

**Применение
современных технологий
проектирования
для перспективных СЭС**

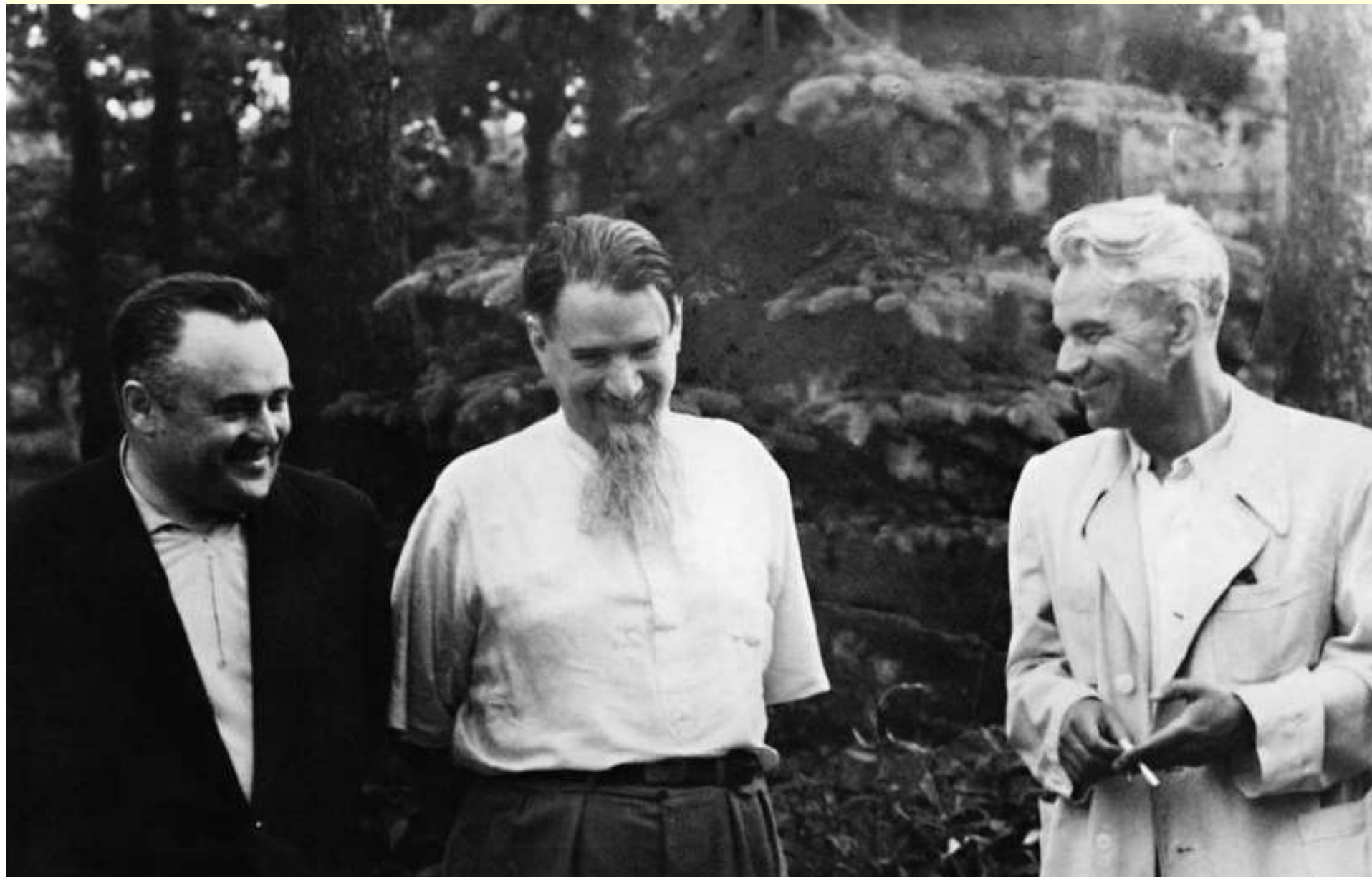
Золотарёв В.В., ИКИ РАН,

13-17.11.23

21 конференция

«Современные проблемы ДЭЭ»

Наши Гении – три К

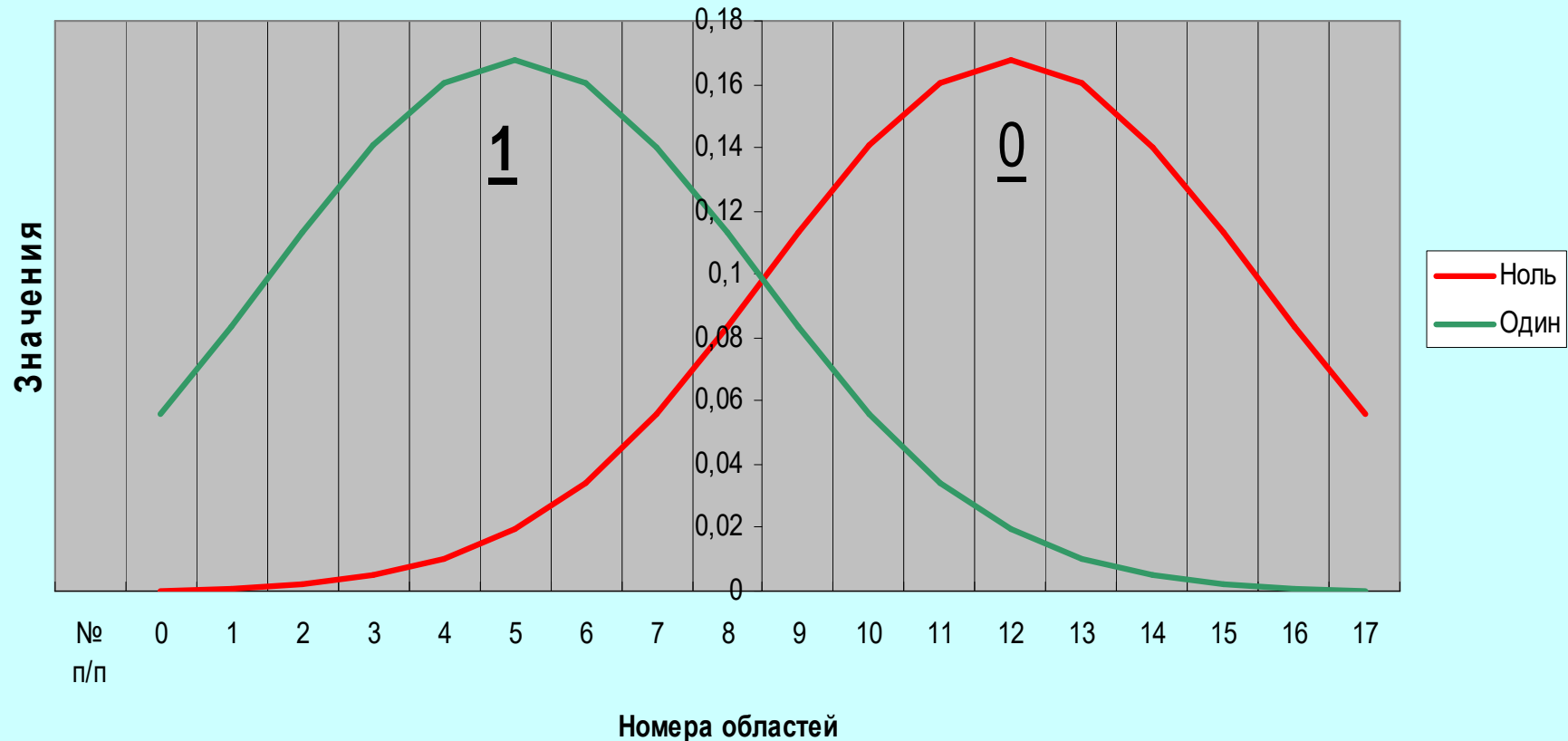


– О чём речь?

- 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!**

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



Computer modem



- 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** -----

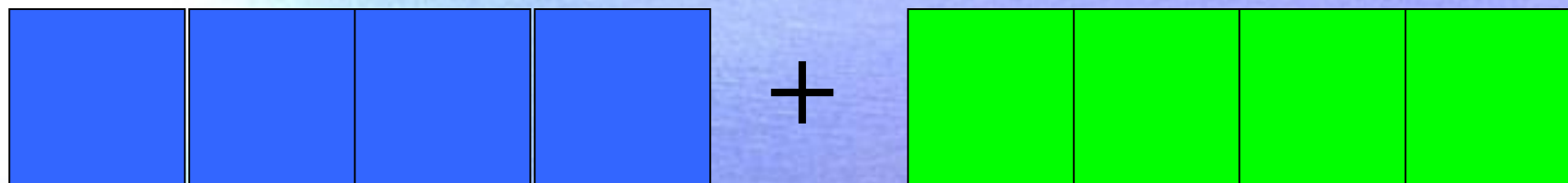
Наши сетевые порталы

- 1 - www.mtdbest.ru
- 2 - www.decmtdzol.ru
- 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

$$**R < C !**$$

- - 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!

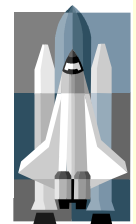
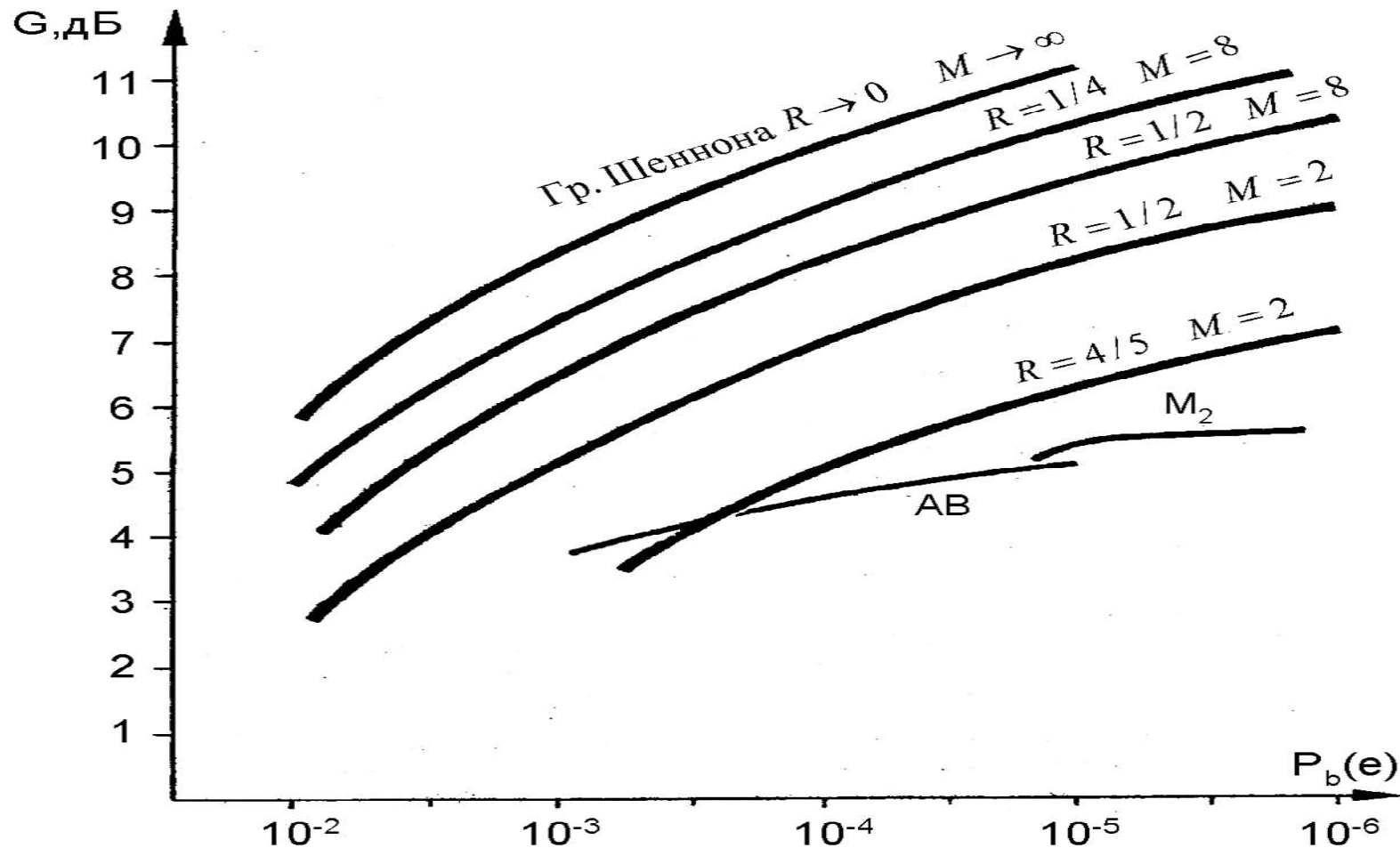
- **Кодирование снижает размеры антенн, увеличивает скорость, надёжность и дальность связи**

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, ещё раз
уточним, кодирование
снижает размеры антенн
и мощность передатчика,
а также увеличивает
скорость, дальность
и достоверность передачи
данных для многих типов
каналов связи

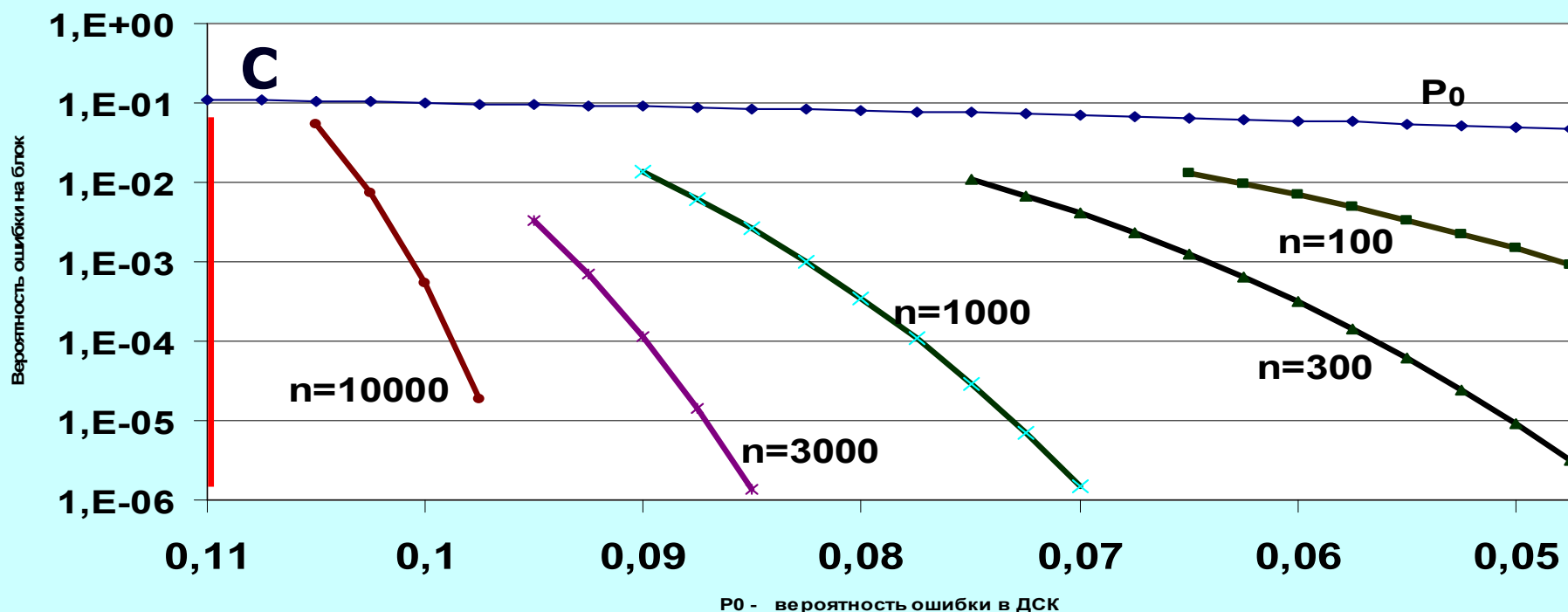
- Но как должны реализоваться декодеры?
- Они по возможности должны быть оптимальными! - Как это? -
- Решение – сообщение, ближайшее к принятому из канала вектору.
- - Зачем? - Тогда это наиболее правдоподобный результат.
- Но тут проблема: у АВ число хранимых решений растёт экспоненциально!

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

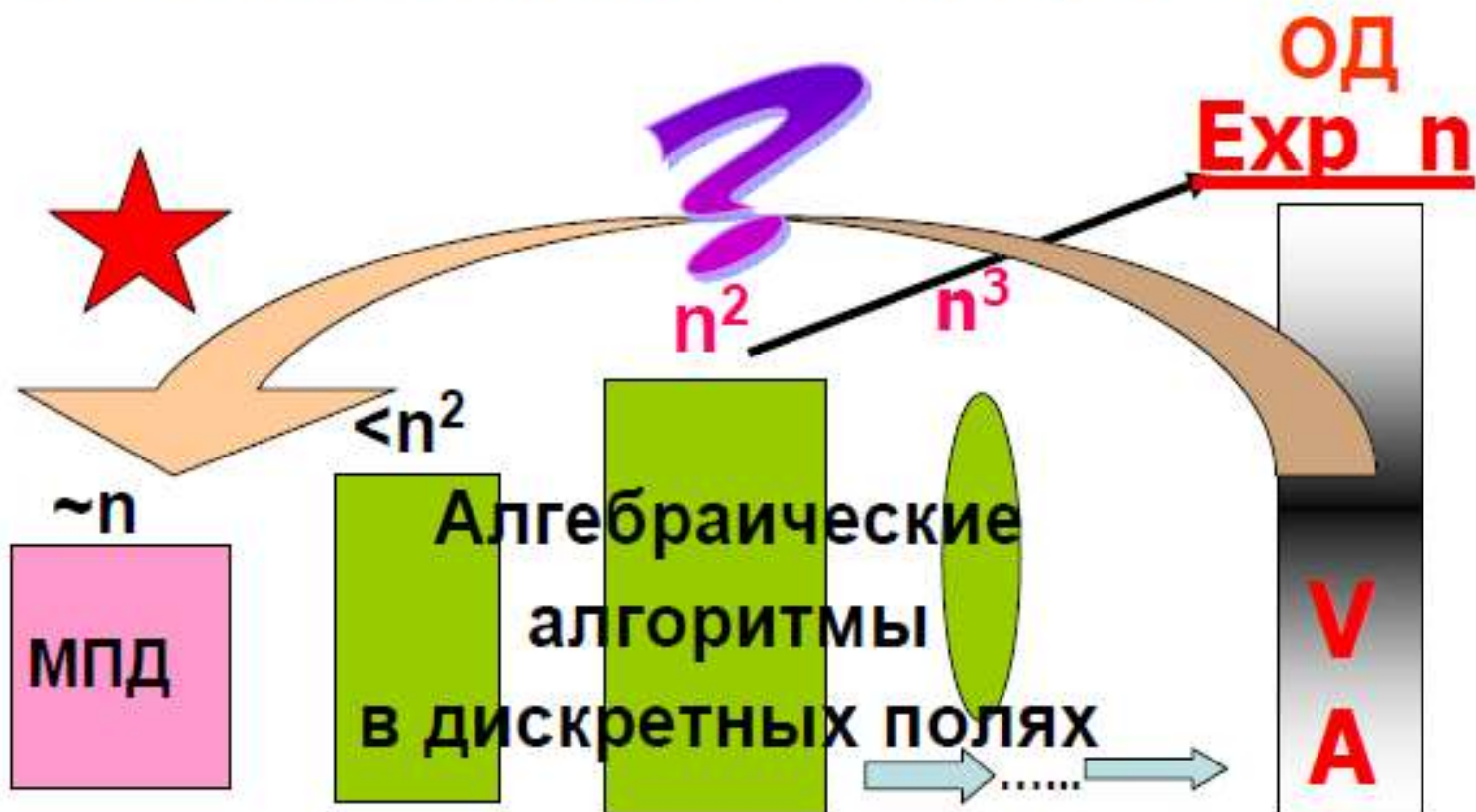
Даже коды длины $n=1000$ неэффективны при вероятности ошибки в ДСК канале $P_0 > 0.08$. А теория-то утверждает, что можно успешно работать при $P_0 < 0.11$!!!

И это при 2^{500} вариантах!

Сложность - больше числа атомов во Вселенной!



Обновление главной парадигмы Оптимизационной Теории помехоустойчивого кодирования



Сложность алгоритмов декодирования ¹⁰

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≡ «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

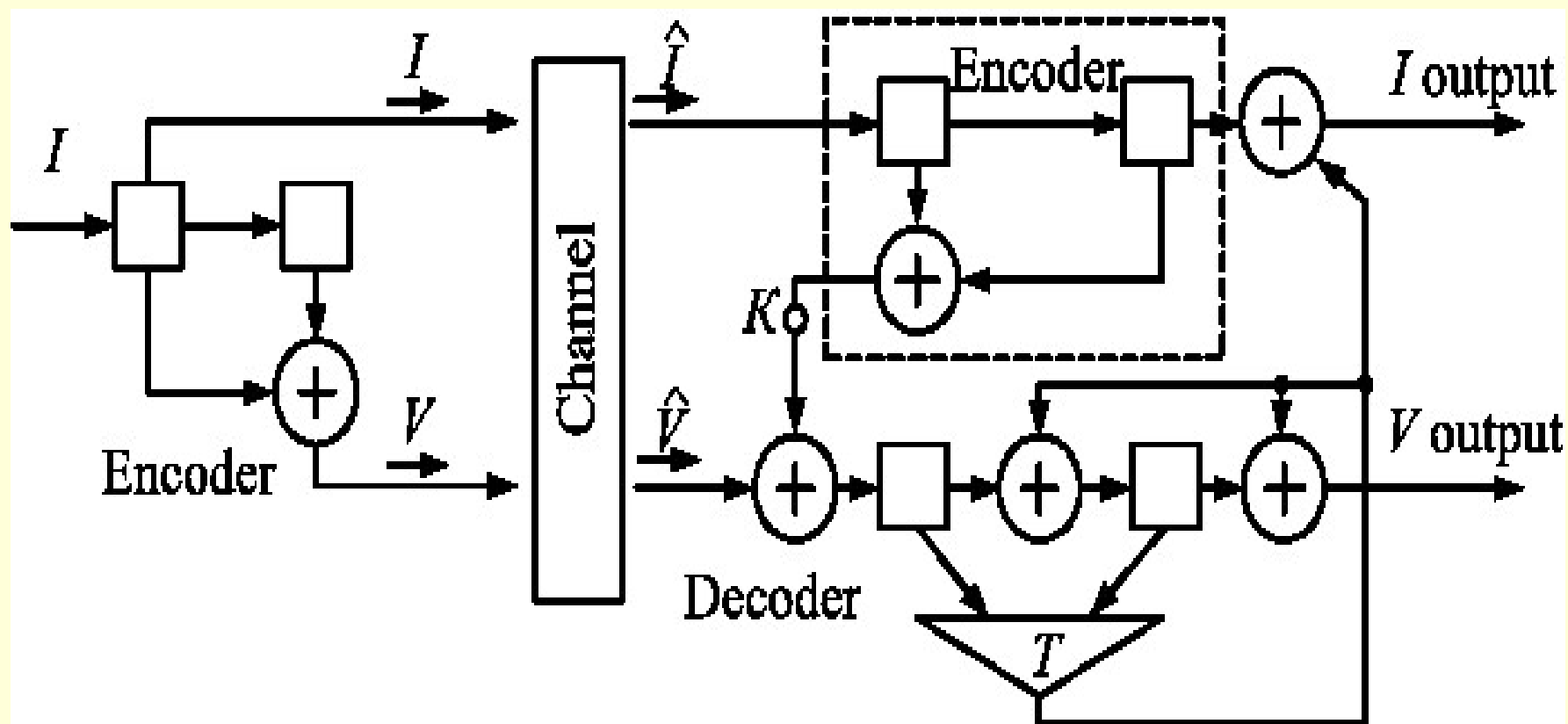
- А) **Создание эффективных декодеров – тяжёлый комплексный тест** для технологий организаций, которые реализуют системы декодирования: это -сложность, эффективность, элементная база, надёжность. Коды - ключ ТК.
- Б) Лишь после этого можно рассматривать работу декодера в модеме с уже выбранной системой сигналов.
- В) И только потом (!!!!!) **проектировать систему связи (СС) с кодированием!**
- Прикладной ТК совсем ВУЗах нет! Её не знает никто!???
- Итог: Профессура нигде не знает ТК. И никто - нигде!

Оптимизационная теория

Критерии выбора алгоритмов
– Помехоустойчивость
Достоверность –
Сложность

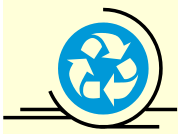
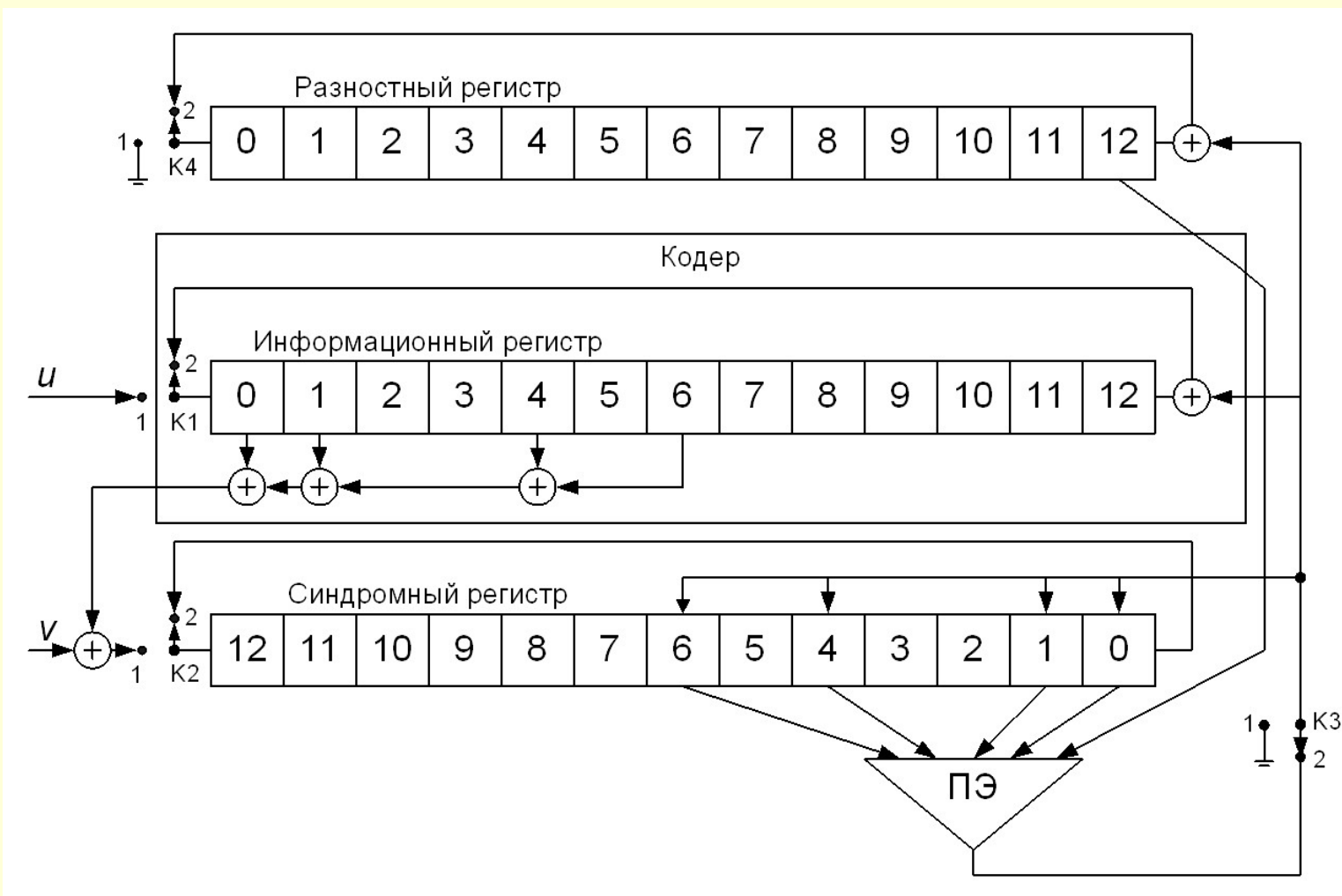
- Никакие декодеры никогда не имеют формул для этих параметров вблизи границы Шеннона
 - Но этого никто не захотел признать
 - Однако это значит, что создание алгоритмов декодирования – совсем не математическая задача
 - Но – какая? → Эксперимент → моделирование?
- Лозунг «Программирование - вторая грамотность» - забыт!

Революционная интерпретация смысла синдрома линейного кода



$$R=1/2, \quad d=3$$

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 № —

(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

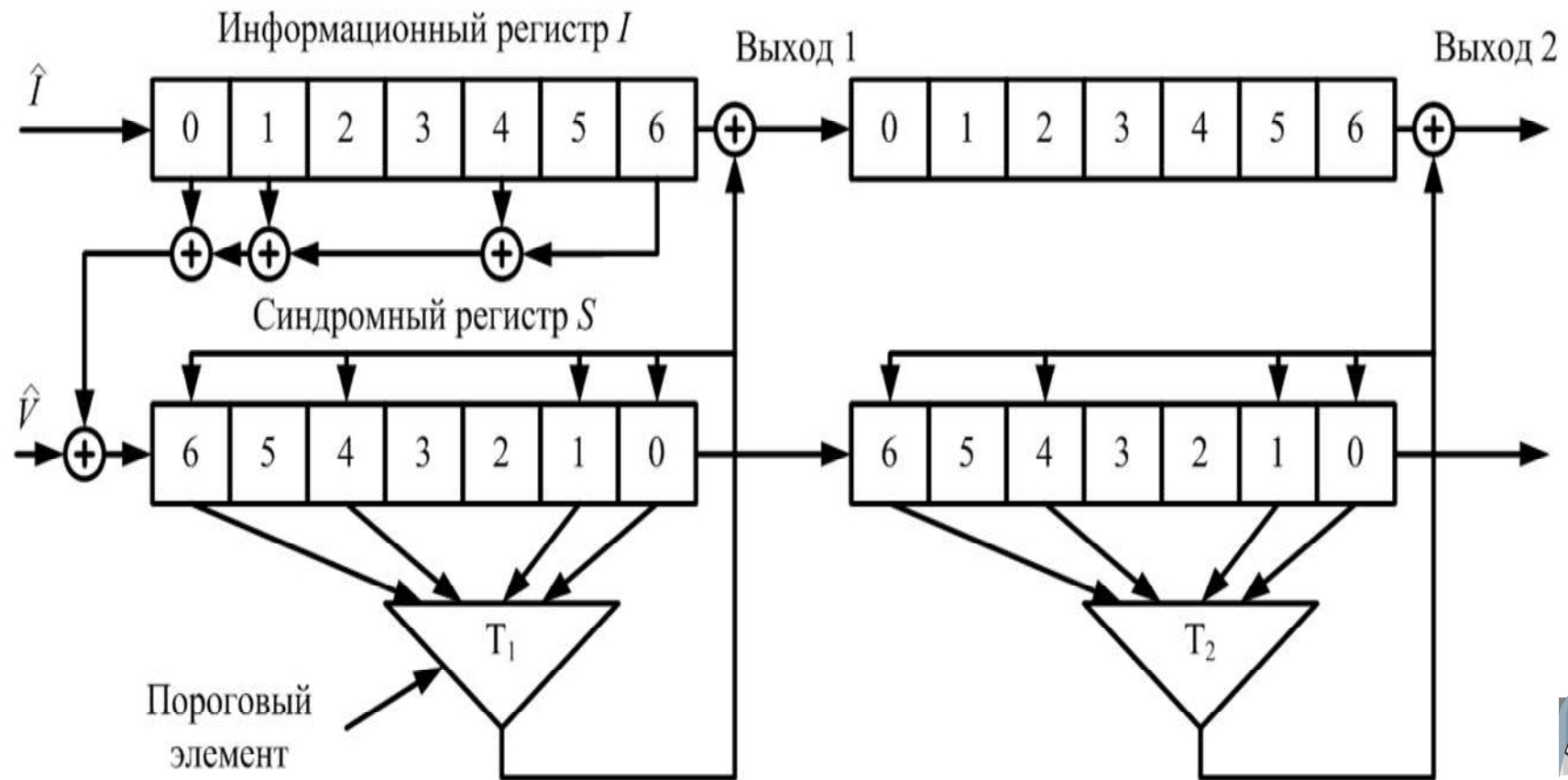
В. В. Золотарев

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

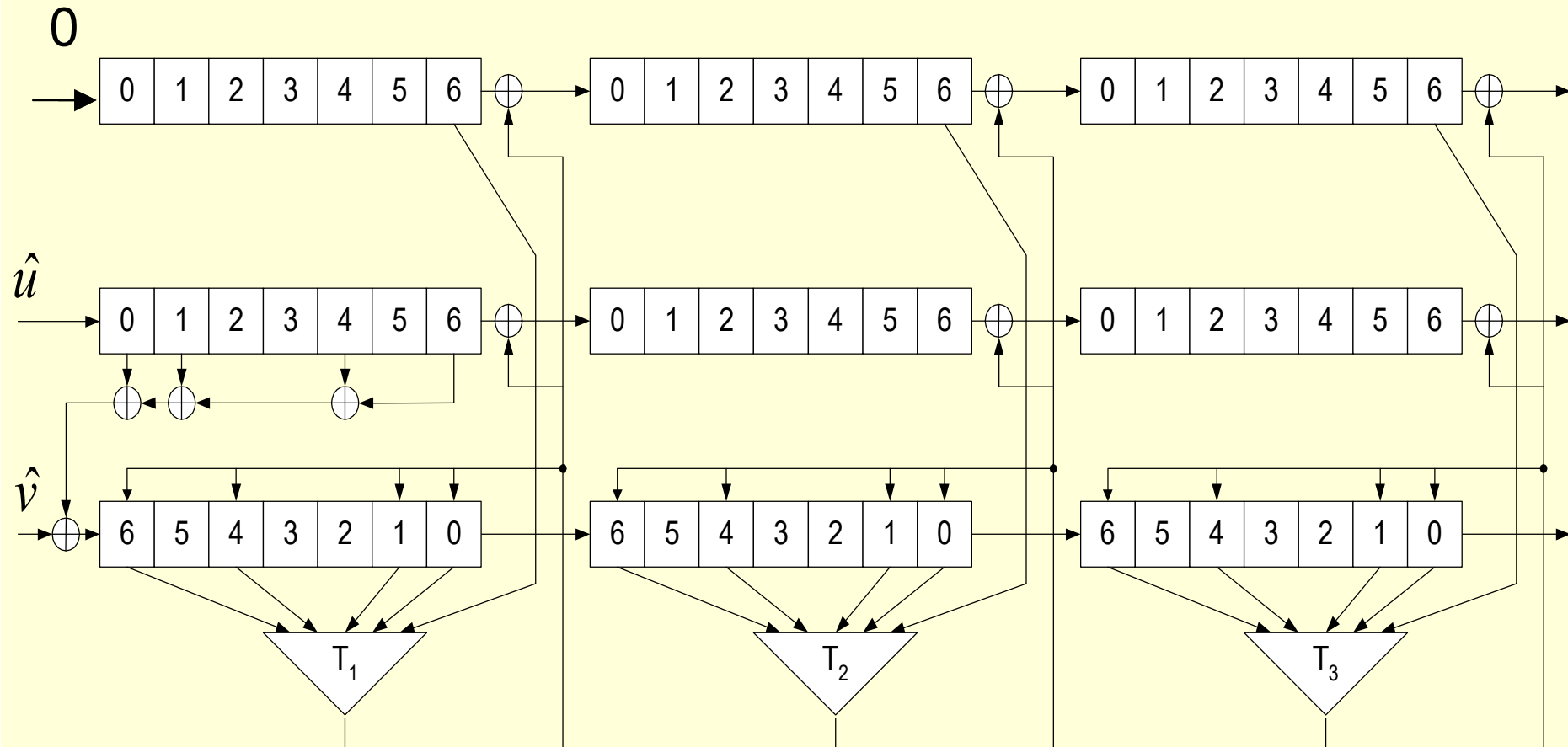
(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЕКОДИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ СВЕРТОЧНЫХ
КОДОВ

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**

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 и стало поводом самоликвидации прежней прикладной 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

Спектр проблем сверхбыстрых ССС

- $V \equiv (W * R) \equiv U / L$
- V - скорость ССС,
- W - мощность передатчика,
- R - кодовая скорость,
- U - средства ускорения,
- L - параметры замедления .
- Компоненты: U - до 5 методов, L - до 3 причин!

• + Д и с к у с с и я

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

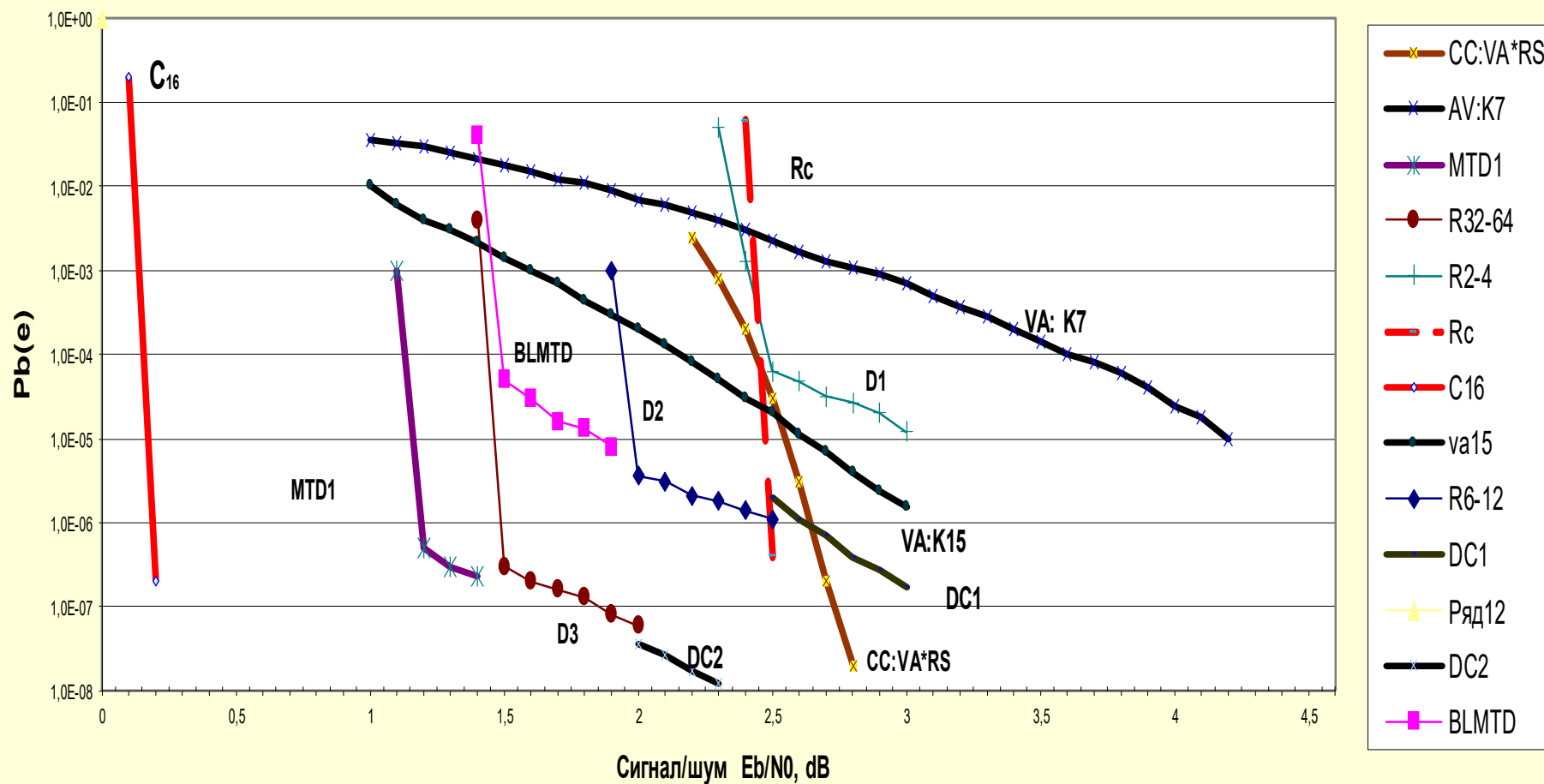
3 Germany

4 Russian Federation

5 Ukraine

сша

Параметры сверхбыстрых МПД, АВ



Память декодеров МПД: D1=110Кб. D2 =2,4 Ми, D3=10Мб, BLMTD=800Кб

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



Кодирование канала

снижает:

размеры антенн,

увеличивает:

скорость, дальность и

достоверность

данных для многих

ТИПОВ каналов связи !!!!

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 !**

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)**

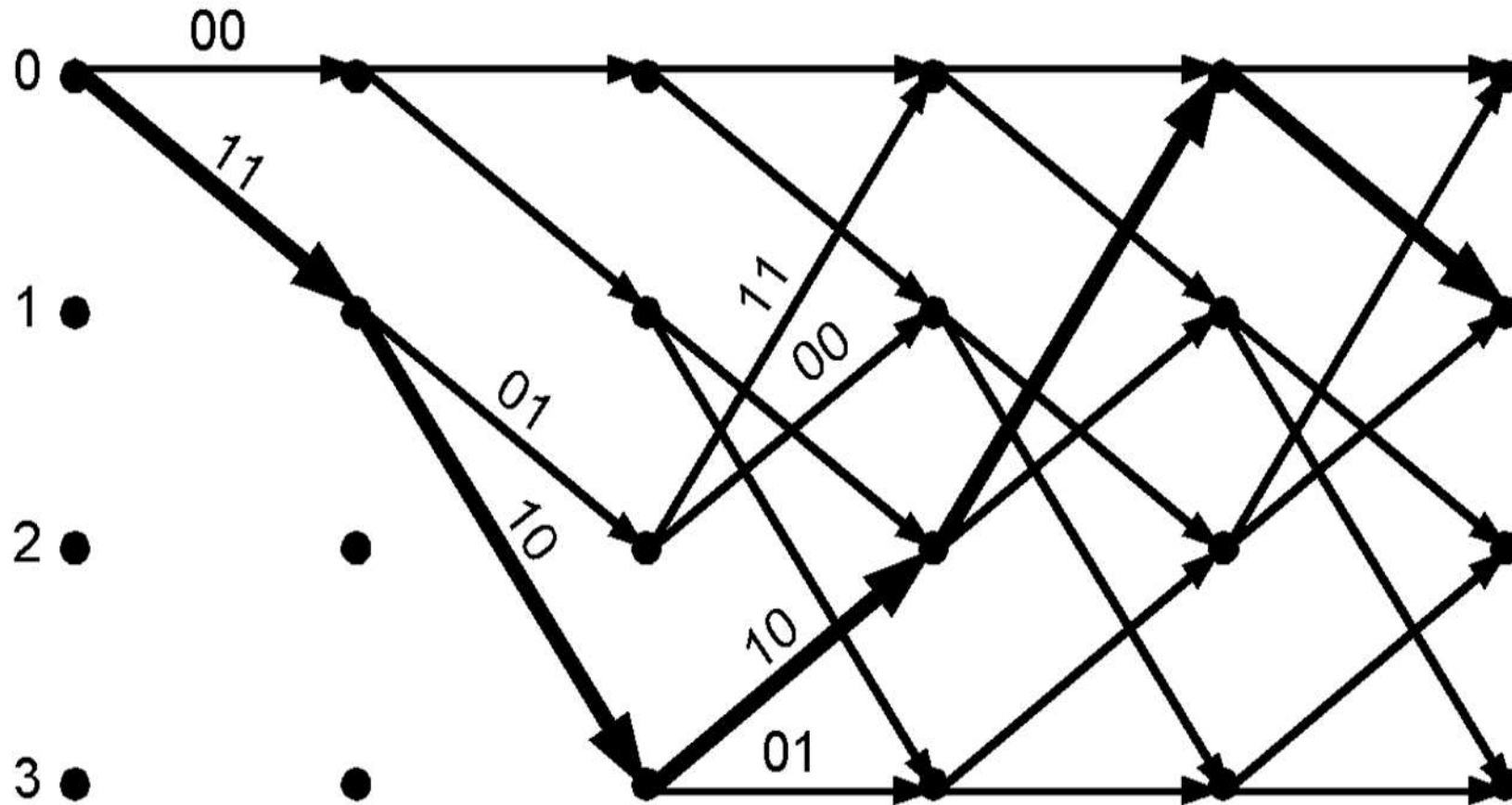
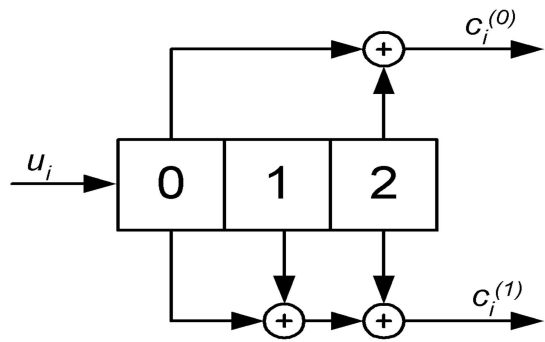


Москва
ИКИ РАН
2020 г.

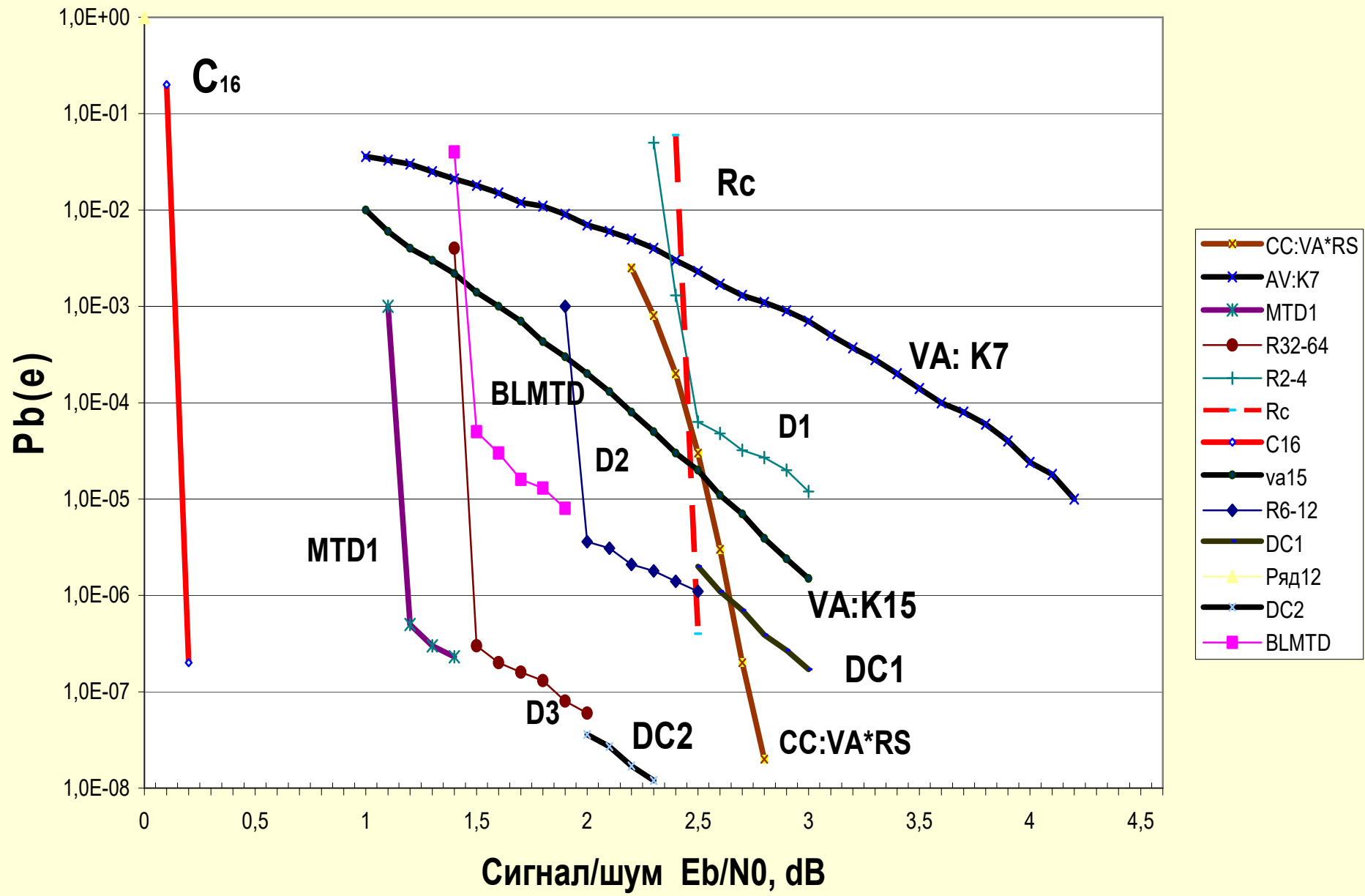
С любой
страницы
«Наши
книги»

Алгоритм Витерби

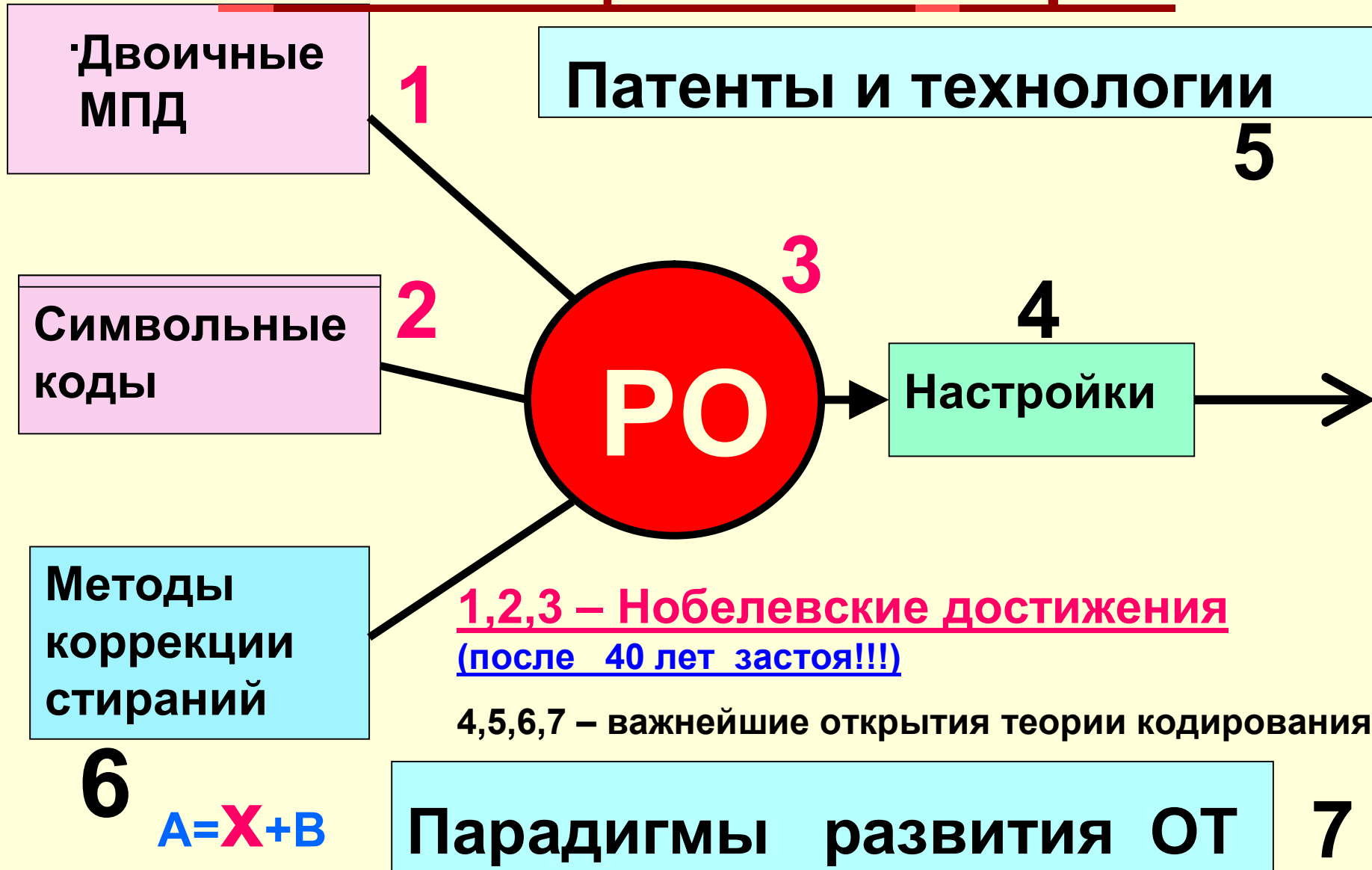
Анализ решётки



Параметры сверхбыстрых МПД, АВ и LDPC?????



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
архивы: mtdbest.iki.rssi.ru

с 1500 блоков данных. + 3 вида учебных программ

Два единственных в России справочника

по кодированию с технологиями решения

проблемы Шеннона для всех типов каналов

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}

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

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.

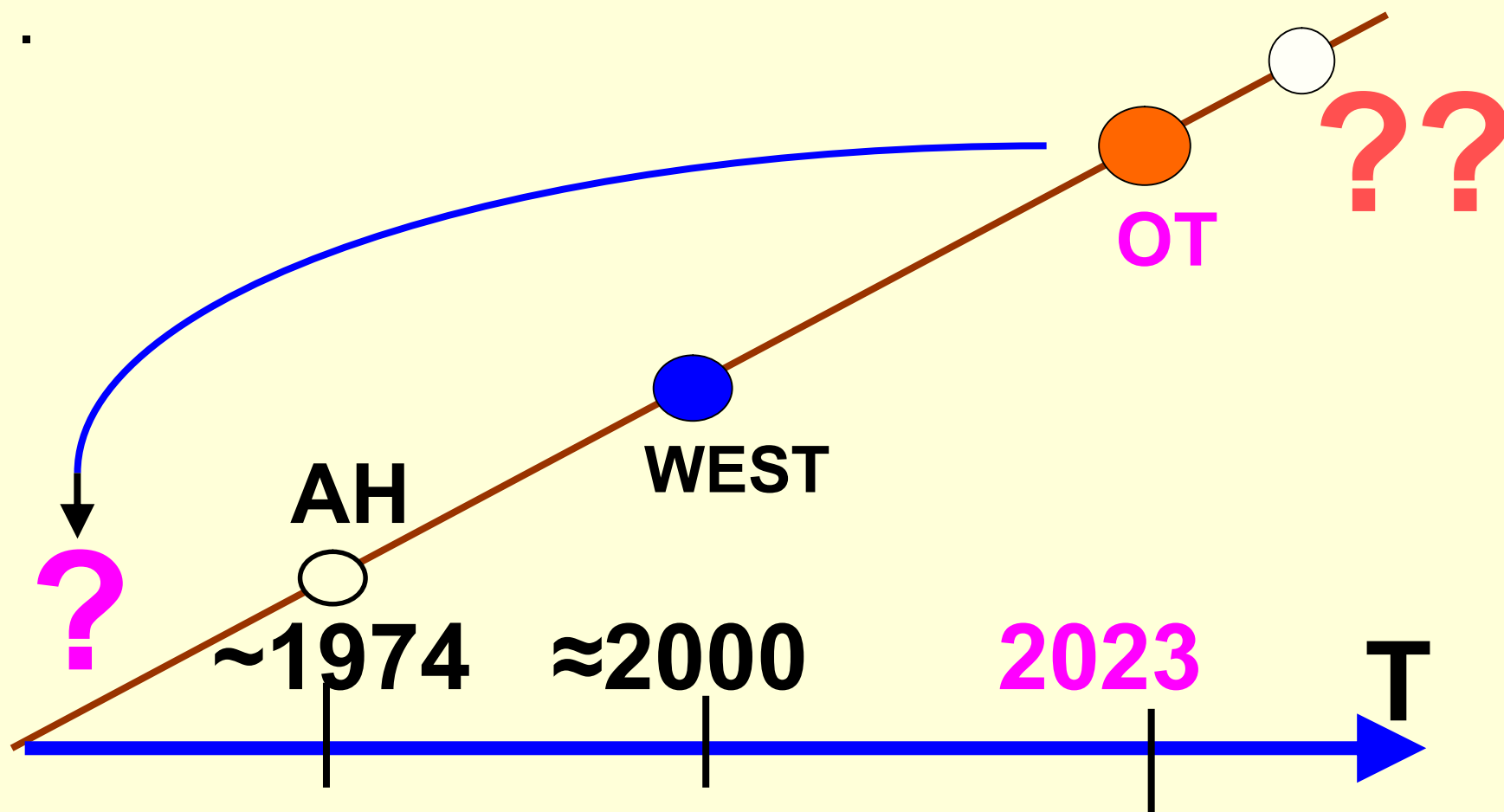
Здания разрушаются от рук таких инженеров.

Деньги теряются от рук таких экономистов и бухгалтеров. Справедливость утрачивается в руках таких юристов и судей.

Крах образования — это крах нации».



Перспективы





МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБОРОНЫ РОССИИ)

В.В.ЗОЛОТАРЕВУ

г. Москва, 119160

« 6 » апреля 2023 г. № 177/ [redacted]

На № [redacted]

Уважаемый Валерий Владимирович!

Ваше обращение по вопросу применения технологии помехоустойчивого кодирования в войсковой [redacted] рассмотрено.

Представленные ранее Вами материалы неоднократно были рассмотрены на научно-технических совещаниях [redacted]

[redacted], изучены, проанализированы и учтены при выполнении НИОКР по созданию [redacted]

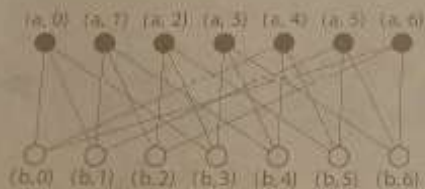
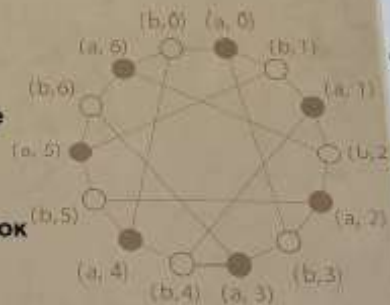
Благодарим за Вашу активную гражданскую позицию!

Врио командира [redacted]

Б. Д. Кудряшов

Основы теории кодирования

- Потенциальная эффективность кодирования
- Алгебраические коды
- Коды над решетками. Сверточные коды
- Каскадные коды, кодированная модуляция, турбокоды
- Коды с малой плотностью проверок на четность



Пособие
для студентов, 2016г

- **Спасибо!**
- **ИКИ РАН,**
- **www.mtdbest.ru ,**
- **www.decoders-zolotarev.ru ,**
- **www.decmtdzol.ru ,**
- **моб.: 8-916-518-86-28 ,**
- **В.В. Золотарёв**