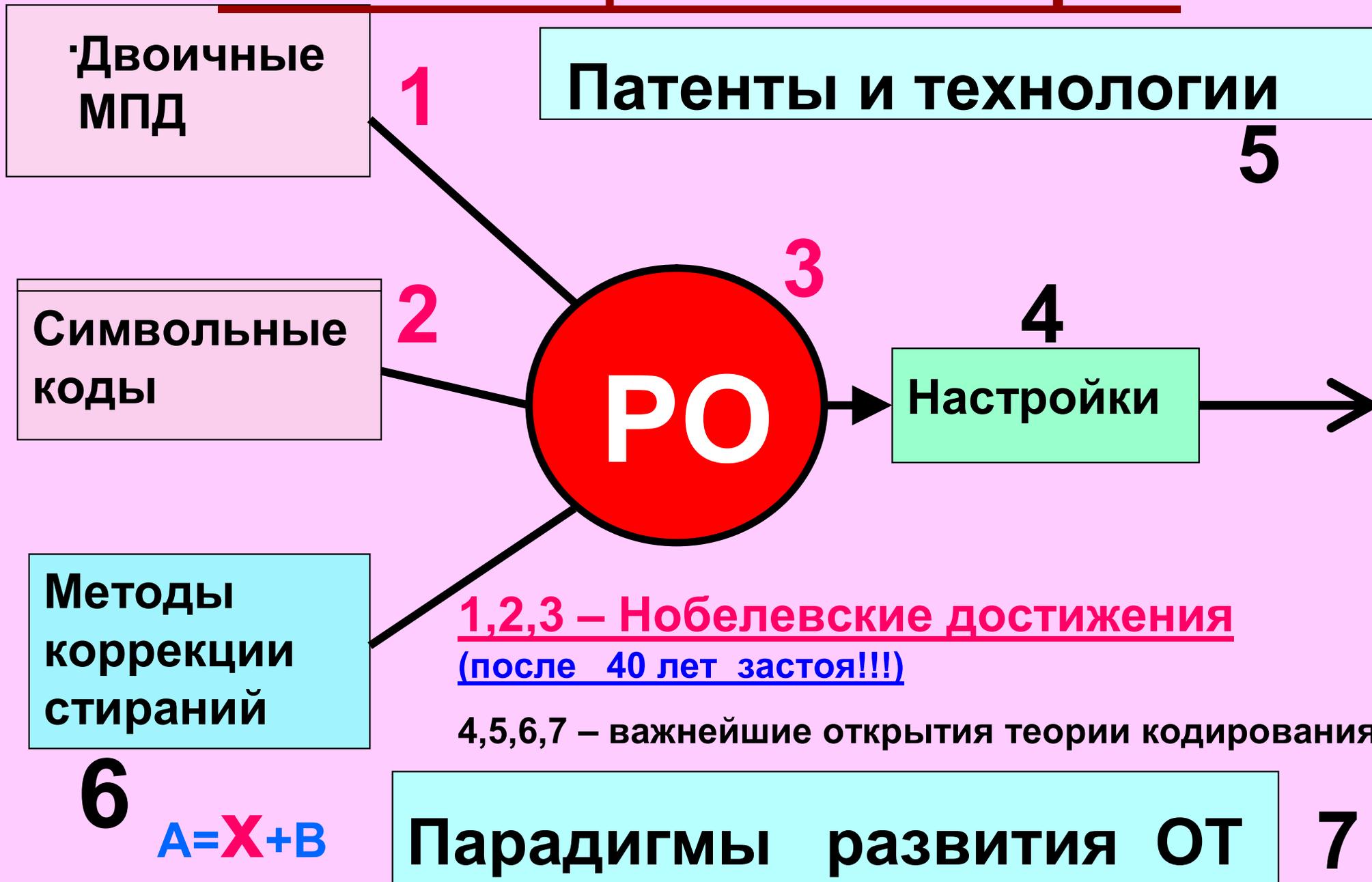


**Проблемы и открытия
Оптимизационной Теории
помехоустойчивого кодирования
(ОТ в иллюстрациях)**



Москва
ИКИ РАН
2020 г.

Открытия школы Оптимизационной Теории



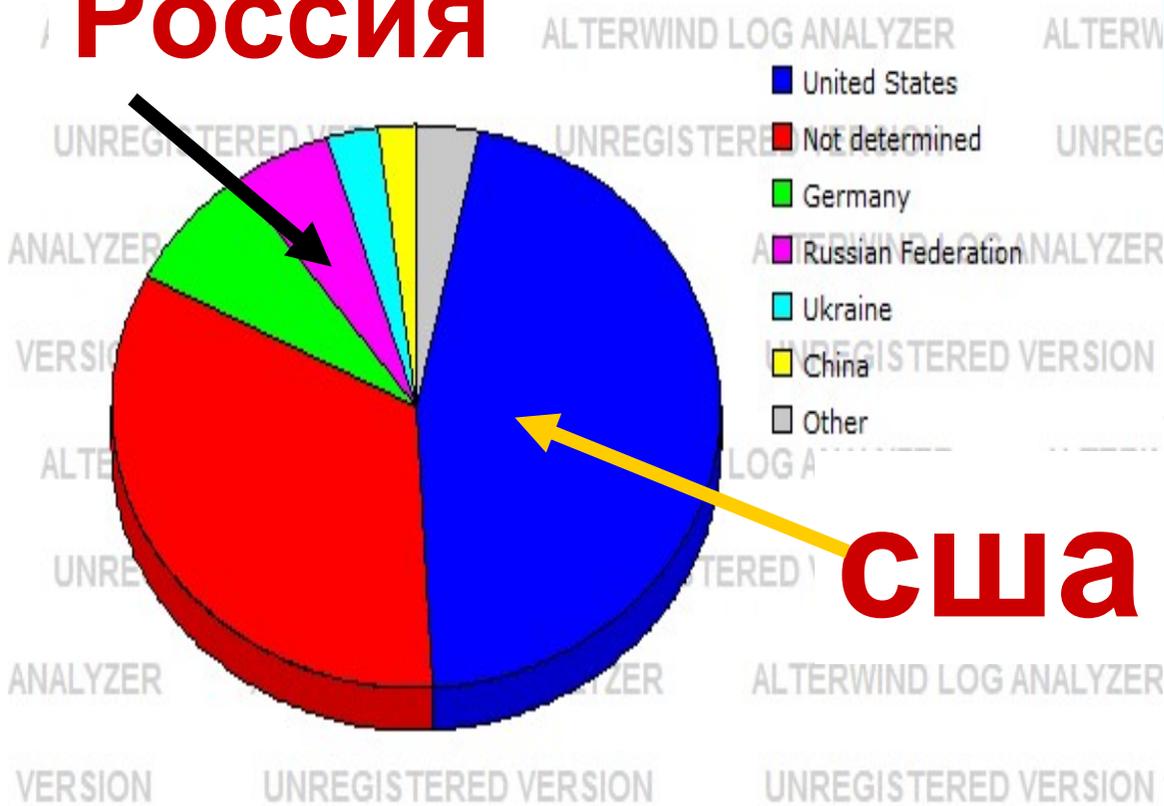
Наши порталы по ОТ и МПД

www.decoderz-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



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 |

Монография 2021 г.



Справочник по кодированию-2022



Золотарёв Валерий Владимирович – выпускник МФТИ, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института комплексных 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 (МСУ/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. Сверточные и блочные модификации алгоритма Витерби (АВ) и многопороговые декодеры (МГД), отличающиеся для известных инженерам и специалистам абсолютно понятным способом коррекции ошибок, описаны как кодовые системы, проектируемые с использованием тонких методов настройки их параметров для задач поиска глобальных экстремумов функционалов.

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

КОДИРОВАНИЕ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ И СИСТЕМ ПАМЯТИ

В. В. Золотарёв

КОДИРОВАНИЕ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ И СИСТЕМ ПАМЯТИ

СПРАВОЧНИК

ISBN 978-5-9912-0976-2



сайт издательства:

www.techbook.ru



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
- 4 сетевых портала;
www.decoders-zolotarev.ru, www.mtdbest.ru,
www.decmtdzol.ru, www.mtdbest.iki.rssi.ru- [архив](#)
с 1500 блоков данных. + 3 вида учебных программ
Два единственных в России справочника
по кодированию с технологиями решения
проблемы Шеннона для всех типов каналов

У ВХОДА В СТЕЛЛЕНБОССКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

(ЮАР!) ВИСИТ СЛЕДУЮЩЕЕ СООБЩЕНИЕ:

«Уничтожение любой нации не требует атомных бомб или использования ракет дальнего радиуса действия. Требуется только снижение качества образования и разрешение обмана на экзаменах учащимися.

Пациенты умирают от рук таких врачей.

Здания разрушаются от рук таких инженеров.

Деньги теряются от рук таких экономистов и

бухгалтеров. Справедливость утрачивается в руках таких юристов и судей.

Крах образования — это крах нации».



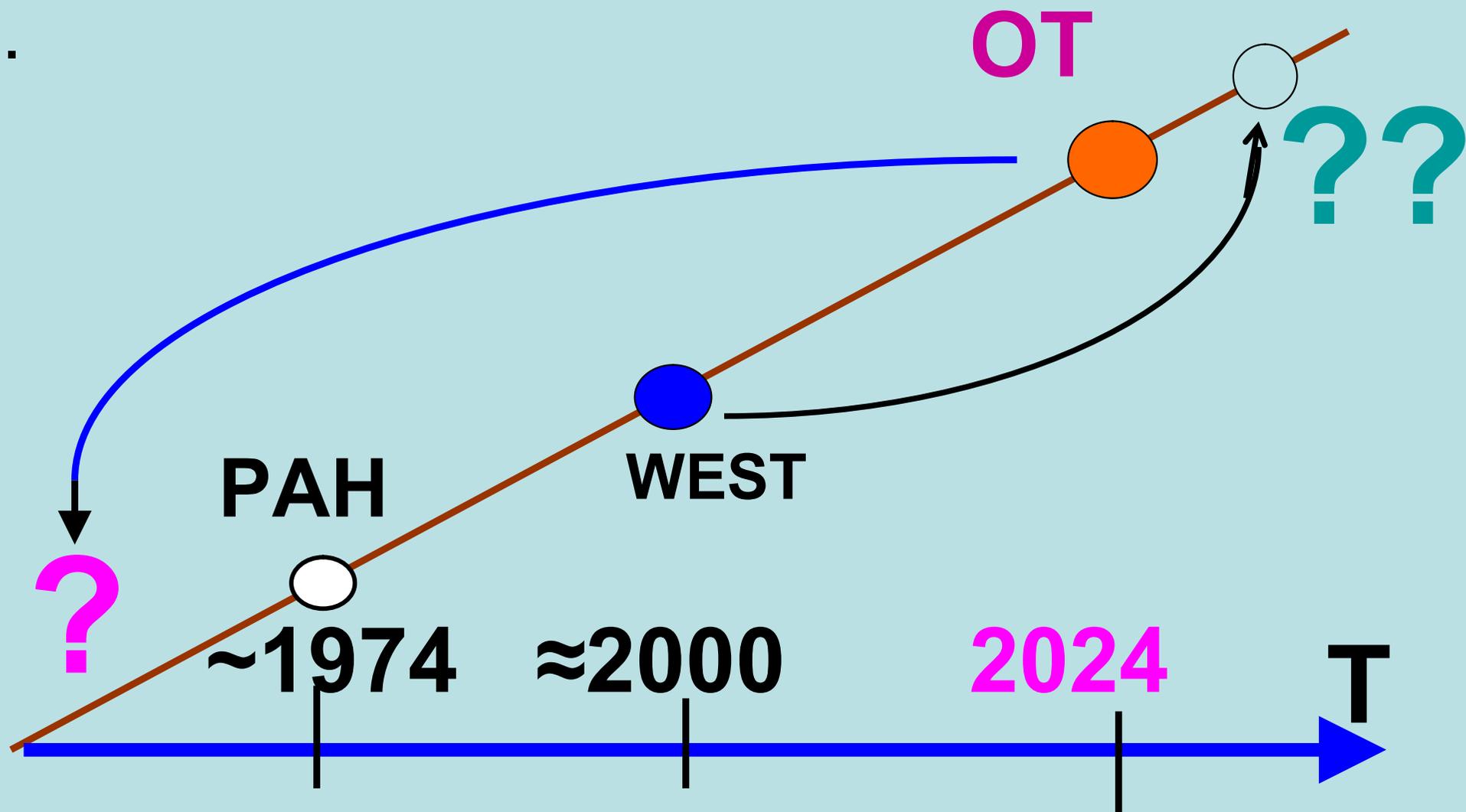
Общий итог!

- 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

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.

Перспективы



www.mtdbest.ru

СПАСИБО !

www.decmtdzol.ru

www.decoders-zolotarev.ru

ИКИ РАН

www.mtdbest.iki.rssi.ru

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

МОБ.: +7-916-518-86-28

12.11.2024 г.

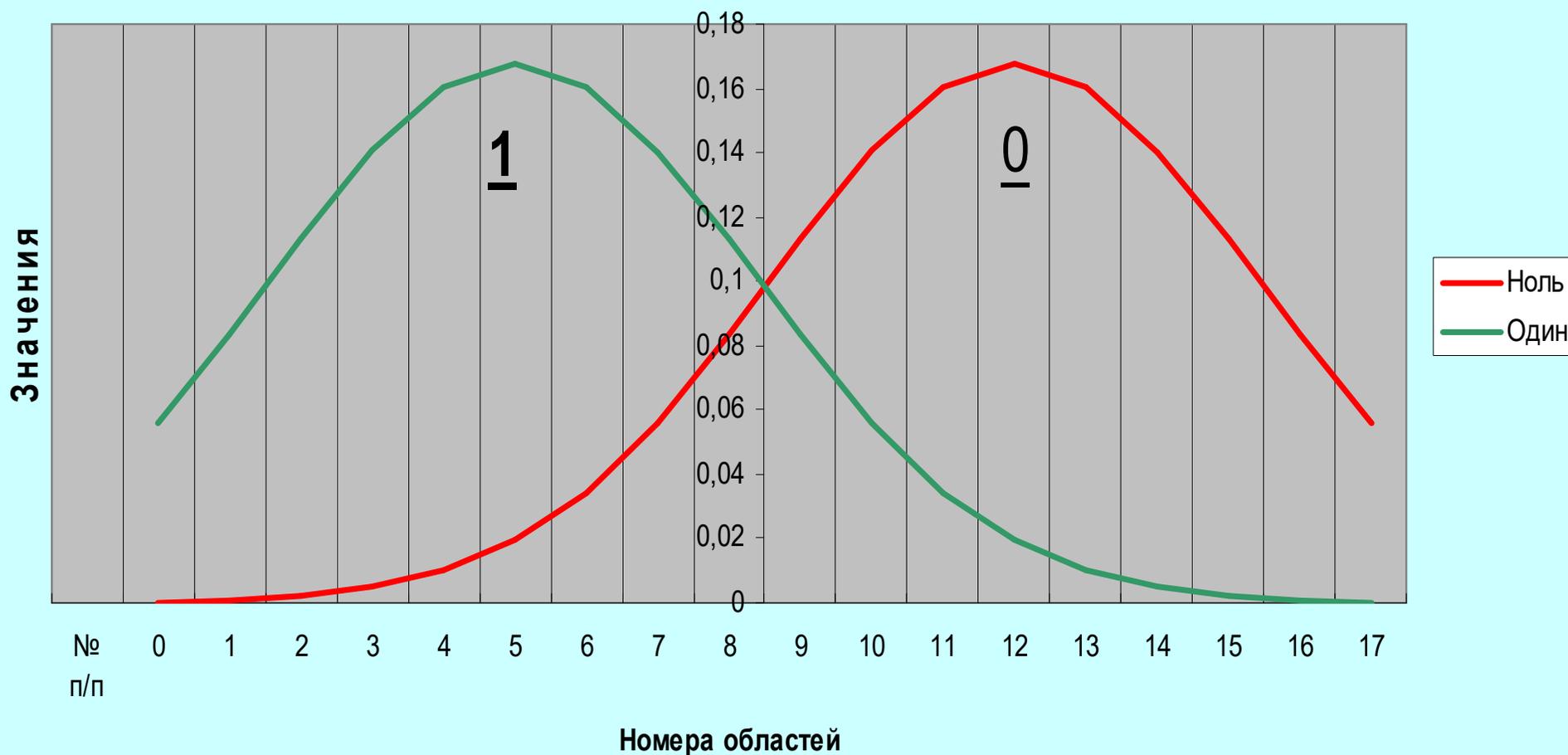
ИКИ РАН



Организация работы мягкого модема в АБГШ канале

модема в АБГШ канале

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



Значит, цель кодирования - ЭВК

$$G=R*d$$

• - Не привязывается к длине кода n !

– И при этом надо работать:

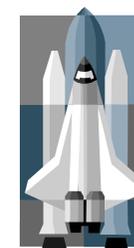
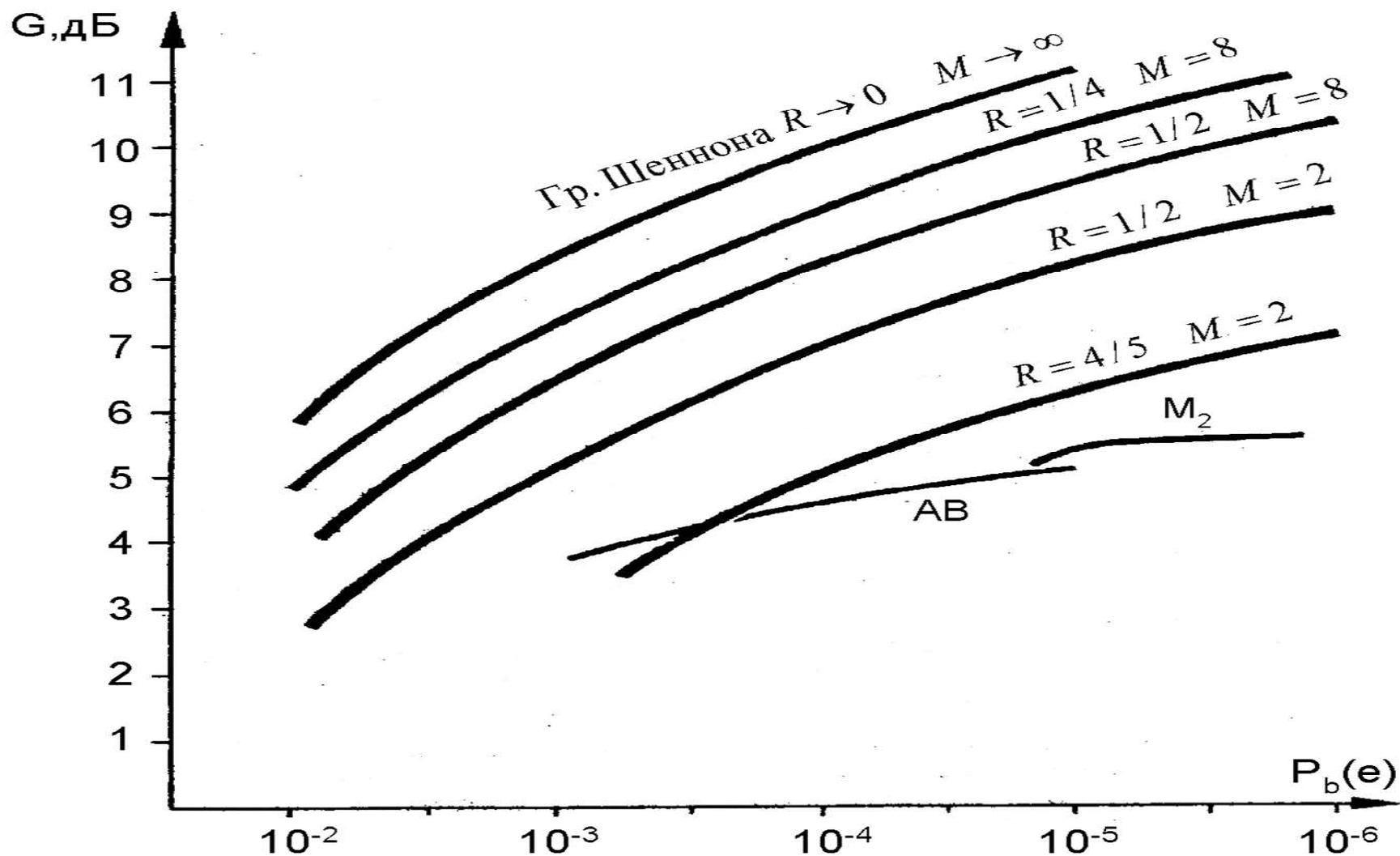
При меньшей энергетике канала E_b/N_0

– Максимально быстро – аппаратно

– Минимально просто - программно

– Почти абсолютно достоверно!

Возможные уровни энергетического выигрыша кодирования - ЭВК !



Наши сетевые порталы

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

**О выборе
технологий кодирования
в спутниковых сетях связи
для ДЗЗ**

Золотарёв В.В., ИКИ РАН,

11-15.11.24

22 конференция

«Современные проблемы ДЗЗ»