

От научного редактора

Широкое использование систем формирования информационных потоков и их обработки, а также хранения, восстановления, сопровождения и передачи по разнообразным каналам связи является основой нашей технологической цифровой цивилизации. Её информатизация достигла уже весьма высокого уровня и продолжает интенсивно развиваться.

В этой монографии изложена полная теория и представлены масштабные высокоинтеллектуальные программные средства исследования сложных оптимизационных задач, которые позволили её автору полностью решить великую проблему Шеннона, поставленную им более семидесяти лет назад перед будущим информационным сообществом в своей исторической для судеб теории кодирования статье «Математическая теория связи». Как руководитель небольшой российской научной школы Оптимизационной Теории (ОТ) помехоустойчивого кодирования профессор В.В. Золотарёв совершил, безусловно, настоящий научный подвиг, разрешив вместе с членами своего небольшого коллектива практически все теоретические проблемы и подготовив необходимые технологии для решения главной прикладной задачи этой отрасли науки — проектирования и создания алгоритмов декодирования для всех классических моделей каналов, рассматриваемых этой сложной многокомпонентной теорией.

Простому изложению всех этих решений сложнейших, как они оценивались ранее и до сегодняшнего дня всеми специалистами, задач в сфере теории кодирования и посвящена эта столь необычная книга. Для каждой из рассмотренных в монографии проблем автор нашёл столь удобные, наглядные и теперь уже совершенно очевидные для мыслящих специалистов решения, что все технические параметры его алгоритмов естественно оказываются вообще наилучшими возможными для методов декодирования как при программном, так и при аппаратном вариантах их реализации вплоть до областей шума канала, близких к границе Шеннона. И подчеркнём, что, тем не менее, эта задача в своём полном объёме и по сей день оставалась на нашей планете абсолютно неприступной для всей многомиллионной армии специалистов в сфере кодирования в течение последних пятидесяти лет.

Однако оценить всю философскую, научную и технологическую глубину и совершенство решённой автором этой монографии проблемы можно, только поняв масштабы кризиса, в котором много десятилетий прозябала вся теория помехоустойчивого кодирования. Поэтому

вернёмся сначала к общей ситуации последнего времени в этой важнейшей для нашей цифровой цивилизации отрасли науки.

Научная информатика осваивает всё более широкие области современных цифровых технологий, активно внедряется в разнообразные системы мониторинга природы. Но проникновение цифровой идеологии во все стороны жизни современного человека сопровождается и серьёзными кризисными явлениями. Более того, масштабы этого кризиса в некоторых основных сегментах теории информации стали воистину беспрецедентными, затяжными и беспросветными.

Основные трудности информатики долго нарастали в сфере самых основ теории информации и в той её сложнейшей и, конечно же, интереснейшей (!) части, которую составляют теория, технологии и алгоритмы помехоустойчивого кодирования. Несмотря на очень большое число специалистов, которые, вроде бы, занимаются развитием методов простого декодирования цифровых потоков в очень дорогих дискретных каналах, можно считать, что, кроме полезного периода освоения алгебраических методов помехоустойчивого кодирования около 60 лет назад, все последующее полвека успехи теоретиков практически были равны нулю. Но при этом наблюдался просто вал публикаций как в виде статей, так и огромного числа монографий, которые иногда очень по-своему излагали совершенно очевидные вещи, но претендовали на большой вклад в науку, хотя их реальные прикладные результаты практически ничего не меняли по существу вопроса.

Нерешённые проблемы этой главной науки цифрового мира продолжали накапливаться, что в значительной мере определялось и тогда, и сейчас абсолютной приверженностью большого числа учёных, работающих в этой сфере, алгебраическим основам этой теории. Однако на самом деле алгебраическая теория за многие годы своего очень условного лидерства не решила вообще никаких основных проблем своего развития: не нашла простых способов коррекции ошибок выше уровня половины кодового расстояния, не преодолела трудностей декодирования блоковых кодов в гауссовских каналах, а также не вышла на линейный от длины кодов уровень сложности алгоритмов коррекции ошибок, что, конечно же, тормозило и развитие цифровой техники. Значительные трудности были у алгебраистов и при анализе свёрточных кодов. Кроме того, их неспособность уже более полвека найти хоть какие-либо методы коррекции для недвоичных кодов, которые оказались бы лучше тех, что были предложены 60 лет назад для кодов Риды — Соломона (РС), совсем разуверила инженеров-связистов в возможности появления каких-либо новых результатов и в этом кластере параметров. А ведь это исключительно важная сфера

применения кодов в вычислительных системах, поскольку цифровые фото, музыка и ТВ используют как раз недвоичные, байтовые массивы информации.

На этом фоне явного кризиса теории появление в 1967 г. алгоритма Витерби (АВ) для свёрточных кодов можно считать воистину настоящим спасением теории кодирования в своём важнейшем прикладном аспекте, поскольку схема с формально экспоненциальным с длиной кода ростом объёма вычислений декодера обеспечила сразу столь высокие характеристики, которые оказались вполне достаточными для почти всех систем связи в течение многих последующих десятилетий. Правда, АВ мог быть реализован и тогда, и сейчас только для коротких кодов.

Напомним, что полезность применения кодирования, мера его эффективности, например, в технике связи при передаче двоичных данных обычно определяется параметром энергетического выигрыша кодирования (ЭВК), который просто характеризует величину кажущегося увеличения мощности передатчика системы связи, использующей хорошие методы кодирования и, главное, последующего высокодостоверного и быстрого декодирования принятого цифрового потока. А поскольку этот эффект может достигать величины 3, 5, 10 и даже более раз (свыше 10 дБ), то становится понятной исключительная важность применения кодирования, которое просто «дарит» системе связи столь большой ресурс по мощности передатчика. Этот большой прирост доступной связистам энергетики создаёт возможность существенного повышения скорости передачи цифровых данных, значительного снижения размеров очень дорогих антенн, многократного увеличения дальности связи и улучшения на много порядков достоверности принятой информации, а также ряд других весьма важных достоинств цифровых систем связи, использующих помехоустойчивое кодирование.

К этому можно добавить и потребности в кодировании у совсем новых направлений развития цифрового мира. Занимающиеся Интернетом вещей специалисты, конечно, согласятся с тем, что реально хорошие методы кодирования потратят вообще ничтожную долю энергии автономных источников питания на коррекцию возможных ошибок по сравнению со случаем, когда коды не применяются. И это так же важно, как и работа хороших алгоритмов декодирования вблизи пропускной способности канала, т.е. при минимально возможной мощности сигнала передатчика, что также сильно экономит заряд батарей. Таких полезнейших свойств кодов очень много и все они оказываются очень кстати для всей широкой сферы приложения кодирования.

Напомним далее о том, что за полувековой сложный период своего относительно активного существования «классическая», так сказать, теория кодирования, ориентированная в своём главном прикладном аспекте на разработку методов кодирования, пыталась организовать и поиск других алгоритмов декодирования, поскольку кроме экспоненциально сложного АВ её успехи были крайне незначительны. Не вдаваясь во все второстепенные теперь детали таких смен направлений развития, интересных сейчас только для историков науки, отметим лишь некоторые черты таких алгоритмов, которые так и не стали судьбоносными для той теории. Все они являются весьма общими у турбо кодов, низкоплотностных (LDPC) и полярных кодов. Самой неудобной для всех алгоритмов декодирования этих кодов оказалась необходимость использования в своих вычислениях действительных чисел. Это сразу сильно ограничило сферу их применимости, особенно для высокоскоростных каналов. Но, более того, и решающие функции этих алгоритмов, загружавшие процессоры, реализовавшие такие алгоритмы, оказались довольно сложными сами по себе. А дополнительные высокие требования, например, к точности вычислений выражений, используемых при декодировании полярных кодов, и вообще смотрятся как неоправданно экстремальные, так как в некоторых публикациях авторы пишут о недостаточности для них обычной точности представления действительных чисел в компьютерных системах. Да и собственно объём необходимых вычислений всех этих «новых» алгоритмов оказался весьма большим.

К этому необходимо добавить, что, к тому же, за последние десятилетия фактически никакие авторские коллективы не утруждают себя такой подготовкой публикуемых материалов по алгоритмам декодирования, чтобы из них можно было получить точное и — главное (!) — правильное представление об их сложности, помехоустойчивости и достоверности. Это полностью лишает читателей таких материалов какой-либо уверенности в достоверности и применимости этих результатов. Поэтому реально доступные связистам алгоритмы декодирования нередко оказываются слишком сложными и медленными или слабыми и не представляющими интереса для техники связи. Переводные книги, в том числе и учебного типа, также многословны и обычно излагают давно устаревшие результаты.

Но, как уже более сорока лет известно, оптимальное решение (наилучший по вероятности необнаруженной ошибки результат) при декодировании кодов на самом деле может быть успешно найдено на основе оптимизационного поиска на экспоненциально растущем с длиной кода массиве возможных решений. Это стало отправной точкой воистину впечатляющих многолетних исследований автора этой

уникальнейшей монографии, получившего авторское свидетельство на такое неожиданное решение проблемы помехоустойчивого кодирования почти полвека назад. И сложность этого поиска — наилучшая из возможных, минимальная, линейно растущая с длиной кодов, что тоже всегда исключительно важно.

Многочисленные работы автора монографии и его научной школы с блеском показали, что пока лишь достижения Оптимизационной Теории (ОТ) являются основой очень простых алгоритмов поиска глобального экстремума, которые правильно декодируют принятые сообщения непосредственно вблизи границы Шеннона и с линейной сложностью, что и является конечной целью теории кодирования. Монография, в которой первоначально были представлены первые революционные результаты нового научного направления, была издана Научным советом по комплексной проблеме «Кибернетика» АН СССР и опубликована в издательстве «Наука» ещё в 1981 году.

Именно в этих условиях в течение уже многих десятилетий в России развивается Оптимизационная Теория (ОТ) помехоустойчивого декодирования, которая на совершенно новом, можно сказать, принципиально ином глубоком философском уровне успешно решает проблемы оптимального, наилучшего по достоверности декодирования, но при теоретически минимальной, линейной от длины кода сложности и в условиях максимально допустимого уровня шума цифровых каналов. А минимальная возможная сложность как раз и позволяет создавать простые и очень быстрые декодеры для очень длинных кодов. Автор и другие первооткрыватели этого направления в своих, конечно же, крайне неожиданных по стилю и результатам книгах и статьях за десятилетия напряжённой работы показали совершенно новые возможности как давно известных стандартных и улучшенных методов типа замечательного алгоритма Витерби (АВ), так и новых итеративных алгоритмов на основе многопорогового декодирования (МПД), реализующих эффективные процедуры глобального поиска экстремума функционалов.

Ключевой темой, определяющей ценность данной выдающейся монографии, являются разнообразные обширные результаты, убедительно демонстрирующие вполне удобные технологичные решения поставленной 70 лет назад Клодом Шенноном проблемы простого высокодостоверного декодирования вблизи пропускной способности канала. Совершенно непостижимо, почему за все эти годы никто не обращал внимания на то, что проблема оптимального декодирования может формулироваться и как классическая глобальная оптимизационная задача, которая в случае применения к теории кодирования приобретает, конечно, некоторые специфические особенности, не ме-

няющие сущности этой вполне понятной и давно проработанной проблематики поиска глобального экстремума. Весьма странно, что эта идея уже была опубликована научной школой ОТ ещё в том тысячелетии, но не нашла отклика у специалистов.

Стартовой установкой в большом наборе совершенно уникальных парадигм ОТ, принципиально новой во всех отношениях теории, которую сторонники школы называют «квантовой механикой» теории информации, стала Основная Теорема многопорогового декодирования (ОТМПД). Прямо в самой первой своей крайне простой, но очень точной формулировке, несущей глубочайший философский смысл, она сообщила инженерам и научному сообществу о том, что правильно организованные самые простейшие мажоритарные по своей сути итеративные алгоритмы при каждом изменении декодируемых символов строго приближаются к решению оптимального декодера (ОД), для достижения которого раньше обычно требовалось осуществлять полный экспоненциально сложный перебор, что вполне элегантно, например, делает алгоритм Витерби (АВ). Появление ОТМПД самым революционным образом поменяло постановки задач декодирования для всех видов каналов с независимыми искажениями. Теперь стало возможным использовать МПД декодеры практически для любых классов мажоритарно декодируемых кодов и при всего лишь линейной (!) от длины кода сложности алгоритма попробовать достигать решений ОД даже при большом относительном уровне шума канала. И крайне печальным обстоятельством оказывается то, что ни в одном из всего лишь нескольких реальных центров страны, в которых могла бы развиваться эта столь принципиально обновлённая и очень эффективная теория кодирования на базе ОТ, за 40 лет последующих лет её существования никто не удосужился обратить внимание на эту неожиданную возможность крайне простого декодирования с потенциально наилучшими возможными результатами по достоверности принятых декодером решений.

Автор монографии, однако, ещё в те далёкие годы сразу чётко и ясно указал, что при решении оптимизационной задачи декодирования эта исключительно точно сформулированная особая краеугольная для судеб теории ОТМПД теорема вовсе не обещает обязательного достижения решения ОД. Именно поэтому члены научной школы автора монографии, создавшие эту полную и теперь уже вполне совершенную масштабную теорию «всего» в кодировании, все эти годы были непрерывно заняты именно поиском условий, которые должны выполняться для того, чтобы процесс декодирования, т. е. поиска глобального экстремума функционала, был по возможности более долгим. Здесь очень важно, чтобы этот поиск не прекращался где-нибудь

на полпути к оптимальному решению, которым является кодовое слово, ближайшее к принятому из канала сообщению.

И эта задача также оказалась решённой в ОТ! Школа ОТ создала для этого особую теорию размножения ошибок (РО) декодирования, к которой не смог за последние 50 даже подступиться ни один научный коллектив в мире. А её главный результат оказался в том, что теория РО позволила быстро и просто строить коды, используя которые МПД декодер действительно смог уже практически всегда достигать оптимальных решений даже при экстремально большом уровне шума, т.е. вблизи пропускной способности канала.

Все очевидные, а иногда и довольно неожиданные способы достижения решения ОД на основе МПД алгоритмов и ряда других методов как раз и изложены во всём своём многообразии в данной книге. Автор доступно и понятно показывает, что для большого числа каналов и кодов уже возможно достижение очень высокого уровня достоверности при большом уровне шума на основе МПД декодеров и ряда производных от них методов. Как будет видно из последующего материала книги, эта задача действительно уже во многих случаях очень успешно решена или для некоторых кластеров параметров она будет безусловно решена уже известными в ОТ методами в непосредственной близости от пропускной способности цифрового канала. Это и даёт нам право обоснованно считать, что именно российская наука в лице автора данной монографии полностью решила проблему Шеннона для всех стандартных цифровых каналов, рассматриваемых в теории кодирования. Задача расширения списка таких кодовых кластеров (т.е. совокупностей параметров каналов, кодов и декодеров) будет теперь постоянно решаться, а поле ОТ расширяться, т.к. все условия для этого научной школой автора уже созданы.

Таким образом, по уже вполне понятным причинам можно считать, что прежняя теория кодирования передала пальму первенства ОТ — новой «квантовой механике» теории информации. Этот вывод обусловлен фактом обеспечения технологиями ОТ наилучшей достоверности при минимальной сложности декодирования вплоть до ближайших окрестностей границы Шеннона.

Подчеркнём, что автор и его научная школа получили целый ряд исключительно важных результатов и в самых различных технологических сферах, связанных с теорией кодирования. Наиболее существенным прикладным достижением ОТ является расширение области действия ОТМПД фактически на всё множество методов итеративного декодирования линейных кодов, как блоковых, так и свёрточных: это каскадные схемы разных типов, каналы со стираниями, сверхбыстрые аппаратные и программные варианты декодеров, а также,

что тоже совершенно необычно и даже абсолютно неожиданно вообще для всей теории кодирования, — символьные коды.

Эти недвоичные коды связаны с удивительными свойствами поискового человеческого мышления, которое иногда обходит своим вниманием именно те важнейшие области знания, к исследованию которых такое мышление как раз и должно было бы привлекаться. Дело в том, что символьные коды относятся к недвоичным мажоритарно декодируемым кодам. Они были открыты, как и обычные пороговые алгоритмы, основоположником этого направления, выдающимся американским учёным Дж. Мессе. Он получил некоторые результаты для таких кодов и опубликовал их в своей классической книге по пороговому декодированию. Однако при анализе таких кодов он потребовал от них таких исключительно высоких характеристик, которые те в принципе не могли обеспечить. И в результате немалого вследствие этого разочарования он отказался от дальнейшего изучения таких кодовых структур. А из-за этого и исследователи всего мира, безусловно поверив мнению этого уважаемого всеми учёного, в течение последующих 50 лет даже не пытались применить мажоритарные алгоритмы к недвоичным кодам, которых как бы и не было. Но так получилось, что и все прочие недвоичные коды и декодеры, созданные «классической» наукой за этот длительный период, не стали выдающимися достижениями теории кодирования, хотя и были полезными.

А вот автор монографии и его школа очень внимательно отнеслись к кодам, когда-то отвергнутым Мессе, чётко отделили их от прочих типов кодов и назвали символьными. К настоящему времени члены школы ОТ написали вообще абсолютно полную теорию для этих переоткрытых ими структур, а также для особо простых символьных МПД декодеров, реализующих функции глобального поиска экстремума на цифровых потоках с определённой кодовой структурой, причём также при минимальной линейной от длины кода сложности.

Кстати, очень полезно обратить внимание читателей этой книги на то, что для действительно триумфального шествия символьных кодов в мире систем кодирования авторы символьных алгоритмов сразу же немного поменяли и запатентовали правила работы порогового элемента (ПЭ) для этих кодов — главного активного элемента во всех МПД. Именно этот момент и решил судьбу мирового конкурса среди недвоичных алгоритмов. Он просто не состоялся, что называется, «за явным преимуществом» символьных кодов по всем параметрам эффективности и сложности, т.к. декодеры символьных МПД с линейной сложностью от длины кодов сходятся к оптимальному решению даже при очень больших уровнях шума канала. В этом можно убедиться, читая соответствующие разделы этой монографии или ра-

нее изданные книги и статьи автора и школы ОТ по этой тематике. И при этом важно подчеркнуть, что вообще все варианты МПД алгоритмов являются крайне простыми устройствами или программами с хорошо понятными принципами работы мажоритарных алгоритмов, что крайне полезно для их разработок, применения, обучения и дальнейшего прогресса этой научной тематики.

В монографии уделяется заслуженно глубокое внимание и многим другим идеям, возникшим в процессе развития ОТ: принципу дивергенции, параллельному каскадированию, кодам с выделенными ветвями и другим системам и принципам организации нового очень необычного стиля кодирования, образовавшим своё особое обширное интеллектуальное пространство парадигм ОТ. Все они действительно помогают созданию, исследованиям и реализации исключительно простых методов декодирования при большом уровне шума. Отметим, что ранее ни одного из перечисленных понятий в теории кодирования вообще не было. Но их роль в ОТ и в успешном решении проблем декодирования действительно оказалась чрезвычайно важной.

Столь же велика в ОТ и роль декодеров с прямым контролем метрики (ДПКМ). К группе ДПКМ относятся все методы с использованием МПД и АВ. Этот подход выводит исследования декодеров на основе АВ и МПД на совершенно новый уровень, работа на котором уже позволила получить ещё один чрезвычайно важный результат — создание блоковой версии алгоритма Витерби (БАВ) со сложностью, близкой к сложности классического АВ для свёрточных кодов, которую автор книги также, как и многие другие достижения, своевременно запатентовал. Этот результат для одного из самых главных алгоритмов прошлого века впечатляет и сам по себе, так как оценки сложности «прежней» теории кодирования для блоковых версий АВ фактически соответствуют удвоенному показателю экспоненты сложности по сравнению со свёрточными кодами, что, конечно, делало их совершенно недоступными для применения в реальных системах. Нелишне подчеркнуть, что школа ОТ давно и успешно развивает теперь уже и это направление прикладной теории кодирования, которое тоже было незаслуженно забыто прежней «классической» теорией на фоне турбо и прочих «достижений» теоретиков.

Во всех монографиях по МПД и ОТ для иллюстрации многих результатов МПД алгоритмов уже неоднократно использовались возможности сетевых порталов www.mtdbest.ru и www.mtdbest.iki.rssi.ru научной школы автора, первый из которых достаточно часто обновляется. Это многократно облегчает правильное понимание результатов ОТ. Использование ресурсов этих порталов в данной монографии оказывается ещё более разнообразным и полным. На этих веб-сайтах,

с общим числом информационных блоков более 600, представлено большое число демо-программ по всем наиболее известным в мире алгоритмам декодирования. Эти тематические двуязычные порталы посещают свыше 100 тысяч читателей в год из более 90 стран мира, что особенно хорошо и точно характеризует полное и безусловное признание мировым научно-техническим сообществом технологий и парадигм ОТ и её результатов.

Более того, представленные на первом из указанных сетевых ресурсов специальные программные платформы действительно позволяют любому специалисту быстро перейти к полноценной научной работе в сфере ОТ.

Автор монографии является лауреатом премии Правительства РФ по науке и технике. Европейский союз (ЕС) наградил создателя ОТ Золотой медалью «За исключительные достижения», которая в Европе вручается только за самые выдающиеся научные результаты. А на недавней Международной выставке изобретений ему была вручена Золотая медаль за патент на сверхскоростной МПД декодер.

Что же касается уровня текущей и далеко не современной теории кодирования как у нас в стране, так и в зарубежье, то единый общий драматический диагноз её состояния обусловлен крайне странным для цифровой цивилизации обстоятельством. Дело в том, что никакие главные характеристики эффективных декодеров никто не умеет рассчитывать для большого уровня шума. Наверное, этого никогда и не случится ни для каких алгоритмов. Возможно, что этого нельзя сделать просто в принципе. И никто не умеет программировать! Это можно сказать практически почти про всех специалистов в области кодов. Да и лозунг конца того тысячелетия: «программирование — вторая грамотность!» — ныне давно забыт абсолютно. Всё это и стало концом «той» чисто математической теории кодирования. Но теория кодирования — это вовсе не математическая задача! Это одна из оптимизационных проблем в дискретных пространствах со структурой массивов, корректирующих ошибки. И все их главные характеристики, возможно, всегда будут определяться только экспериментально, на программных моделях и аппаратных макетах, которые обычно выдают такие результаты по характеристикам практически мгновенно. Всё это научная школа ОТ поняла более полувека назад, что и позволило ей выиграть невероятно масштабный и важнейший научный конкурс в теории информации на самом взлёте цифровизации нашего мира.

Так что декларируемый автором этой монографии в очень мягкой форме его приоритет и абсолютное мировое лидерство, оцениваемое им весьма скромно, в 20–30 лет, действительно существует, так как

сейчас не видно даже на горизонте таких научных групп, которые хотя бы начали создавать для развития прикладной теории кодирования какие-либо программные оптимизирующие, моделирующие и проектирующие комплексы для исследования и конструирования новых очень быстрых оптимальных систем кодирования, работающих вблизи границы Шеннона. Действительно, только на создание такого программного обеспечения нужны, как это было и со школой ОТ, десятилетия напряжённого сложнейшего труда, что особенно подчёркивает способность предвидения будущего своей отрасли науки у автора этой книги, равной которой, может быть, не появится ещё очень долго. Трудный опыт школы ОТ свидетельствует, что, кроме решения о разработке тех или иных комплексов подобных интеллектуальных программных систем, нужны ещё также определённое время и большой накопленный личный опыт для того, чтобы понять, какими именно должны быть эти инновационные комплексы. А это тоже долгие напряженные годы очень упорной работы.

Свой обширный набор таких программных средств школа ОТ свободно предлагает всем специалистам. Этот набор, как полагает руководитель школы, будет непрерывно расширяться и становиться всё более доступным для всех.

Переходя к заключительным замечаниям об этой уникальнейшей в теории кодирования и вообще в истории науки книге, позволю себе напомнить, что читатель держит в своих руках действительно чрезвычайно важную монографию, которая знаменует собой, наконец, состоявшийся сильно затянувшийся переход всей прикладной теории кодирования в совершенно новую фазу своего развития, ориентированную на создание действительно доступных эффективных алгоритмов коррекции ошибок гарантированного качества. Он основан на прочном союзе теории и эксперимента. Крайне жаль, что этот переход не произошёл около 30 лет назад, когда полная теория ОТ уже была создана. Она становится уже не проблемой, а технологической задачей глобальной оптимизации функционалов от очень большого числа переменных в дискретных пространствах со структурой, учитывающей свойства корректирующих кодов. Многие из рассмотренных в монографии и глубоко исследованных алгоритмов успешно работают в непосредственной близости от границы Шеннона. И очень важно, что все методы ОТ остаются хорошо известными простейшими мажоритарным декодерами с правильно подобранными параметрами или модификациями широко распространённых декодеров, работающих по алгоритму Витерби, который любят и тоже прекрасно понимают все инженеры цифровой связи.

Ситуация, сложившаяся к настоящему времени вокруг ОТ, по

мнению уже немалого числа специалистов по теории кодирования, сильно напоминает состояние физики начала XX века, когда многие актуальные задачи оказалось невозможным решить имевшимися тогда у науки методами. И только появление ряда совершенно новых для физики парадигм, относящихся к принципам устройства нашего мира, сформировавших позже квантовую механику, позволило выйти на новые рубежи научного познания нашего физического мира. Целый ряд великих физиков своего времени был тогда заслуженно удостоен Нобелевской премии, хотя физика начала того века ещё довольно долго не относилась к сколько-нибудь актуальным отраслям знания. Её общественное признание состоялось уже в 30–40-х годах.

Важность же ОТ, её технологий и парадигм исключительно высока потому, что она уже стала новой «квантовой механикой» в прикладной теории информации. Чрезвычайно существенно и то, что ОТ создана и уже успешно завершена во всех основных своих аспектах в самый важный период начала бурного развития нашей информационной цифровой цивилизации, которая до самого последнего времени не умела обеспечивать простыми средствами необходимую ей высокую достоверность своего информационного контента. Именно поэтому для нашего современного мира значение ОТ, очень содержательной, компактной и совершенной науки, многократно превышает значимость квантовой механики для физики, какой она была в самом начале прошлого века.

Согласимся в конце нашего вводного обзора и с тем, что такая книга о полном решении проблемы Шеннона абсолютно необычна и поэтому, конечно, совершенно неожиданна для основного контингента мировой науки, занятого вопросами кодирования. Укажем также, что уже выходят публикации с участием членов РАН и специалистов в области цифровых технологий, где они подтверждают исключительную ценность результатов автора этой монографии и полагают, что алгоритмы МПД, символьные коды, а также теория размножения ошибок декодирования полностью соответствуют нобелевскому уровню исследований автора как вместе взятые, так и в отдельности. А технологии настроек параметров кодов и декодеров, алгоритмы для исправления стираний и совокупность новых парадигм ОТ, а также десятки патентов автора — большинство из них безусловно являются выдающимися открытиями в области прикладной теории кодирования. И это реально именно так, что и подтверждают сетевые порталы научной школы ОТ, которые, как я уже отмечал выше, давно читают специалисты всего мира.

Особенно наглядно совершенство ОТ подчёркивает её чрезвычайная компактность, минимальное количество формул, описывающих

возможности всех алгоритмов В.В. Золотарёва в различных каналах, и глубокая философская сущность, которая, я думаю, может обсуждаться и анализироваться историками науки ещё очень долгое время. Можно оценочно полагать, что вся ОТ имеет при этом объём, который примерно на три порядка меньше очень распухшей сейчас прежней теории, которая уже давно не приносит никаких разумных результатов, на что мы неоднократно указывали в наших новых обзорах по прикладным вопросам сферы применения теории кодирования.

Своё полное удовлетворение от выхода в свет столь необычной монографии хочется выразить ещё и в связи с тем, что 2018 год оказался юбилейным для теории кодирования. Более 70 лет назад Клод Шеннон фактически поставил эту проблему простого и эффективно-го декодирования перед наукой и техникой в своей замечательной статье. Очень приятно найти её успешное во всех смыслах решение именно сейчас в монографии выдающегося российского учёного. История науки не знала до сих пор такого случая, чтобы небольшая научная школа полностью развернула в принципиально новом направлении столь грандиозную и инерционную, но одновременно и такую необходимую для техники связи сложнейшую отрасль науки, практически полностью решив все ранее сформулированные для неё прикладные проблемы.

И в заключение я выражаю твёрдую уверенность, что актуальнейшие результаты ОТ — новой «квантовой механики» современной теории информации, изложенные в этой уникальной монографии, послужат масштабным достойным вкладом всей российской науки в развитие новых методов и технологий цифровой обработки данных, а также вообще всей теории информации для цифрового информационного сообщества начала нового тысячелетия.

Лауреат Государственной премии СССР,
член-корреспондент РАН,
доктор технических наук, профессор,
Заслуженный деятель науки РФ,
лауреат Государственной премии,
дважды лауреат Премии Правительства РФ



Ю.Б. Зубарев