

## Интерактивные дополнения Справочника-2

(Ссылки по тексту даются на литературу Справочника-2)

| <b>Содержание</b>                                                                                                                                                            | <b>стр.</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1. Дополнение<br>К Предисловию научного редактора                                                                                                                            | 1           |
| 2. Дополнение 2.<br>К Введению                                                                                                                                               | 3           |
| 3. Дополнение к разделу 1.1.<br>О развитии теории ОТ и прежней теории кодирования                                                                                            | 5           |
| 4. Дополнение к разделу 2.5.<br>Особенности идеологии Оптимизационной Теории                                                                                                 | 7           |
| 5.. Дополнение 5 к разделу 6.1.<br>Рекомендации к дальнейшим разработкам                                                                                                     | 11          |
| 6.. <u>Дополнение 6 к разделу 6.2.</u><br>О требованиях к исследовательским платформам                                                                                       | 13          |
| 7.. <u>Дополнение 7 к разделу 6.3.</u><br>Обзор текущего состояния прикладной теории кодирования<br><i>(Первая вставка в обзор в Интерактивные дополнения Справочника-2)</i> | 16          |
| 8.. <u>Дополнение 8 к разделу 6.3.</u><br><i>(Вторая вставка в обзор в Интерактивные дополнения Справочника-2)</i><br>Обзор текущего состояния прикладной теории кодирования | 21          |
| 9.. <u>Дополнение 9 к разделу 6.4.</u><br>Дополнительные материалы по ОТ для будущих<br>лидеров современной теории кодирования                                               | 22          |

=====

## Дополнение 1.

### К Предисловию научного редактора.

.....

Здесь необходимо указать на то, что автору Справочника-2 пришлось, в значительной мере вынужденно, отразить в нём и такие вопросы развития прикладных методов теории кодирования, которые обычно обсуждаются только в обзорах по соответствующим темам. И действительно, в некоторых разделах справочника даются весьма нелицеприятные оценки действий или результатов «работы» отдельных «активистов» в сфере теории кодирования, которые только создают проблемы для своих академических коллег, для ВУЗов и вообще для развития нашей отрасли знаний. Такое столь редкое для справочников наделение его данного издания функцией ещё и обзорных публикаций имеет свои веские и, к сожалению, довольно драматические причины.

Мы знаем, что в течение первых почти 40 лет своих исследований автор справочника и его коллеги публиковали свои статьи и монографии, выступали с докладами, в том числе обзорными и приглашёнными на различных конференциях, включая международные, как на русском, так и на английском, а также на других языках. Стил изложения итогов своих исследований у сторонников школы ОТ был при этом всегда, естественно, традиционным, логичным, аргументированным и абсолютно нейтральным по отношению ко всем авторам других упоминавшихся ими публикаций, что было обязательным в те годы и вполне нормальным изложением своих результатов во всегда сдержанно-положительном ключе.

И, конечно, при этом в силу жёсткой обязательной логики науки автор и сторонники его теории ОТ имели право твёрдо рассчитывать на то, что и все без исключения прочие авторы статей, диссертаций и других трудов в сфере ТК обязаны всегда ссылаться на работы школы ОТ в абсолютно всех случаях своих публикаций по тематике, затрагивающей интересы или просто достижения сторонников школы ОТ.

Кажется совершенно невероятным, но в течение этих 40 лет фактически никто из, скажем так, «узкого круга широко известных» работников сферы ТК, относящихся к прежней весьма неуспешной теории, не делал этого вообще, т. е. никогда не упоминал о работах школы ОТ и, следовательно, не сравнивал свои результаты с достижениями этой школы. Надо ли говорить, что никаких официальных разрешений «не замечать» теорию ОТ никто и никому не давал просто потому, что допустить такое безумное поведение абсолютно невозможно. И, тем не менее, эта невообразимая по своим масштабам и последствиям разрушительная для нашей цифровой науки «деятельность» всего лишь нескольких организаций и околонаучных функционеров продолжается и теперь! Приносит ли она реальный вред науке? Да, конечно, и - огромный!

Эта почти трагическая для нормальной исследовательской деятельности причина и побудила в конце концов школу ОТ обратить большее внимание на общее состояние дел в прикладной ТК в целом и выявить те причины, которые, по мнению сторонников этой школы, разрушили логику развития их, т. е., конечно, и нашей единой науки. Результатом столь драматического развития событий и стала возникшая уже в этом тысячелетии практика публикации школой ОТ общих критических обзоров по прикладным вопросам ТК.

Но более удивительным оказалось то, что ставшие неизбежно всё более деградировать прежняя теория и некоторые её совсем уже неадекватные «кадры» ещё долгое время вообще не замечали констатируемого в обзорах школы ОТ стремительного развала атмосферы когда-то конкурентного динамичного развития, а также нарастающей бессмысленности публикуемых титулованными функционерами их «крутых» статей по ТК. Ведь они просто уже очень давно вообще ничего, относящегося к их профессии, не читали. Обычно им это и не было нужно. Но именно поэтому они уже и абсолютно не понимали уже ничего действительно нового.

Отметим ещё при этом, что факт общего кризиса всей мировой ТК ни в какой мере не является извинительным для той совсем маленькой группы наших «контор» и людей, которые теперь лишь номинально относятся к специалистам в области ТК.

А вот когда обзоры школы ОТ через много лет затронули уже и непосредственные интересы индивидуумов из этой компании, игнорировавших теорию ОТ, они вдруг совершенно случайно обнаружили, что все их фокусы понятны, общеизвестны и для прочих нормальных учёных и серьёзных специалистов во всех отношениях абсолютно неприемлемы. Их очень запоздавшие на десятилетия отклики, однако, не содержали ни одного слова сожаления об ошибках и грубых нарушениях этических требований, а были лишь переполнены совершенно недопустимыми в культурных коллективах речевыми оборотами, что однозначно определило полную нравственную катастрофу этих конкретных частных лиц, отступников и разрушителей нашей важнейшей отрасли цифровой информатики.

Понятно, что в этой ситуации сторонники школы ОТ, анализируя уже не «отдельные недостатки» тех или иных работ, а нанесённый науке огромный ущерб, имеют полное право жёстко оценивать и поведение, и «научные результаты» тех совершенно выпавших из культурного слоя субъектов, которые уже действительно просто варварски давно калечат сложнейшую проблемную сферу цифрового мира.

А теперь отметим, что обзоры и монографии с комментариями общих результатов текущего уровня ТК выходят у нас в стране редко, так как в реальности публиковать их имеет моральное право лишь действительно единственная - увы !!! - пока высокообразованная в этой прикладной области у нас научная школа ОТ. Понятно, что такие редкие и всегда масштабные публикации требуют от сторонников небольшой школы ОТ мобилизации огромных ресурсов всякого рода даже просто для того, чтобы такие сложнейшие и ответственные в моральном и научном плане труды всё-таки выходили в свет. А это значит, что наличие очень жёстких нелицеприятных комментариев в данном, конечно, редком уникальном Справочнике-2 о делах, состоянии и событиях в прикладной ТК следует признать не просто допустимыми, но воистину очень необходимыми и просто обязательными. До сих пор так возвысить свой голос в защиту нашей отрасли науки не осмеливался пока что за многие уже годы её несчастий ни один специалист или хотя бы какой-то мобилизовавшийся в защиту истины уважаемый российский научный коллектив.

Такая роль Справочника-2 определяется ещё и тем, что после масштабных изданий целого ряда монографий по теории ОТ последних лет, сейчас пока не приходится ожидать других столь же многих полезных и масштабных книг по теории и прикладным вопросам ОТ в ближайшие годы. Поэтому роль данной крайне необычной книги-справочника-пособия для новых поколений специалистов, которым пока вообще не преподают нигде настоящую современную Оптимизационную Теорию помехоустойчивого кодирования, становится чрезвычайно важной, определяющей их самые настоящие реальные научные судьбы. И знание об основных текущих реальностях в нашей отрасли теории информации абсолютно необходимо для всех уже просто для того, чтобы наша ТК, как и другие хрупкие сложные направления науки, больше не повторили бы вновь столь опасных, почти трагических ошибок в своём дальнейшем развитии.

По опыту уже очень длительного наблюдения за абсолютно корректной и труднейшей экспертной деятельностью школы ОТ можно не сомневаться, что при улучшении общего состояния нашей прикладной ТК или при появлении реальных, а не «нарисованных» результатов в других её областях, отличных от теории и технологий ОТ, эта научная школа не станет задерживать выпуск соответствующих новых обзоров, где такие реальные достижения будут всесторонне рассмотрены. В случае их новизны и действительного продвижения той другой прикладной ТК вперёд можно быть уверенными, что они получат положительную оценку в следующем обзоре у всегда

объективных сторонников школы ОТ. Надо ли писать, что и вообще любые другие объективные профессиональные обзоры будут полезны!?!

А приверженцам пока сильно отставших во всех научных, технологических и (куда деваться!?! ) моральных смыслах направлений в ТК придётся напрячь все свои усилия для того, чтобы выбраться из той глубокой алгоритмической, этической и, скажем так, мягко, нравственной (!) ямы, в которую они по недомыслию так неудачно попали. Но возможно, что окажется более реальным, хотя и морально крайне трудным, этим сбившимся с правильных путей кадрам науки можно просто признать ряд «шумных» направлений прежней ТК тупиковыми и присоединиться к несомненно более прогрессивным во всех смыслах темам, разрабатываемым в рамках ОТ или вообще к совсем другим проектам. Это позволит всем столь драматически задержавшимся в своих исследованиях специалистам ушедшей в небытие прежней прикладной ТК достаточно быстро выйти на достойный уровень действительно содержательной созидательной работы.

\*\*\*\*\*

## Дополнение 2.

### К Введению.

В связи с особенностями наших комментариев мы должны указать ещё и на то, что в Справочнике-2, а также в очень многих статьях, обзорах и монографиях новейших времён школы ОТ действительно крайне много «человеческой компоненты» нашей науки, чего мы предыдущие 40 лет избегали, как это обычно и принято при нормальном развитии научного Знания. Но полная длительная и абсолютная бесконтрольность за деятельностью ряда научных «бонз» и крайняя степень глобального разрушения хрупких структур науки при общем падении её уровня позволили именно этим фальсификаторам важнейшей отрасли цифровых исследований весьма долго диктовать условия защит и публикаций в теории кодирования, главными из которых были, видимо, «не замечать теории ОТ». Но это их крайне плохой выбор.

И лишь когда нам уже в последнее десятилетии пришлось вывести «за ушко, да на солнышко», т. е. на свет (вот он - человеческий фактор!) некоторых имитаторов науки, лидеров широкомасштабных фальсификаций и обмана, - только тут они, но далеко не сразу, спохватились, и принялись скандалить сразу очень далеко за границами допустимого стиля дискуссий. Однако же - что крайне важно, - никаких содержательных опровержений нашей критики от них не последовало. Никаких комментариев в единственно допустимых терминах критерия ПДС уже очень долго и от них, и ни от кого нет! И – не будет! Предъявить ни тогда, ни сейчас доморощенным халтурщикам абсолютно нечего. Это же всё полностью подтвердили и оппоненты на одной из соответствующих «модных» шумных защит: ошибки, необузданные фантазии, отсутствие результатов и просто самый примитивный обман [80]. Так что и данный Справочник-2, учитывающий с исключительно гуманными целями человеческую компоненту эволюции ТК, излагает этапы развития ОТ только с самыми

необходимыми минимальными ссылками на вредительскую и дискриминационную деятельность некоторых субъектов по отношению к ОТ.

Поскольку наш новый критический стиль обзоров и книг возымел, наконец, хотя бы ограниченное действие, мы продолжим убирать неозримые «завалы» на путях развития ОТ. А другой теории кодирования сейчас просто и нет. Обнародование всех попыток деградирующих функционеров обрушить российскую прикладную ТК просто ради своего спокойного барского потребительского бытия без каких-либо обязательств перед обществом и наукой - обязательное условие восстановления доверия к науке. Совершенно очевидно, что нашу позицию выявления таких «кейсов» научное сообщество обязано поддерживать гораздо активнее. Только в этом случае мы полностью избавимся от паразитов, неучей и всяких аферистов.

Таким образом, мы снова подтверждаем, что проблемы развития в нашей стране теории и технологий ОТ, важнейшей науки цифрового мира о простой высоконадёжной обработке «цифры» совершенно невозможно понять без учёта влияния мнений и целей наиболее активных сторонников как прогресса, так и её деградации в интересах некоторых «временщиков», занимающих определённые колченогие хромающие во всех смыслах кресла в научной иерархии. Эти обстоятельства уже много лет учитываются нами при написании всех новейших монографий и обзоров по прикладным вопросам ТК. Необходимость принятия самых серьёзных мер для восстановления доверия к научной деятельности в ТК тоже вполне очевидна.

Структуры, ответственные за организацию нашей науки должны всесторонне проанализировать причины долгого кризиса в российской прикладной теории кодирования и сделать всё возможное, чтобы похожие ситуации и периоды столь глубокой долгой стагнации и даже реальной разрухи в нашей и в других отраслях отечественной науки никогда более не возникали.

\*\*\*\*\*

### **Дополнение 3 к разделу 1.1.**

О развитии теории ОТ и прежней теории кодирования.

*(Ссылки даются по Справочнику-2)*

Начнём с самого краткого перечисления основных ресурсов, критериев качества алгоритмов и методов ОТ, используемых для достижения цели - решения проблемы Шеннона, делая акценты на их отличиях от соответствующих ключевых параметров прежней теории кодирования (ТК).

Укажем сначала на то, что долгое время важнейшим критерием качества кодов, изучаемых в ТК, было отношение минимального кодового расстояния  $d$  к длине кода  $n$ :  $a=d/n$ . Этот параметр продержался в качестве основного неоправданно долгое время. Но он определяет более высокие достоверности декодирования только для каналов с малым уровнем шума, что было полезно лишь в самый первый период освоения идей теории кодирования длительностью порядка  $10 \div 15$  лет, т. е. не более, чем до ~1980-х годов.

А в ОТ практически сразу же главные параметры кодов всегда рассматривались с точки зрения получения возможно более высоких значений энергетического выигрыша кодирования (ЭВК), который, как известно, для гауссовского канала оценивается сверху

как  $G=R*d$  [1,3,6] (номера ссылок по литературе Справочника-2). Этот один из самых наглядных и удобных критериев эффективности цифровых линий связи никак не связан с отношением  $d/n$ . Дело в том, что при большом относительно уровне шума канала, когда только и возможно достижение большого к.п.д. очень дорогих цифровых линий передачи данных, число искажённых символов, принятых декодером, обычно существенно превышает значение кодового расстояния  $d$ , а результат декодирования в реальности зависит и от всего спектра весов применяемого кода, и, что очень важно, от алгоритма декодирования.

Обратимся к вероятности ошибки декодирования, т. е. к той всегда необходимой высокой достоверности дискретных данных, без которой никакие протоколы и сервисы, предлагаемые цифровыми системами, работать не смогут. В прежней теории кодирования (ТК) причины ошибки декодера могли быть очень разными, например, возникающими всякий раз, когда число искаженных в канале символов некоторого кодового блока превысит величину  $d/2$ . Для более сложных алгоритмов вопрос о конечной достоверности их решений всегда оказывается тоже очень непростым. При этом сложность  $N$  декодера как число его простейших операций могла в прежней ТК иметь порядок, например,  $N \sim n^2$ , что, конечно, достаточно много. Для некоторых алгоритмов прежней ТК  $N \sim n \cdot \log(n)$ . Но и это не решает их проблем.

А для МПД декодеров, ставших основой ОТ, и здесь ситуация изначально совсем другая. Для МПД при линейной от длины кода сложности  $N$ , т. е. при  $N \sim n$ , оказалось возможным достигать решений оптимальных декодеров (ОД), наилучших по достоверности, которые ранее были доступны только для переборных, т. е. экспоненциально сложных по длине кода  $n$  алгоритмов. Но, конечно, такой крайне полезный результат может быть достигнут только при правильном проектировании кода и декодера на базе специальных итеративных мажоритарных методов, впервые в мире запатентованных в СССР ещё в 1972г. [38]. Подчеркнём, что факт достижимости декодерами МПД решений ОД, который принципиально невозможно доказать формально-аналитически, был подтверждён на ряде аппаратных и программных моделей МПД алгоритмов ещё в 70-х годах того века. Однако, тогда это было возможно сделать сначала только для не очень длинных кодов и лишь при умеренных уровнях шума канала, т. к. ЭВМ тех времён, использовавшиеся для моделирования, имели крайне низкую производительность.

Таким образом, сложность МПД алгоритмов изначально много меньше, чем у других методов, а итоговые достоверности при декодировании могут соответствовать уровню ОД, хотя такой достоверности, конечно же, ещё нужно суметь достичь, подбирая и коды с очень малым уровнем размножения ошибок, и значения настраиваемых параметров декодера. Так что, исходя из этих давно имевшихся данных, именно на методы ОТ надо было уже очень много лет назад обратить особое внимание, что и сделала научная школа ОТ. Но никто более ещё!

Эти очень непростые вопросы будут далее последовательно рассматриваться при анализе возможностей МПД алгоритмов в следующих главах, хотя для случая малых относительных уровней шума канала мы немного позже удостоверимся в этом особенно легко. Конкретно мы предлагаем вам в самом начале третьей главы пример демопрограммы, которая действительно продемонстрирует достижение решения оптимального декодера (ОД) алгоритмом МПД после всего лишь  $I=3$  итераций декодирования блочного кода, конечно, при малом уровне шума, т. е. малой вероятности искажения символов кода при их передаче по классическому ДСК каналу.

Но это будет немного позже. А сначала мы рекомендуем хотя бы быстро последовательно просмотреть все первые главы нашего Справочника-2, который мы считаем одновременно и Пособием по новым алгоритмам декодирования предельно малой сложности. Мы уверены, что это будет интересно и полезно.

Разумеется, главная целевая сложнейшая задача достижения решений ОД и при больших вероятностях ошибок в канале, т. е. при большом относительном уровне шума, решалась школой ОТ постепенно в течение очень многих десятилетий, что тоже видно по монографиям [2-9], опубликованным нами обзорами и по материалам обоих наших справочников.

А что предлагала в качестве возможных путей роста достоверности своих решений прежняя теория? Решения ОД там были сначала только переборными, экспоненциально сложными. Однако затем появились уже итеративные методы декодирования, отчасти похожие на методы ОТ. Но у них было по меньшей мере три слабости.

Во-первых, ни для каких методов этого уровня не было доказано какое-либо свойство, близкое к фантастическим возможностям МПД декодеров, которые на каждом шаге изменения контролируемых символов строго приближаются к решению ОД, причем, при минимально возможной сложности декодеров  $N \sim n$ .

Во-вторых, современная классификация алгоритмов МПД как методов поиска глобального экстремума функционалов (ПГЭФ) базируется на том, что на каждом шаге декодирования эти методы измеряют расстояние своих решений до принятого вектора, минимизацией которого эти алгоритмы и заняты всё время. А вот все прочие итеративные методы, напомним, имеющие ещё и сложность реализации, несколько большую, чем линейную, не измеряют расстояний своих текущих решений до принятого вектора и, значит, могут, в принципе, совсем «не заметить» его достижение и даже пройти мимо него. Десятилетия развития ТК показали, что алгоритмы, не относящиеся к ОТ, даже при значительных их усложнениях не решают в требуемой степени задачу роста достоверности своих решений при высоком уровне шума.

Наконец, в-третьих, хотя этот вопрос редко обсуждается, очень важно и то, что методы МПД и АВ по самой своей сути работают только с небольшими целыми числами. А все остальные итеративные декодеры, разработанные прежней ТК, «выпадают» в область действительных чисел и при их создании на ПЛИС или быстрых структурах с ограниченной системой команд будут дополнительно ещё, возможно, до  $20 \div 30$  раз более проблемными, сложными в плане достижения высокого быстродействия этих алгоритмов [39]. Да, обычно можно создать и упрощённые версии таких декодеров, но тогда их характеристики будут ещё слабее, чем у исходных вариантов. Реальных сравнительных данных о подобных схемах для таких алгоритмов нет.

И в конце этого важнейшего системно-философского раздела обратим внимание на то, что привело уже более 30 лет назад к фактически полному исключению прежней ТК из реального конкурса теорий и алгоритмов. Согласно триединому критерию ПДС  $\equiv$  «помехоустойчивость-достоверность-сложность» [6(с.2,23), 21(с.6,27,33)] все параметры этого критерия, как это было указано выше и ещё будет неоднократно подчёркиваться в последующих разделах справочника, являются у декодеров МПД даже теоретически наилучшими возможными. Это значит, что улучшить их фактически уже принципиально невозможно, что для всех технических приложений чрезвычайно важно. Но ещё более существенным оказывается то совершенно обезоруживающее сторонников прежней ТК обстоятельство, что та теория так и не научилась вычислять параметры критерия ПДС вообще ни для каких своих алгоритмов при достаточно большом относительном уровне шума. И, как получается, с точки зрения поиска решения проблемы Шеннона как задачи простого высокодостоверного декодирования вблизи пропускной способности цифрового канала прежняя ТК за 60 лет своей весьма условной «активности» так и не научилась делать просто вообще ничего!

Согласимся здесь уже в сотый раз с тем, что и для алгоритмов ОТ вычислить параметры критерия ПДС никогда нельзя. Но подчеркнём, что это принципиальное обстоятельство сторонниками ОТ было глубоко осознано ещё где-то даже до 1975г., когда уже на самых простых вычислителях тех лет мы стали создавать сначала весьма простые, но сразу вполне полноценные экспериментальные средства практически

«мгновенной» оценки всех наших декодеров по критерию ПДС. Именно с этого времени и начался закат прежней ТК. А для современной ОТ определение параметров критерия ПДС давно стало обычной рутинной операцией для программных или аппаратных макетов алгоритмов.

\* \* \* \* \*

#### Дополнение 4 к разделу 2.5. Особенности идеологии Оптимизационной Теории

Рассмотренные выше алгоритмы МПД озаменовали ещё в 1978 году, т. е. более 40 лет назад [19], начало принципиально нового и, конечно, даже сейчас всё ещё неожиданного для абсолютного большинства специалистов по цифровой связи (!!!) этапа научного и технологического развития главной отрасли современной науки - теории информации и её важнейшей ветви - помехоустойчивого кодирования. В рамках этой теории и насущной технической потребности в ОТ на базе теорий и технологий поиска глобального экстремума функционалов (ПГЭФ) научной школой ОТ к 1985 году была полностью решена сложнейшая и уже давно ставшая критической фундаментальная проблема цифрового информационного мира - обеспечение простейшими методами высокодостоверной передачи и хранения цифровых данных при максимально допустимых относительных уровнях шума каналов связи и ненадёжности систем памяти..

Рассмотрим основные параметры алгоритмов ОТ, которые позволяют выделить их из множества других публикуемых методов коррекции ошибок. В первую очередь это минимальная сложность  $N$  декодирования алгоритмов МПД, пропорциональная длине кода, т. е.  $N \sim n$ , что чрезвычайно важно при использовании длинных кодов, когда только и можно обеспечить успешное декодирование цифровых данных вблизи границы Шеннона. Напомним, что сложностью мы называем число простейших операций с целыми небольшими числами, которые должен выполнить алгоритм декодирования при исправлении ошибок, содержащихся в кодовом блоке длины  $n$ .

Вторым и решающим свойством, определяющим абсолютные преимущества МПД и ряда других алгоритмов ОТ, оказывается их возможность достигать, по меньшей мере, в принципе, решений оптимальных декодеров (ОД) для применяемых в них кодов. О таких же строго доказанных аналогичных свойствах приближения к решению ОД при каждом изменении этими алгоритмами очередного декодируемого символа ни для каких вариантов декодирования ничего неизвестно. Именно наличие этих двух важнейших для технологий возможностей алгоритмов многопорогового декодирования определяет безусловные и крайне ценные достоинства методов, созданных в рамках ОТ. Из этого вроде бы уже и следует, что более простых и достоверных алгоритмов, чем МПД, скорее всего, и вообще не может существовать.

Но здесь нужно подчеркнуть, что достижение решений ОД - это только потенциальная возможность для всех МПД декодеров. Последующее изложение ОТ и её технологий в данном Справочнике-2 показывает, что реализация такой возможности - реальная, но очень сложная для большого относительного уровня шума идеологическая и технологическая проблема. Ею научная школа ОТ занималась много десятилетий. И теперь она решена почти для всей области параметров  $R \lesssim C$ , причём, сложность итоговых алгоритмов класса МПД действительно остаётся при этом линейной по длине кода. Подчеркнём также, что успехи ОТ определяются принадлежностью её алгоритмов к методам ПГЭФ, согласно которым на всех шагах декодирования постоянно контролируется та целевая разность, т. е. расстояние между контролируемыми

векторами, которая должна быть минимизирована. А чёткая постановка такой цели помогала и помогает ещё и сейчас искать и реализовывать методы декодирования, которые с линейной сложностью ищут наиболее простые пути достижения глобального экстремума, т. е. оптимального решения.

Далее будет показано большое разнообразие новых руководящих парадигм теории ОТ, позволяющих уже сейчас успешно проводить наукоёмкие исследования, которые затем могут создать условия для достижения ещё более высокого уровня развития цифровых технологий.

Для правильного понимания природы преимуществ теории ОТ, особенно при их сопоставлении с другими подходами к проблеме декодирования, нужно очень чётко выделять те особенности теории и методов ОТ, которые позволили этому направлению теории кодирования стать действительно абсолютным лидером в успешном решении проблемы обеспечения высокого уровня достоверности потоков цифровых данных нашей информационной цивилизации.

Эти системные вопросы изложены в последних работах сторонников ОТ [11,21-26,28-30]. Их можно найти также на наших ресурсах [20]. Поэтому ограничимся тем, что укажем только на крайне важное единство понятной, но весьма тонкой теории и обширнейшей экспериментальной деятельности школы ОТ, в значительной степени связанной с широкомасштабным компьютерным проектированием и моделированием декодеров. Именно это синергетическое единство теории и эксперимента, оформившееся около 50 лет назад, и определяет сегодняшнее лидерство ОТ во всех прикладных исследованиях в области создания алгоритмов помехоустойчивого кодирования. Неожиданное масштабное логичное и безусловное подтверждение важности этих обстоятельств в исследованиях различного профиля представлено в [27].

В самом деле, теория сама по себе без связи с реальностью очень ограничена по возможностям, а эксперимент, подготовленный без поддержки теории, обычно оказывается не очень содержательным, а иногда и просто ошибочным. Но развитие основных течений теории кодирования за многие истекшие десятилетия было очень слабо связано с компьютерным моделированием, что крайне ограничивало поле, на котором эта теория работала. Однако отсутствие поддержки от эксперимента привело к тому, что прежняя теория быстро ушла от решения проблем и сложности декодирования, и достоверности решений, что затем привело к тому, что за многие последующие годы в рамках тех «традиционных» направлений не было предложено ни одного алгоритма декодирования, доказательно предъявленного научному сообществу со всей совокупностью параметров критерия ПДС «помехоустойчивость-достоверность-сложность» и со всеми результатами моделирования алгоритмов, как и со средствами такого моделирования, т. е. с работающими программами или аппаратными макетами. Главной причиной конца прежней теории стало именно то, что параметры критерия ПДС, как мы уже много раз указывали, та теория так и не смогла вычислять аналитически, потому что мир цифровых многомерных массивов при решении масштабных проблем вообще почти никогда не укладывается в обозримые аналитические выражения.

Крайне быстрый прогресс ОТ оказался возможным благодаря тому, что многие оценки, сделанные в рамках ОТ, обычно легко и быстро проверяются на программных моделях, которые уточняют реальную ситуацию и корректируют теорию. Сами же результаты моделирования навсегда оказываются в ОТ теми важнейшими контрольными и опорными точками, которые определяют затем дальнейшее развитие и теории, и эксперимента в совершенно разных ситуациях, возникающих в течение многих последующих лет эволюции совершенно различных аспектов теории и прикладных вопросов ОТ. При этом рекомендации теории оказываются всегда исключительно полезными, так как они экономят время подготовки экспериментов и быстро определяют тупиковые направления, отсекая неперспективные идеи.

Обратим внимание и на то, что количество формул, которые были рассмотрены в этой главе, совсем невелико, а очень сложных выражений совсем мало, точнее, их просто нет. При этом все необходимые вполне достижимые нижние оценки вероятности ошибки в ОТ для всех классических каналов сделаны с необходимой точностью и могут активно учитываться в дальнейших исследованиях, что уже давно полностью проверено в тысячах экспериментов. Теоретик и экспериментатор, работающие в рамках ОТ для всех своих новых методов очень простыми средствами, которые уже были описаны выше, определяют потенциальные границы достоверности, которые могут обеспечить, в принципе, проектируемые код и алгоритм. И этого достаточно для того, чтобы попробовать достичь этих простых нижних оценок при возможно более высоком уровне шума. Поэтому никакие другие оценки и не требуются. А задачу достижения заложенных в проект нижних оценок, если это возможно вообще, быстро и надёжно решают наши оптимизационные программы. Далее, при необходимости каждый специалист вариацией ещё более широкого набора параметров кодов и алгоритма может улучшить характеристики метода, что и составляет основу современного поиска новых типов алгоритмов ОТ, которые могут работать при всё более высоких уровнях шума. Таким образом, в нашей новой ТК действительно работают только понятные технологии под управлением теории, указывающей простые границы достижимых параметров кодов и декодеров соответствующими формулами, число которых, в силу ограниченного числа самих модельных каналов, тоже невелико.

Это всё находится в разительном отличии от достижений «традиционной» прежней теории, проверить результаты которой, в основном, как бы теоретические, крайне трудно [21,27]. Такая ситуация очень часто приводит к тому, что недоработки и ошибки в чисто теоретических работах, включая и очень многие книжные публикации, оказываются более чем ординарным событием [6(с.243),13,21,25,27,29,30,43,80]. А в ОТ взаимоконтроль теории и эксперимента создали все условия для исключения каких-либо серьёзных сбоев и ошибок при проектировании, исследованиях и оптимизации параметров декодеров.

Большое количество демопрограмм и программных платформ, созданных в ОТ и доступных через Справочник-2, существенно облегчает приобщение специалистов и энтузиастов к сложной взаимоподдерживающей деятельности в теории и в разработках программных макетов, а затем и реальных систем помехоустойчивого кодирования.

Далее будут рассмотрены вопросы поиска и разработки кодов, которые наиболее хорошо соответствуют методам МПД и другим связанным с ними алгоритмам. Для этого будет описана другая важнейшая в идеологическом плане проблема новой Оптимизационной Теории кодирования: размножение ошибок (РО) при мажоритарном декодировании. Без её всеобъемлющего решения вопрос о высокой эффективности МПД алгоритмов не смог бы даже возникнуть, т. к. ещё 50 лет назад естественное повторное пороговое декодирование (но отметим: только для известных тогда кодов!) показало свою полную бесполезность [3,6,20,21]. Проблема РО была полностью преодолена в ОТ на основе постановки и решения оптимизационной задачи глобального поиска ещё одного типа [3,6(с.104)], что затем уже вместе с теоремой ОТМПД и создало мощный синергетический эффект скачка роста эффективности МПД при правильном выборе кодов с минимальным уровнем подверженности РО, обеспечившем именно таким образом высокие характеристики этого алгоритма. Минимальная сложность этих МПД с новыми кодами также была сохранена. Так что никакие из миллиардов известных ранее кодов использовать с МПД никогда нельзя, т. к. они работоспособны только при весьма малых вероятностях искажений символов в каналах связи. А это уже давно неинтересно.

Ещё одним ценным выводом из материала основных глав этого Справочника-2 является преимущество фактической бесструктурности кодов для МПД, наилучшим образом соответствующих требованиям критерия ПДС для алгоритмов ОТ. В самом деле, все представленные в этих главах структуры - это СОК коды. Их можно просто описать

таким образом, что для некоторого достаточно длинного массива (регистра) памяти информационных символов, содержащихся в нём, сначала формируется примерно такой же, в зависимости от выбора кодовой скорости  $R$ , первоначально пустой массив памяти для проверочных символов кода. А затем для каждого информационного символа из этого первого регистра случайно выбираются  $J=d-1$  позиций во втором (проверочном) регистре, куда в качестве слагаемых и записываются эти  $J$  значений всех этих информационных символов. И - никакой структуры! Случайный код простейшего типа.

В таком коде, как мы уже убедились, особенно легко находить предельные характеристики для ОД в рассматривавшихся нами каналах. И только для целей их ещё более простого описания, а также для исключения редких случайных попаданий некоторых ошибок сразу в две или в большее число проверок относительно некоторого символа мы добавляем всё же и очень удобное требование о самортогональности проверок, что является давно решенной простой задачей из теории разностных множеств [1,14,44,45]. Ну, а для того, чтобы код был особенно хорошим в плане РО, что будет обсуждаться в следующей главе, иногда переходят к построению СОК кодов с кратными скоростями (с переменными связями), что по существу тоже совсем не является сколько-нибудь сложной задачей.

И под конец этой самой важной главы справочника с описанием основы ОТ - алгоритмов МПД для фактически бесструктурных СОК кодов, сейчас следует указать на то, что теоретики, наоборот, довели разнообразие объектов цифровых пространств до весьма высокого уровня абстракции, иерархичности и совершенства. Уже более 60 лет назад, как мы отмечали ранее, на базе таких важных для математики понятий, как дискретные поля, были созданы многие такие кодовые структуры, которые на тот момент наилучшим образом корректировали ошибки в цифровых данных. За срок до ~1970 года, когда буквально за одно десятилетие алгебраические коды завоевали огромное пространство для своего теоретического развития, появление кодов БЧХ, РС и других конструкций позволило постепенно начать применение методов ТК в технических системах, хотя, конечно, в это время свой путь также активно прокладывал и алгоритм Витерби.

Но чрезвычайно полезно и осознать, что жёсткая конфигурация дискретных полей очень усложняет все работы по извлечению из этих структур тех свойств и соотношений, которые позволяют в таких пространствах строить кодовые множества, а тем более алгоритмы исправления в них ошибок. И это просто удивительно, что математика всё же позволила теоретикам достичь сложности декодирования  $N$ , например, кодов РС даже меньшей, чем квадратичной, т. е. у них  $N < n^2$ . Но ещё большие так и нерешённые никогда уже проблемы возникли у алгебраистов после выяснения принципиальной недостаточности корректирующих возможностей всех кодов на базе дискретных полей и неприступности для них гауссовских каналов, которые в технике кодирования занимают особое место благодаря своей более высокой пропускной способности по сравнению, скажем, с каналами типа ДСК.

Так что для первого стартового этапа развития ТК алгебраические коды были чрезвычайно полезны. Однако их жёсткая конструкция привела к значительной сложности декодирования и слабой корректирующей способности. Именно поэтому бесструктурные СОК коды и декодеры МПД для них, а также АВ смогли решить к настоящему времени практически все вопросы простого и эффективного декодирования при большом уровне шума.

Будем учитывать ориентировку на СОК и бесструктурность кодовых систем при рассмотрении эффективных по критерию ПДС кодов и алгоритмов в последующих главах.

## Дополнение 5 к разделу 6.1.

### Рекомендации к дальнейшим разработкам

В соответствии со сложившейся традицией отметим те новые возможности, которые появляются у разработчиков модификаций алгоритмов МПД и АВ в настоящее время. Для демонстрации единства алгоритмов ОТ рассмотрим произвольный квазициклической достаточно длинный линейный код и обсудим возможные пути работы с ним.

Самым простым методом декодирования с хорошими характеристиками является МПД алгоритм для двоичных и недвоичных (символьных) кодов. Пороговый элемент (ПЭ) тут просто бежит по информационным символам кода и корректирует их в соответствии со своими возможностями. Понятно, что его сложность растёт линейно с длиной кода. Увеличение числа итераций коррекции не изменяет линейного типа сложности. А при выборе кодов по требованиям теории РО результат соответствует решению оптимального декодера (ОД) даже вблизи границы Шеннона, что и позволяет считать, что проблема этого великого учёного средствами ОТ, теории РО, теоремы ОТМПД и технологий ПГЭФ решена.

Обратимся теперь к описанию работы блочного алгоритма Витерби (БАВ) с квазициклическим кодом. АВ начинает работать, как и МПД, с некоторого места и тоже двигается по принятым кодовым символам с той лишь особенностью, что решения относительно переданных информационных символов окончательно формируются далеко сзади, «в хвосте» от места приёма очередных символов следующего кодового подблока. Только на расстоянии пяти- и даже 20-тикратой относительно длины  $K$  полинома свёрточного кода от места текущей работы АВ, т. е. от места приёма очередного кодового подблока можно брать и передавать информационные символы получателю. Но, полагая, что длина всего квазициклического кода ещё хотя бы немного больше, такая большая задержка, т. е. расстояние до тех символов, которые уже можно использовать, не создаёт проблем для самого блочного кода.

А теперь обратим внимание на то, что и АВ тоже пробегает декодируемый код несколько раз, как бы «не зная», что он декодирует некоторые символы, т. е. весь кодовый блок повторно, и в 3-й раз и т.д. Но причины повторного просмотра кода у МПД и АВ совсем разные. МПД сразу определяет значение символа, но лишь немного улучшает своё решение на каждой очередной итерации. А у АВ решение - сразу и правильное! Но зато с большой задержкой. Однако многократный проход сообщения всё равно есть, т. к. задержка решения большая, существенно превышающая степень  $K$  образующего полинома свёрточного кода. И - как жаль! - сложность этого решения как бы «сразу» - экспонента от длины кода.

А из этого описания главных алгоритмов ОТ следуют сразу 2 новых задачи организации декодирования, сближающие эти 2 прекрасных метода и устраняющие, конечно, только частично их основные недостатки.

Первая состоит в том, чтобы немного усложнить работу ПЭ в МПД, что может при правильном балансе новых свойств МПД уменьшить задержку декодирования за счёт снижения количества итераций декодирования. И вполне возможно, что одновременно удастся обеспечить работу МПД при ещё более высокой вероятности ошибки в канале. Если новый так усовершенствованный МПД действительно приобретёт оба эти полезных свойства, то его столь улучшенные характеристики станут основой ещё более качественных алгоритмов следующего этапа развития теории и технологий ОТ. Первые попытки сделать что-то в этом направлении были описаны в конце 4 Главы. Но серьёзные результаты, если они будут, пока впереди.

Что же касается возможностей БАВ, то здесь встает масштабная задача снижения сложности декодирования, которая сейчас, конечно же, очень ограничивает возможности

АВ во всех его модификациях. Отдельно подчеркнём, что само изобретение сильно задержавшегося в своём рождении блочного АВ изъясло (с помощью ещё и МПД, разумеется) из списка «полезных» методов все ранее обсуждавшиеся «почти хорошие», очень нетехнологичные методы типа Чейза и прочие декодеры того же стиля «почти оптимального декодирования» для блочных кодов. Мы уверены, что теперь АВ всех типов ожидают новые области ещё более широкого применения, хотя популярность свёрточного АВ и так очень велика.

Проблема состоит в том, что после открытия 50 лет назад АВ и при очень малом числе действительно интересных экспериментов с ним вплоть до настоящего времени, хорошего понимания возможностей декодеров типа АВ на алгоритмическом уровне ни у кого просто нет. Интереснейшие результаты Форни и целого ряда других блестящих теоретиков по свойствам оптимальных методов [53-57] пока не помогли найти никаких реальных подходов к поиску именно почти идеальных алгоритмов с не очень большой сложностью и, что очень важно, при небольшой задержке принятия решений, которой характеризуются все декодеры АВ.

Так что весьма актуальной остаётся задача декодирования АВ как бы с существенно меньшей сложностью и по возможности с очень небольшим снижением помехоустойчивости. При несомненной ценности теоретических проработок в теории кодирования, которые вывели ОТ на уровень абсолютного лидерства, видимо, очень важная роль в решении такой проблемы АВ, если только это решение возможно в принципе, должно сыграть разнообразное тонкое экспериментирование с различными квазиоптимальными методами. Мы призываем к этому всех специалистов, готовых к созданию самых неожиданных и, тем не менее, всё же поддержанных теорией моделей высокоэффективных алгоритмов с небольшой задержкой, которые могут сказать своё веское слово на следующем этапе развития ОТ.

К этому надо добавить, что пришло время обратить внимание и на методы МПД декодирования несистематических кодов, о чем до сих пор почему-то совсем не говорилось в каких-либо работах и обзорах по методам эффективного кодирования. Несомненно, что даже при наличии дополнительного усложнения процедуры коррекции ошибок и сложности выбора самих несистематических кодов для таких алгоритмов, появление возможности двойного или даже большего снижения размерности проверок в несистематическом коде должно существенно улучшить их вероятностные характеристики при МПД коррекции. Это направление заслуживает как глубокой теоретической, так и гибкой разнообразной экспериментальной проработки.

При получении достаточно высоких характеристик методов этого принципиально нового класса столь важное направление вполне может быть одобрено, как мы уверены, присуждением докторской степени специалисту, который решится на это действительно сложное и важное пионерское исследование.

## **Дополнение 6 к разделу 6.2.**

О требованиях к исследовательским платформам.

Полагая, что стили различных программных платформ (ПП) для разных аспектов исследований в ОТ, объединённые идеей оптимизации, оказываются во многом похожими, ниже мы просто перечислим их самые общие свойства, которые обычно и оказываются теми рекомендациями, которые позволяют весьма быстро разрабатывать новые алгоритмы декодирования и все технологические программы, облегчающие решение этих задач.

К ним относятся:

- максимально широкие границы диапазонов уровней шума, создаваемых при моделировании шумовых характеристик каналов разной природы:

- постоянный контроль и конкурсная взаимозаменяемость различных генераторов шума, многие из которых наша школа аккуратно патентовала;
- простая реализация переменного числа уровней квантования входного сигнала при реализации каналов со стираниями, с АБГШ, ДСК или какого-либо смешанного их типа;
- удобный динамический контроль перераспределения энергии передачи между подканалами различных типов информации;
- простой удобный способ настройки и контроля широты областей квантования сигнала для передачи данных по каналу с АБГШ;
- легкая быстрая настройка количества областей квантования аналогового сигнала в двоичном АБГШ канале;
- быстрая процедура генерации шума с управляемой точностью назначения требуемого уровня шума;
- постоянный контроль за допустимым уровнем периодичности генератора шума, если он не относится к чисто случайным процессам генерации случайных цифровых последовательностей;
- возможность переключения и сравнения качества датчиков случайных чисел (ДСЧ) в процессе экспериментов;
- контроль за нестабильностью ДСЧ и результатов моделирования при использовании декодируемых последовательностей, сопоставимых по своим размерам с памятью кодов или моделируемых декодеров;
- контроль за эффективностью работы всех пороговых элементов в итеративных схемах;
- контроль за процессом улучшения измеряемых характеристики строящихся кодов с низким уровнем РО по темпу улучшения вторичных параметров взаимной зависимости проверочных множеств;
- полный контроль за итоговым уровнем группирования ошибок методом фиксации спектра расстояний между решениями пороговых элементов на критических для проектирования декодеров итерациях декодирования или расстояниях от позиций обработки входящих кодовых символов;
- анализ структуры решений пороговых элементов (ПЭ) на различных итерациях декодирования, включая число изменений контролируемых символов, количество правильных коррекций, числа таких же коррекций при разных уровнях надёжности приёма символов из канала, с учётом спектра правильных и ошибочных решений пороговых элементов конечных итераций декодера;
- проверка основных контрольных соотношений между параметрами кода и алгоритма, в том числе количество ошибок в разных ветвях декодера кода, число итоговых коррекций и их связь с весом синдрома, изменением характеристик декодирования и с контрольным отключением шума в некоторых ветвях кода;
- анализ свойств кода при настраиваемых особым образом параметрах декодера, когда алгоритм при достаточно большом уровне ошибок на входе переходит к своему потенциальному уровню декодирования. постепенно увеличивая число сделанных им ошибок от итерации к итерации, а также для случая, когда он настройками декодера выводится в режим исправления символов из повышенного ложного уровня ошибок декодирования на свой реальный потенциальный уровень коррекции при работе вблизи пропускной способности канала;
- включение и отключение на определённых этапах декодирования тех или иных ветвей декодера кода для целей рэндомизации промежуточных ошибок декодера и повышения таким образом итоговой достоверности декодирования;
- контроль динамики настройки параметров декодера при наборе большой статистики с учётом возможностей ускорения пробега декодируемой последовательности

без реализации процесса повторной коррекции некоторых участков последовательности на основе отключения части итераций декодирования;

- настройка различных типов алгоритмов перебора параметров декодера при адаптации различных групп ПЭ для работы в каналах с большим уровнем шума;

- выбор различных способов взаимодействия алгоритмов при дивергентном декодировании путем вариации расстояний между ПЭ, переключений работающих ветвей кода, выборе номеров итераций, на которых начинают подключаться к процессу коррекции те или иные дополнительные проверки, а также контроль правильности заполнения памяти регистров синдромов;

- проверка декодеров на правильность работы при параллельном каскадировании и при декодировании с внешним кодом по  $\text{mod } q, q \geq 2$ ;

- постоянный контроль за работой различных оптимизационных методов при долгой (многочасовой и более) работе алгоритмов адаптационного типа с целью обнаружения проблем с зависанием процесса и/или его развитием в непрогнозируемом направлении;

- реализация автоматизированных процессов завершения работы алгоритмов, обеспечивающих точную диагностику особых ситуаций, связанных с существенным отклонением результатов от прогнозируемых, завершение особых ситуаций с извещением об их особенностях, а также всеобщий регулярный и постоянный вывод на печать параметров работы алгоритмов, подтверждающий сохранение рабочих назначенных условий работы тех или иных методов;

Подчеркнём, что указанный выше перечень имеет свои специфические особенности при работе различных алгоритмов декодирования, методов выбора кодов, настройки параметров и при формировании результатов и данных, полученных одной программой, в других программных комплексах. Такая полуавтоматическая работа оператора системы ОТ и программных платформ (ПП), используемых им, значительно повышает динамику исследований и не приводит к излишне сложным разработкам дополнительных необходимых программных средств.

Снова вынужденно напоминаем, что сейчас такой стиль работы в ТК является единственно правильным взаимодействием разветвлённого программного обеспечения с оператором-исследователем, который в своих изысканиях непрерывно руководствуется разнообразными строгими и понятным теоретическими построениями и технологиями ОТ, как и своей интуицией или даже воображением.

Перечислим далее только основные типы программ, которые созданы и успешно работают при исследованиях в ОТ.

Это блочные и свёрточные модели:

- программ МПД для гауссовских каналов и ДСК с использованием везде возможностей подключения параллельного и последовательного каскадирования с кодами контроля по  $\text{mod } 2$ , а также настроек дивергенции, неравной защиты символов и неравномерной энергетики для гауссовских каналов с разными деталями в грациях квантования и для ДСК;

- программы исправления искажений в стирающих каналах, в том числе с каскадированием;

- программы исправления смешанного потока стираний и ошибок с использованием кодов в каналах разного типа;

- программы моделирования символьных кодов, причём, некоторые из них - с параллельным каскадированием, а также с последовательным каскадированием с кодами контроля по  $\text{mod } q$ ;

- программы проектирования кодов с разной степенью подверженности эффекту размножения ошибок (РО);

- программы анализа начального спектра весов блочных и свёрточных кодов, декодируемых средствами коррекции ошибок, относящихся к ОТ;

- программы оценки сверху и снизу реальных корректирующих возможностей линейных кодов вблизи пропускной способности каналов связи;
- программные средства сжатия данных для бернуллиевских источников в шумящих и бесшумных каналах передачи данных;
- обширный класс программ моделирования работы свёрточных и блочных версий АВ с методами их синергетического взаимодействия с МПД алгоритмами, в том числе при использовании каскадных конструкций различного типа с двоичными и символьными МПД.

Материал этого раздела даёт достаточно полное представление о методах и технологиях работ по созданию новых эффективных декодеров для каналов разных типов. Разработка таких программных средств небольшим коллективом сторонников ОТ свидетельствует о хороших возможностях создания вполне эффективных систем кодирования в сжатые сроки. Тем не менее, формирование достаточно масштабных технологичных систем проектирования и моделирования, как мы уже писали, требует значительного времени и огромных усилий. Научная школа ОТ работала над теоретическими основами новой теории кодирования на базе ОТ и над созданием описанного выше прекрасно функционирующего ПО более 50 лет.

### **Дополнение 7 к разделу 6.3.**

Обзор текущего состояния прикладной теории кодирования  
(ссылки по тексту даются на литературу Справочника-2, вставка один)

Существенной особенностью наблюдаемого нами кризиса прикладной теории кодирования оказалось то, что он является глобальным. Многие сотни публикаций российских специалистов в зарубежных изданиях, на чем абсолютно категорически настаивают некоторые (крайне неумные) чиновники, не смогли поспособствовать ни развитию прикладных методов теории кодирования за рубежом, ни подтолкнуть или как-то развернуть в правильном направлении, например, к ОТ, этот процесс у нас.

Весьма удивителен также резко падающий уровень общей культуры и восприятия окружающего мира у самих работников исследовательской и разрабатывающей сферы, если уж не использовать тут термин «научный» для этого слоя нашего интеллектуального социума. Важнейший аспект этого падения уровня общего развития и конкретного профессионализма людей, вроде бы формально принадлежащих к научно-технической прослойке производительных сил, сейчас таков, что околонучные кадры заняты, в основном, вынужденно, только своим выживанием. Вопросы качества, достоверности итогов выполненных работ и репутации сейчас мало кого волнуют настолько, что эти моральные критерии уже почти и не проявляются в текущей научно-организационной и публикационной деятельности. С этим же связано и теперь уже полное отсутствие в научной периодике регулярных статей о текущем общем состоянии дел в ТК. Фактически их никто не может писать, поскольку практически у всех потенциальных авторов таких сложных работ сейчас просто очень сильно не хватает квалификации. Все эти люди мало что знают и знать не хотят. И при этом не очень частые обзорные публикации по прикладным вопросам ТК нашей научной школы ОТ воспринимаются почти повсеместно очень агрессивно, что совсем не способствует восстановлению необходимого высокого уровня исследований в этой сложнейшей отрасли знаний цифрового мира. Надо ли упоминать, что наиболее одиозные субъекты, авторы абсолютно неприемлемых «достижений», ни разу за эти многие кризисные годы не были призваны к ответу?

Полное равнодушие и слабая ориентация даже редакций ведущих журналов и издательств в цифровой тематике также весьма часто приводит к публикациям слабых и даже в принципе абсолютно ошибочных «трудов». Формальные официальные очень жёсткие требования к научным сотрудникам публиковать большое количество работ за

рубежом, где реальный уровень прикладных научных достижений в ТК на самом деле тоже очень невысок, а затраты сил и различных ресурсов наших специалистов на такое «геройство» всегда очень велики, ещё более усложняет всем нам работу в науке.

Такая ситуация создаёт прекрасную среду для того, чтобы, как грибы после дождя, в разных местах возмещали о себе «доктора наук» по тематике ТК, защищавшиеся в спецсоветах, в которых не было ни одного реального (!) специалиста или оппонента, написавших хотя бы раз что-то содержательное на тему алгоритмов помехоустойчивого кодирования. Это неудивительно, если обратить внимание на то, что и из наших как бы главных «цитаделей науки» идут в мир такие «диссертации» по отдельным темам теории кодирования, что по этим конкретным проблемам не было опубликовано ни единой статьи «корифеев» из самих этих «цитаделей». Тем не менее, именно там с «разрешения» тех самых местных «корифеев», в этих конкретных темах ничего не понимающих и теории ОТ не знающих, уже давно выдают таким «новым докторам» совершенно «липовые» путёвки в жизнь.

А фальшивыми такие защиты и выданные докторские дипломы оказываются последние десятилетия лишь по той простой причине, что все как бы решавшиеся в тех «диссертациях» прикладные проблемы, т. е. описанные, но никогда не созданные теми соискателями алгоритмы декодирования оказываются на два и более порядков сложнее и менее эффективными, чем конкретные методы, в начале этого тысячелетия даже уже помещённые в первый в нашей стране справочник по кодированию [1], изданный нашей школой под научной редакцией члена-корреспондента РАН Ю.Б. Зубарева и во многие монографии школы ОТ с участием академиков РАН [3-9], доступные на трёх наших сетевых порталах. Очень много полезного и неузнанного теми «докторами» есть также в пятистах статьях и обзорах научной школы ОТ. Однако же эти откровенные неучи обычно заявляют, что справочник, обзоры, монографии и статьи они не видели, а про ОТ они и знать ничего не хотят вообще. Ну, об этом они ещё вспомнят.

Невероятно! Но причина этого организованного странного «конвейера умолчания» состоит просто в том, что обитатели этих «цитаделей» просто решили нигде и никогда не замечать монографий и статей по ОТ, не допускать их в свои журналы и не рекомендовать их к публикации в зарубежных изданиях. Они ~40 лет признают только аналитические результаты, которые уже давно абсолютно ничего не стоят, т. к. в ТК, о чём мы давно пишем везде и в этом Справочнике-2, никогда вычислить достоверность и сложность нельзя, т. е. вся их «аналитика» - скучный блеф. А экспериментальные давно проверенные теорией ОТ результаты для МПД декодеров те адепты прежней «классики» просто совсем не понимают и потому решили их просто не замечать. А что!?! Удобно. И ведь им в условиях полнейшей бесконтрольности это уже очень долго удаётся! Но именно из-за этого настоящая наука в сфере ТК у них давно остановилась. Изучать что-то, созданное не в «цитаделях», не контролируемое никем такие вот «корифеи» уже 40 лет не желают и никто им тут не указ. А эксперимент они в принципе отвергают, хотя никаких формул для большого шума они никогда ни у кого не видели, сами не выводили и никогда в будущем не получат. Очень хорошо последствия такого антинаучного экстремизма описаны в [27], да и у нас в [21]. В «цитаделях» так и не понимают, что прикладная ТК вовсе не математическая проблема, а цикл разнообразных задач из области теорий поиска глобального экстремума функционалов (ПГЭФ). И все они уже полностью решены адекватными именно этой науке средствами, но на основе ОТ.

Понятно, что выигравших в подобных ситуациях не бывает. Да ведь ещё пострадали и поверившие зарвавшимся «корифеям» «полярники», которым, возможно, разрешили нашу ОТ совсем «не замечать». Вот они и «приехали»! Но за 7 лет критики полярных кодов, переходящей из-за полного непонимания реальной ТК их промоутерами в крупные скандалы, никто из российских представителей этого неудачного антинаучного

и нетехнологичного направления не исправил ситуацию предъявлением хотя бы одной реальной разработки по полярным кодам, которую можно было бы спокойно полностью проверить в рабочем порядке. Мы даже не просим, чтобы такой пример был сопоставим с нашими рекордными результатами по критерию ПДС. Пусть будет любой! Но ничего так и нет. И - не будет!

В зарубежье нашлись ещё и другие, свои причины не публиковать статьи нашей школы ОТ. И всё же три монографии весьма прилично и уважаемого формата на английском у нас-таки есть! Но опустим это. А тут мы подходим к самому странному, на наш взгляд, обстоятельству, которое теперь, в период погружения всего мира, а значит, и науки в цифровизацию, кажется абсолютно неправдоподобным. Но сейчас всё же очень похоже, что весь мир, включая и околонаучный, просто совершенно разучился писать программы! Вообще-то эта ситуация ещё более походит на такую, когда основная часть нашего «такого умного мира» и совсем не училась никогда этому крайне непривлекательному и очень изнурительному ремеслу. Настоячиво гулявший в последние годы того тысячелетия в общественной и учебной периодике призыв «Программирование - вторая грамотность!» давно и навсегда утерян благодаря мессенджерам, смартфонам и многим другим сложным социальным обстоятельствам. Всё это хорошо подтверждается текущим быстро ухудшающимся качеством софта всего того множества цифровых устройств, компьютеров и услуг, с которыми мы все сильно мучаемся уже несколько десятилетий.

Но самым удивительным оказывается то, что, как нам кажется, во всём мире до сих пор нет действительно широко и хорошо подготовленных в плане теории кодирования специалистов, которые могли бы ещё и сами писать и отлаживать программные модели алгоритмов декодирования или, в крайнем случае, умели бы плодотворно сотрудничать с действительно эффективными в плане разработки и отладки программистами.

У нас нет иных объяснений этой странной ситуации. Но, тем не менее, все задачи, возникавшие у членов научной школы ОТ за эти 50 лет упорной работы в прикладной (!) теории кодирования были решены у нас только на основе теоремы ОТМПД, технологий ПГЭФ и теории РО, даже прикоснуться к которым в течении полувека не смог ни один научный коллектив в мире, занимавшийся задачами ТК. А почти все методы ПГЭФ - это фактически интеллектуальные оптимизационные программные системы, разрабатываемые, разумеется, под руководством и полным контролем теории ОТ. И других возможностей тут, как это обычно и бывает с задачами ПГЭФ, просто вообще нет. Никаких фантастических формул, которые давали бы обозримые решения каких-либо масштабных проблем из теорий ПГЭФ, не бывает вообще! А поэтому: - ни одного свободно доступного примера программы какого-либо алгоритма, по которой можно определить все параметры критерия ПДС для тех «сказочных», но в реальности не существующих декодеров у многих десятков «новых докторов» и батальонов таких же никаких «кандидатов»!

Вообще вся прикладная теория кодирования сейчас являет собой удивительную проблему, не имеющую ни для каких типов своих каналов каких-то аналитических формульных выражений, что и вывело школу ОТ на путь использования в своей работе по созданию новых декодеров различных программистских технологий, которые сразу стали давать все оценки параметров единого критерия ПДС, совершенно недоступные прежней крайне математизированной теории. Все они описаны в наших восьми монографиях с участием академиков РАН, причём три из этих важнейших для теории кодирования книги изданы на английском, в том числе, после серьёзной экспертизы, - Международным союзом электросвязи (МСЭ/ITU) в юбилейный 2015 год этой всемирной телекоммуникационной организации, работающей под эгидой ООН.

Но мало этого, изначальная предельная простота многопороговых методов и их стремление к решениям ОД в гауссовских каналах, ну, просто явно давно напрашивались

на то, чтобы их заметили и оценили. Однако же этого не сделал до сих пор ни один научный коллектив в мире. И это тем более странно, что никакие ныне известные другие методы даже не приближаются по параметрам абсолютно обязательного критерия ПДС к возможностям алгоритмов ОТ. Ясно, что это происходит просто потому, что все характеристики МПД алгоритмов могут быть получены исключительно с привлечением соответствующих программных средств, пусть даже и простейших. Но после 60 лет как бы «развития» в нашей стране теории кодирования - такого ПО, как получается, ни у кого нет!?!? А чем же тогда были заняты столько десятилетий эти тысячи людей, шумно рекламирующие себя «учёными» в нашей области цифровых знаний?

Другое невероятно странное обстоятельство состоит в том, что СтМПД декодер для стирающего канала, созданный школой ОТ, даже не потребовалось придумывать. Оказалось, что нужно просто много раз использовать исходную схему, практически уже почти предложенную в книге Мессе [14] 60 лет назад. Ну, конечно, для того, чтобы СтМПД смог работать совсем близко около пропускной способности канала, и для этих кодов тоже следует обязательно использовать результаты теории РО. Но, как известно, повторные попытки обычного декодирования в ДСК довольно долго пытались изучать и улучшать, хоть и безуспешно, а вот о многократных попытках восстановления символов в стирающих каналах мы нигде не читали. И тоже очень странно. Ну, что ж! Вот поэтому и декодеры в стирающих каналах на уровне самых лучших параметров критерия ПДС тоже сделали и запатентовали именно мы.

И совсем уж необычной оказалась судьба у символьных кодов. Хотя пороговый декодер для двоичных (символьных) кодов был сначала предложен тоже Дж. Мессе, после его неоправданно суровой критики таких кодов с мажоритарным декодированием в [14], это направление было брошено вообще всеми исследователями на многие последующие годы. Но напомним, что о сходимости двоичных мажоритарных методов к решению ОД из-за полного непонимания свойств синдрома никто за пределами школы ОТ не догадывался предыдущие «тысячи лет» [4,6,7,21]. Этого, как мы видим, абсолютно никто не понимает и сейчас. Вот поэтому и получается, что тот крайне нужный простой, но уже чуть-чуть другой двухпараметрический пороговый элемент для двоичных (символьных!) пороговых элементов (QPЭ) тоже мог быть открыт ~40 лет назад только нами, что мы и сделали. QМПД тоже стали методами с линейной сложностью от длины кода и с оптимальным декодированием специальных кодов, также обязательно отображенных по критериям теории РО.

Разумеется, школой ОТ все перечисленные результаты всегда полностью публиковались. И, тем не менее, при всех тех настоятельных пожеланиях, высказывавшихся в конце ещё того тысячелетия о необходимости изобрести, наконец, хорошие декодеры для двоичных кодов, никаких публикаций о наших символьных кодах, полностью решивших уже 40 лет назад все проблемы наипростейшего фактически оптимального декодирования специальных двоичных кодов для систем связи и хранения данных, кроме наших, нигде в мире нет! А ведь они очень важны для сетей телекоммуникаций и систем памяти, но публикаций про них до сих пор нигде в мире тоже вообще нет. Совершенно непостижимые по сложности методы для турбо и особенно LDPC декодеров для двоичных кодов (см., например, [10]) ещё некоторое время продолжали появляться, но потом ничего такого, на что хотелось бы обратить внимание, мы больше уже не находили.

Ну, ладно, многие декодеры для LDPC оказались неудачными. Но ведь никто даже просто не повторил наших очень понятных и лёгких для реализации, например, на C++ символьных МПД алгоритмов. И даже более того, уже более 20 лет на наших двуязычных сетевых порталах, число которых понемногу растёт, помещены десятки демопрограмм, в том числе и по «символике». Данный Справочник-2 тоже является прекрасной демонстрацией их готовностью к проверке и работе. Но и результатов, полученных на тех свободно лежащих «в шаговой доступности» программных

платформах, мы тоже ни разу нигде не увидели. Очень многие демопрограммы, представленные в предыдущих разделах нашего справочника, специально предназначены для иллюстрации действительно крайне лёгкой реализации процедур декодирования для МПД всех типов. А на примере демопрограммы **4-QuickQmtd** блокового символьного кода мы показали, что примерно за час такие декодеры могут набрать статистику размером до миллиардов битов на самой обычной компьютерной технике. И куда уж проще! Но всё равно никаких публикаций, кроме наших, - нет!

\* \* \* \* \*

К нашему большому сожалению, шумные обсуждения «нового» направления полярных кодов и российских «достижений» в этом сегменте прикладной теории кодирования ещё более осложнили работу многих специалистов в ТК за последнее десятилетие. Все аспекты этой «теории» мы пока считаем странными, нелогичными и очень противоестественными, сильно отличающимися в худшую сторону как от нашей концепции, так и даже от уровня предыдущей математизированной теории (см. наши ссылки на обзоры [6(с.243),21,25,27,29,30,80(с.8 и т.д.)]). Доступные в сети авторефераты всех суперстранных «диссертаций» по этой тематике, где «соискатели» прямо с первых страниц начинают в весьма трагичном стиле жаловаться на множество разных недостатков полярных кодов, тоже сразу производят крайне негативное впечатление. А почти искренние их сожаления об отсутствии хороших декодеров просто умиляют, вызывая страстное желание переслать им справочник [1] и какую-либо из наших монографий, где все заявленные ими в своих «диссерах» (*простите за сленг, - иначе не получается писать про такое вот эдакое*) мечты они могли бы уже найти в наших книгах. И совсем не мучиться с защитами!

Будем надеяться, что им поможет хотя бы наш новый Справочник-2. Посмотрим.

А пока никакие методы для полярных кодов у нас в стране не были ещё ни разу предъявлены, по меньшей мере, *нашими отечественными авторами* в доказательном понятном виде, позволяющем осуществить их полную проверку, например, хотя бы программную. Некоторые из рекламировавшихся алгоритмов для «поляров», как мы их оценили, оказались сложнее аналогичных декодеров ОТ до десятков тысяч и в отдельных случаях иногда до  $\sim 10^6$  раз. И там вообще не было никаких корректно выполненных оценок характеристик, что абсолютно чётко неоднократно фиксировали все оппоненты на защите одного их таких крайне неудачливых «пионеров» науки. Да. Пропащая тема. А не надо было слушать понятно каких «жорифеев»! Над ними-то не капает. (Пока)

Опубликованный именно нашими отечественными «поляриками» в журнале «Электросвязь» летом 2021 года «обзор» по ТК стал печальной иллюстрацией продолжения разрушительной деятельности некоторого числа «блогеров от науки», лишённых всякого внешнего контроля, а также внутренней морали и просто хоть какой-либо разумности в поведении. Они в этой «чудо»-статье опять не удосужились хотя бы раз упомянуть об ОТ и справочнике 2004 года, как и в своих диссертациях, написанных через 30 лет после полного создания теории ОТ. Это весьма непристойное для всё ещё очень хрупкой прикладной теории кодирования событие лишь подчёркивает всеобщность катастрофы прежней ТК и её последней несбывшейся афёры - полярных кодов.

Проблема журналов, публикующих подобные чрезвычайно опасные и вредные глупости, заслуживает отдельных суровых и абсолютно обязательных для выполнения административных решений. Специалисты, заинтересованные в преодолении кризиса нашей драматически неуспешной отрасли науки, могут проанализировать часть этапов совершенно неприличных скандалов вокруг полярных кодов, организованных людьми, которые должны быть лишены всех своих «дипломов». Удовольствия от такого чтения не будет никакого. Но всех «артистов» таких разных и всё же очень одинаковых жанров халтуры нужно обязательно знать и уметь без сожаления от них навсегда избавляться. Эта крайне неприятная обязанность всех нормальных честных специалистов в области ТК. Но это нужно сделать. Указанную переписку по поводу «поляров» можно найти на

нашем именном сайте <https://decoders-zolotarev.ru> на странице «Антиполяры» [86]. Дополнительные важные критические замечания по состоянию прикладной теории кодирования делались нами в [6(с.243),21,25,30,43] и в других наших обзорах.

Возможно, что наш комментарий по поводу упомянутого выше, так сказать, «обзора» в «Электросвязи» будет можно будет посмотреть по гиперссылке [87].

### **Дополнение 8 к разделу 6.3.**

*(Вторая вставка в обзор в Интерактивные дополнения Справочника-2)*

**Обзор текущего состояния прикладной теории кодирования**

...В этом году Нобелевский комитет сумел удивить: ни один лауреат не значился в списках кандидатов, которые составляют авторитетные эксперты. А ведь в их руках, казалось бы, надежный инструмент - число ссылок на публикации. Но не сработало, у комитета другие предпочтения... /а как же Хирш, Скопус, квартили и протчая, и протчая....?/;

...Исполнительный директор Нобелевского фонда Михаэль Сульман рассказывал, что архивы выявили закономерность: россияне своих соотечественников на премию практически не выдвигают. Это делают иностранцы. (А у нас, действительно, как это уже многократно проверено: «Ну, если не я, то и не ты»!)... /такое признание Президиума РАН ох, как разрушительно и не вовремя!/

...И всё же, финансирование рабочего места одного учёного у нас в 10 раз меньше, чем в ведущих странах. Тут не до «нобеля», чудес не бывает. Конечно, известны случаи, когда научный прорыв произошёл благодаря воле случая, но это большая редкость.

Решающим фактором в работе ученого является научное оборудование (правда, мы думаем, что ещё и голова); /Да, мы абсолютно солидарны с этой правильной оценкой. Но именно это в РАН уже давно совсем не ценят. Например, сейчас, в ноябре 2021 года напряженно, упорно и аполне последовательно решается проблема увольнения руководителя школы ОТ; «процесс пошёл»! А по поводу в 10 раз меньшего финансирования у нас это всё гораздо ярче смотрится. Автор Справочника-2 20 лет получает примерно зарплату уборщицы из клининговой компании, которая раз в месяц убирает (или нет!) его кабинет. Ну, это отношение немного «плавает»: то половина от её дохода, то полтора, но ни разу не 2. А про всё прочее ещё лучше. Единственный ноутбук, выданный автору в период «безрыбья» был некондиционным, о чём его сразу и предупредили. И не обманули. Ноутбук 3 недели настраивался на решение задач по ОТ. Но на четвёртый месяц работы в Институте он просто совсем погас. Ну, какие претензии!?! Некондидия ведь!/;

...Нобель писал, что надо награждать за новейшие разработки, и на первых порах так и было. А потом сроки между открытием и награждением стали увеличиваться, сейчас 20-30 лет - почти норма. А рекорд - вообще 55 лет. Может, премия смотрит в далекое прошлое?

/ Не, мы не успеем; так ведь и работаем-то мы не за страх, а за совесть/;

...Вначале премии действительно присуждали довольно быстро, но поняли, что бывают серьезные промахи. Кроме того, наука постепенно усложнялась, сегодня многие открытия совершаются в ходе очень сложных и тонких экспериментов /а это - про нас!/. Результаты надо несколько раз перепроверить в других коллективах, подтвердить на

большом числе опытов. И конечно, значимость открытия должна быть понятна, что бывает далеко не очевидно. Требуется время. /О! ДА!//

Современным ученым, наверное, можно даже посочувствовать. У Эйнштейна был узкий круг соперников, а современным ученым, чтобы стать лауреатом, надо конкурировать с целой армадой первоклассных специалистов... /Ан нет! У школы ОТ нет конкурентов. Опережение составляет, возможно, ~30-40 лет. Монографий с академиками десятков и статей у сторонников школы почти полтысячи в главных журналах. И – всё! Но - ни-че-го! Почему? Не угадаете. Никто ничего не читает! А значит, и результатов у нас как бы нет/;

...Немецкий физик Арнольд Зоммерфельд является своеобразным рекордсменом. Его номинировали на премию 84 раза, но он так ее и не получил. Зато семь его учеников впоследствии ее получили. /Нет. Мы не рекордсмены. Мы – только 5 раз. Но – всё чисто по нулям. И, конечно. Это мы – про РАН. А на «нобелевку» кто-то ради науки про нас напишет? Увы./;

Всё с цитированием! Покончили!

Так что мы просто работаем дальше, поскольку, как спокойно призналась в этой газете РАН, мы - не они. И это действительно именно так. Финансирование есть, но небольшое. Один наутбук в 15-20 лет, если повезёт (не повезло!), а благодарности или хотя бы просто поздравления на юбилей – это если отработал 40 лет. Таково у нас.

Хотя мы решили важнейшую для науки, техники связи, цифрового общества и РАН задачу, ценность которой даже не требуется подтверждать, т. к. для РАН это аксиома, тем не менее, РАН нас совершенно «не видит» уже 35 лет вообще. Мы для них - лишние хлопоты и тайна, хотя наша тематика была до недавнего времени первым пунктом у них в программе исследований!!! Так что мы можем абсолютно спокойно работать дальше. Обращать на нас внимание и, может быть, даже мешать - скорее всего, не будут. Ну, или - довольно редко.

Правда, вот на конец 2021 года пока что оказывается, что у них это ещё и метко: скорее всего, не позже марта они от школы ОТ избавятся окончательно.

## **Дополнение 9 к Разделу 6.4**

### **Дополнительные материалы по ОТ для будущих лидеров современной теории кодирования**

Подготовленные нашей научной школой ОТ по итогам длительных обсуждений ещё восемь программных пакетов могут служить хорошей поддержкой специалистам нового времени в разработке ещё более простых систем декодирования, а также быть ориентирами для оценок масштабов необходимых разработок теории ОТ и методов ПГЭФ, которые пока только единственные и могут обеспечить дальнейшее развитие реальной инновационной технологии в прикладной ТК.

Все дальнейшие краткие тексты служат только иллюстрацией возможностей ПО, созданного в рамках ОТ. Продвинутые специалисты ТК, знающие и приёмы программирования, могут брать за основу некоторые программы или их фрагменты и далее развивать их по своему усмотрению.

Итак, папка №15 -называемая 15-mtdbsc - это самый простейший блочный декодер МПД для ДСК, который показывает характеристики коррекции ошибок и

работает менее минуты. Эта система моделирования МПД – работающая простейшая полнофункциональная программная платформа вместе со своим листингом. Её можно произвольно изменять в рамках возможностей пакета VC++ 6.0 или близкого к нему другого средства. Текст платформы изобилует внутренними комментариями, которые помогают понять функции отдельных блоков программы и отлично демонстрируют предельную лёгкость реализации МПД. Для максимальной простоты в программе нет файла входных данных. При отсутствии системы VC++ 6.0 программу можно запустить, как и другие **exe**-модули в папках с номерами 16÷21 далее, непосредственно дважды кликнув на EXE-модуле в папке «Release». Но тогда без системы VC++ 6.0 будет нельзя менять никакие параметры декодера, определённые в листинге. Эта самая простейшая рабочая программа с МПД для ДСК очень удобна для понимания основ реализации простейших МПД декодеров и для обучения минимальному удобному выводу данных на печать, позволяющему, однако, получать абсолютно все главные параметры работы алгоритма. Собственно **exe**-модули мы для этого также вынесли почти везде в общую папку каждого конкретного пакета, что дополнительно облегчает работу со многими нашими модулями при отсутствии у читателей системы VC++. Но она или подобные ей системы безусловно крайне полезны.

Скорость работы этих и вообще всех программных модулей определяется тем, сколько дополнительных контрольных функций выполняется в процессе моделирования. Реальную производительность МПД в гауссовских каналах мы уже показывали на макетах программ с номерами 2 и 13. Можно указать также на программы калибровки, которые для  $d \sim 9$  и числа итераций  $I \sim 10$  декодируют потоки в гауссовских каналах на процессорах Core-i7 с частотой  $\sim 3$  ГГц со скоростями до  $6 \div 8$  Мбит/с, затрачивая на каждый символ около 100 простейших операций сложения и сравнения небольших целых чисел.

А у всех прочих наших программ, относящихся к обычным рабочим пакетам для исследований, тестовые и контрольные модули не отключались полностью или совсем не убирались. Поэтому у них могут быть различные текущие значения реальных именно для них скоростей декодирования. Но наш опыт показывает, что и этого уровня производительности при тех высоких достоверностях, которые обеспечивают МПД алгоритмы, вполне достаточно, чтобы сравнивать любые методы с МПД декодерами, как мы не без основания полагаем, при сохранении большого преимущества алгоритмов ОТ. Скорость конкретного модуля №15 близка к 2 Мб/с для типичного ПК. Для АВ алгоритмов ситуация аналогична, в том числе и с учётом возможностей БАВ.

Пакет **№16** демонстрирует работу алгоритма МПД в стирающем канале непосредственно вблизи пропускной способности этого канала  $C=0,5$ . Характеристики этого метода были приведены [5,6,21], а также в разделе 4.6 данного справочника. В папке **16-00erase-05** находятся **exe**-модуль, входной массив для специального СОК кода с малым уровнем РО и  $d=25$ , называемый **00erase.exe**. Инструкция к модулю находится внутри папки. Она предельно простая.

Сравните полученные вами результаты МПД для стираний и данные, представленные в указанных выше в этом же абзаце работах. Все они доступны по гиперссылкам. Скорость работы близка к 70 Кбит/с на обычных ПК. Подчеркнем, что здесь снова показано конкретное решение проблемы Шеннона простейшими давно запатентованными способами.

Пакет **№17** стал когда-то для разработок в ОТ действительно итогом очередного важного этапа создания двоичного МПД для работы вблизи границы Шеннона. Возможности МПД, созданного на базе ОТ с использованием многих программных ресурсов, представлены во многих публикациях школы ОТ [5,6(с.164),21,26,62]. Это именно тот декодер, который работает при  $R=1/2$  и  $E_b/N_0 \sim 1,2$  дБ. Инструкция по запуску прилагается.

Папка **№18** относится к символьным МПД также с рекордными характеристиками [5,6(с.168),21,26,62]. Напомним снова, что ещё 35 лет назад они были опубликованы в академической периодике АН СССР [37] и уже с тех пор полностью заменяют коды Рида-Соломона (РС) во всех приложениях. Инструкция прилагается.

И, наконец, папки **№19**, **№20** и **№21** относятся к тем реальным работающим исследовательским полным комплектам программных платформ, которые сторонники школы ОТ сами активно используют в своей повседневной работе. Их возможности позволяют рассматривать и анализировать многие принципиальные свойства, о которых до сих пор даже и не подозревают сторонники прежней завершившей свой цикл теории.

Подчеркнём также, что даже частичное освоение технологий программных платформ **№1** ÷ **№22** (с учётом папки с лабораторными работами **№22**) позволит практически любому специалисту в дальнейшем успешно решать все проблемы повышения достоверности цифровых потоков для современных сетей и систем связи.

\* \* \*

Мы были вынуждены уместить весь уникальнейший сложный и важный опыт научной школы ОТ, приобретённый за более, чем полувековой период интереснейшей пионерской работы, в менее, чем две сотни книжных страниц. Полностью понимая, что это абсолютно нереально, наша школа всё-таки верит, что это нам удалось хотя бы частично.

**Научная школа Оптимизационной Теории**

**и**

**автор**