

(Этот рассказ будет помещён в новый сборник ИКИ РАН «Обратный отсчёт»)

О долгом пути к звёздам и к «цифре».

А.В. Калинова, Т.А. Шпагина

Этот наш рассказ - об одном из весьма необычных и крайне важных аспектов развития прикладных наук о космосе и о трудном росте личности, решившей посвятить такой цели всю свою жизнь. Наше изложение событий будет очень неполным, поскольку далеко не все даже основные поворотные моменты в науке и судьбе теперь уже известного учёного ИКИ РАН нам известны, хотя мы проработали вместе с профессором В.В. Золотарёвым уже не один десяток лет. Однако, как мы уверены, даже то, что мы знаем и сумели рассказать о некоторых случайностях и особых закономерностях, уже определивших судьбу одной из важнейших современных отраслей науки, а также, конечно, о роли личности в науке, окажется полезным и для новых поколений исследователей, которые будут работать в сложнейших и интереснейших сферах цифровых проблем и технологий будущего.

Когда Валерий Золотарёв в 1966 году после окончания физматшколы №18 при МГУ, созданной академиком А.Н. Колмогоровым, пришел сдавать документы для поступления в МФТИ, он сразу спросил, можно ли будет потом заниматься космической связью, на что получил утвердительный (а как же! – физтех ведь!) ответ. Но сначала молодой человек, воспитанный на научной фантастике, в первую очередь, на великом романе И. Ефремова о космическом будущем человечества «Туманность Андромеды», в процессе учёбы на физтехе долго искал соответствующее место приложения своих сил для работы именно по давно выбранной им тематике.

Ему пришлось сменить несколько базовых кафедр в различных Институтах Академии наук того времени и, тем не менее, он был все еще недоволен своими перспективами. Например, когда в процессе поиска своего места он попал в один из базовых для МФТИ недавно организованный Институт проблем передачи информации (ИППИ АН СССР), ему предложили заняться активными фильтрами для телевидения. Однако же, посмотрев, как все эти дела там были обустроены, долго и непонятно что ищущий студент ушёл и оттуда.

Но как это часто бывает, ему помог случай, который всегда или, по крайней мере, часто реализуется только в том случае, если человек очень активно ищет пути к поставленной перед собой цели. На 3 курсе физтеха на факультете ФРТК обычно читают предметы, связанные с радиотехникой. И целеустремлённый студент познакомился там с несколькими преподавателями этой кафедры, обсудил с ними свои желания, и оказалось, что действительно есть такая тематика, которая могла бы ему понравиться. Конечно, руководители этих договорных работ хотели понять, насколько студент реально способен разбираться в тех задачах, которыми он вроде бы хочет заниматься. Ему дали две лучшие для того времени книжки по методам коррекции ошибок в цифровой информации и сформулировали задачи, которые он должен был за несколько дней рассмотреть и затем принести на кафедру какие-то их решения. Это были книги известнейших тогда специалистов по новой молодой науке помехоустойчивого кодирования, которая потом стала главным направлением в разработках систем цифровой связи, в том числе и для дальнего космоса. Поиск цели был почти завершён.

Но оказалось, что все задачки достаточно легко решаются. И он даже не дождался назначенного ему срока, пришел на кафедру гораздо раньше, успешно сдал эти задачи и его взяли. Именно поэтому 1968 год, когда студент В. Золотарёв встал на путь изучения

цифровых технологий (пока ещё – далёкого будущего!), можно считать истоком российской принципиально новой прикладной теории помехоустойчивого кодирования. Через 50 лет она станет уникальнейшей Оптимизационной Теорией (ОТ), завершающие этапы создания которой оказались реализованными им в ИКИ РАН, в котором уже 20 лет работает этот очень своеобразный учёный. Именно теперь на основе его алгоритмов, созданных методами ОТ, можно передавать и получать информацию со всех исследовательских космических аппаратов и спутниковых систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с теоретически максимальной скоростью, причём, с наилучшей теоретически возможной достоверностью «цифры» и одновременно при очень высоком уровне шума космического канала, что обычно особенно трудно для аппаратуры связи. Но всё это случится ещё очень нескоро.

Активному студенту было где приложить свои усилия на кафедре. Успешное решение вступительного экзаменационного комплекта задач очень его воодушевило. Из бесед со своим руководителем Э.М. Габидулиным он хорошо понял, чем нужно заняться в первую очередь. Как потом оказалось, он стал фактически сразу искать разрешение самой главной технологической проблемы, практически так и оставшейся навсегда неприступной для всей той теории кодирования, которая развивалась до появления его основных теоретических и прикладных результатов и на тот момент была воистину на космическом взлете.

В те 60-е годы появилось много новых методов исправления ошибок в шумящих каналах и формировались границы, которые указывали пределы для возможных теоретических и практических результатов, многие из которых были важны и для связи в дальнем космосе, и для множества наземных систем. Но получению новых результатов очень мешало то, что в реальных каналах космической связи ошибки самих алгоритмов декодирования имели слишком сложную структуру. Это сильно тормозило улучшение характеристик тех методов декодирования, которые исправляли искажения в принятых из глубин Космоса цифровых сообщениях от космических аппаратов.

Тем не менее, цифровой мир стал бурно развиваться. Но указанные трудности поддержания достоверности дискретных данных стали всё больше тормозить создание новых цифровых систем, хотя глубокое осознание этой ключевой проблемы группирования ошибок декодеров как главного препятствия в повышении помехоустойчивости связи в науках о дискретной передаче данных произойдёт много позже. И, как оказалось, активный студент сразу взялся за эту действительно ключевую проблему, которая когда-то потом станет его теорией размножения ошибок (РО). Так получилось, что фактически ещё на физтехе ему удалось найти настоящие причины опасного для аппаратуры связи группирования ошибок декодеров. Упорный студент выявил эти причины на основе новой довольно сложной методики производящих функций вероятности, которая оказалась универсальной и применимой для всех типов каналов, которые изучались теорией. И это неудивительно, так как студент, анализируя уже защищенные на кафедре диссертации по близким вопросам, создал действительно обширнейшее поле для своего развития и исследований на многие будущие десятилетия.

В 1970 году он впервые сам собрал на кафедре и отладил реальный настоящий декодер для цифровых потоков, а также очень полезный и удобный в использовании датчик случайных чисел, на который ему и коллеге-студенту Г.А. Донову было выдано первое авторское свидетельство на изобретение. И главное, он там же сделал те свои первые точные оценки эффекта РО для декодеров некоторых кодов на совершенно новых идеях, которые потом и стали его первой научной публикацией в 1972г. Способный студент сумел так описать эту сложнейшую задачу и ее постановку, что создалось впечатление,

будто бы её решение действительно было совершенно простым. Как хорошо известно, именно правильный выбор методов решения всегда уже наполовину решает и поставленную задачу. Творчески настроенный студент это сразу прекрасно усвоил. К технологиям решения проблемы РО это относится в первую очередь.

Но даже после публикации его результатов за последние 50 лет никому вне пределов теперь уже весьма известной научной школы Золотарёва не удалось сделать хоть что-либо подобное или как-то улучшить его результаты. А ведь именно проявление эффекта РО, как было отмечено выше, мешало тогда и очень мешает сейчас всем прочим исследователям улучшать свои и создавать хорошие новые декодеры. Но не быстро взрослому студенту! Он-то проблему решил и самое узкое место во всей теории полностью ликвидировал. И кто бы это заметил?!?

Но на самом деле кафедра дала будущему профессору еще одну важнейшую возможность, которую он тоже реализовал в полной мере. Эта решающая для теории кодирования его способность сразу обеспечила гармоничное и очень быстрое развитие всего его будущего теоретического и прикладного направления. Именно в МФТИ в это же время он освоил несколько методов программирования и успешно подтвердил своё глубокое понимание РО и сути проблем теории кодирования с помощью экспериментов на нескольких доступных тогда лишь избранным ЭВМ типа М-222, а также на других машинах поменьше, в частности, на польской «Одре». Этот важнейший опыт совместных теоретических и экспериментальных работ потом очень быстро вывел В.В. Золотарёва в ряды лидеров по результатам в самых разных прикладных областях теории кодирования (ТК), которая, как позже было в конце концов признано, вовсе не является математической задачей. Но это революционное осознание реальной ситуации в прикладной (!) ТК у всего научного мира наступит совсем даже не скоро.

В это же время у всегда любившего пофилософствовать студента начало формироваться ощущение, что при всей важности теоретических изысканий в теории кодирования, которыми он, как и другие его коллеги-студенты, с удовольствием занимался, все основные результаты придётся получать только на базе работающих моделей сложных процедур декодирования. Надежды на чисто аналитические результаты в этих серьёзных прикладных вопросах было мало. Но сначала это были не самые главные заботы студента.

Единство теории и эксперимента он утверждал своими очень ценными результатами, важными и для техники связи. Ведь теория кодирования позволяет снижать размеры антенн, увеличивать скорость передачи цифровых потоков и, главное, поддерживать их требуемую достоверность при очень высоком шуме космического канала, по которому осуществляется связь. Это всегда чрезвычайно ценно везде, а в космических экспериментах особенно. И студент, сразу чётко поняв свои огромные преимущества перед чистыми теоретиками, начал реально и намного быстрее других двигаться к своей цели. Он учился и рос.

Конечно, наука уже много столетий развивается в сложном противоречивом взаимодействии теории и эксперимента. Однако появление мощнейших методов очень гибкой имитации реальности - компьютерного моделирования - создало весьма своеобразную касту специалистов с особым складом ума, - программистов. Они теперь могут ставить совершенно невообразимые по масштабам прошлых времён эксперименты почти без видимых материальных затрат. Это понемногу становилось настоящей революцией в моделировании всевозможных событий и ситуаций. И студент-дипломник, как быстро выяснилось, оказался одним из тех способных теоретиков, которые могут ещё и раскладывать алгоритмы декодирования на «кирпичики», команды языка программирования, писать такие столь необходимые программы для этих алгоритмов и быстро (о, величайшая

редкость!!!) их отлаживать. Но, как ни странно, оказалось, что других таких «многостаночников» в мире науки чрезвычайно мало, а в теории кодирования (ТК) с её очень специфическими и глубоко теоретическими подходами интерес к экспериментам, особенно к компьютерным, похоже, что и вообще почти ни у кого очень долго не проявлялся, хотя это и крайне удивительно.

Теоретиков в ТК – море. Однако за последние 60 лет активного, вроде бы, развития этой тематики в ней, кажется, так и не нашёлся хотя бы ещё один человек, который сообщил бы своим коллегам, что теория кодирования – это вовсе не математическая проблема. Ведь практически никаких хороших оценок для методов декодирования при большом шуме никто получать не мог, да, видимо, не сможет и в будущем. Но вот не нашлось же такого! Поэтому осознания этих жёстких выводов школы профессора В.В. Золотарёва научному сообществу пришлось ждать ещё несколько десятилетий, что, конечно же, было чрезвычайно бесполезно всему цифровому миру. А быстро взрослевший студент уже тогда довольно точно определил в те свои далёкие годы жизни физтеха возможности и способы решения величайшей проблемы цифровой информатики, сформулированной в 1948 году великим Клодом Шенноном: передавать быстрее, декодировать проще, ошибаться реже и успешно преодолевать сложности передачи данных по космическим каналам связи даже при максимально допустимом в теории и в реальности уровне шума. Роль программистских работ в его расширявшихся исследованиях непрерывно росла.

Но вернёмся к собственно выпускнику физтеха. В 1972 году он успешно защитил свою дипломную работу, получив на неё положительный отзыв в ИППИ АН СССР от Л.А. Бассальго, который отдельно отметил её высокий научный уровень. Однако жизненные реалии не позволили ему попасть в аспирантуру. Он был распределён в 1972 году в подмосковный Академгородок, в Институт спектроскопии АН СССР. Некоторые написанные им программы для тех ЭВМ, что были рядом с ним, ничего принципиально нового ему и науке не дали. И тем не менее, они заметно развили его технические возможности в программировании.

Зато пришло авторское свидетельство на его уже второе и самое главное изобретение в его жизни: - на алгоритм для многопорогового декодирования (МПД), который составил техническую и идеологическую основу всей его будущей принципиально обновлённой прикладной теории кодирования. На основе этого свидетельства через несколько лет была быстро выработана и чёткая идеальная формулировка его главной Основной Теоремы МПД (ОТМПД), краеугольного камня всей его будущей Оптимизационной Теории (ОТ). Моделирование и теория с получением этого свидетельства достигли монолитного единства и помогли выпускнику физтеха уточниться со своими перспективными целями.

После преодоления очень больших трудностей он сумел поступить в 1975 году в аспирантуру физтеха, сдав вступительные экзамены профессорам С.И. Самойленко, заместителю академика А.И. Берга в Совете по кибернетике АН СССР, и Э.М. Габидулину, своему дипломному руководителю. И Валерий снова начал заниматься любимым делом, но на совершенно новом уровне. В этом ему помогли контакты с НИИ Радио, который нашёл средства для оплаты мощной английской ЭВМ ICL в Минморфлоте. А с сотрудниками НИИР его познакомил руководитель группы теоретиков кодирования в ИППИ В.В. Зяблов. Фактическим научным руководителем Валерия в аспирантуре стал профессор С.И. Самойленко, первым в СССР начавший развивать в 70-х годах того века новую для Академии наук проблематику вычислительных сетей.

Эти три года оказались для Золотарёва очень успешными. К моменту завершения аспирантуры необходимое количество публикаций и патентов он уже имел, что и позволяло

считать, что с диссертацией всё будет в порядке. В самом деле, ключевым моментом работы оказался названный позже Основной Теоремой многопорогового декодирования (ОТМПД) тот результат, согласно которому простейший немного модифицированный мажоритарный алгоритм декодирования при всех изменениях контролируемых символов строго приближался к оптимальному решению, которое долгое время было недостижимой мечтой инженеров. Ведь до этого такое наилучшее решение могло быть получено только на основе полного экспоненциально растущего с длиной кода перебора, что было для техники очень трудной проблемой. Но при этом был гарантирован минимум ошибок декодера. И это несколько лет очень элегантно делал уже в то время алгоритм Витерби (АВ), но только для очень коротких кодов как раз из-за экспоненциальной сложности такого декодера. А это, как известно, вообще всегда очень трудно для любой аппаратуры связи, в том числе и для дальнего космоса.

Но декодеры Золотарёва достигали такого решения как раз простейшими способами, с минимально возможной даже теоретически растущей линейно с длиной кодов сложностью, что сразу стало серьёзной психологической травмой для теоретиков, все без исключения методы которых были тогда слишком сложны. Видимо, поэтому попытки опровергнуть Основную Теорему МПД продолжались даже ещё в течение 30 лет после её доказательства, которое было проще, чем для теоремы Пифагора. В эти годы наконец, завершилось и формирование абсолютной убеждённости аспиранта в том, что при большом шуме канала, который только и представляет интерес для инженеров, все главные параметры эффективности и сложности в ТК можно получить исключительно на основе эксперимента. В его растущем понимании ситуации в текущей ТК место аналитических оценок в прикладной части этой теории стало крайне ограниченным. Для такой дальнейшей работы была нужна доступная хорошая вычислительная техника. Но она в те годы только-только нарождалась.

Заметим кстати, что теорему ОТМПД нельзя было опровергнуть, потому что она является почти тавтологией, т. к. не описывает какие-либо процессы, а просто указывает на то, что одну и ту же ситуацию в анализируемом цифровом векторе можно рассматривать с разных одинаково возможных и корректных позиций и в общепринятых терминах. Так что результат был чисто терминологический, а ситуация абсолютно статичной. Однако же всего этого никто до аспиранта Золотарёва не увидел и не сумел развить на пользу ТК. Но этот результат ещё в 1978г. полностью закрыл вообще все перспективы прежней теории. Однако до полного признания и осознания этой драматической ситуации всеми участниками научной деятельности в ТК было ещё невероятно далеко. Зато аспирант стал двигаться дальше с гораздо большей уверенностью.

Все следовавшие из его теории принципиальные прикладные результаты были последовательно проверены молодым исследователем на самой мощной доступной ему тогда в Москве английской машине ICL. Сложность декодера по числу операций, размеру программ и аппаратуры у В.В. Золотарёва упали по сравнению с другими методами буквально в сотни и более раз! Да и делать такие устройства для космоса теперь уже было крайне легко. Правда, все его результаты лежали ещё довольно далеко от границы Шеннона по уровню ошибок канала. Однако ведь это ещё был только начальный период трудного великого и прекрасного пути к звёздам. Да и сама граница войдёт в активный обиход многих исследователей ещё не скоро. А уже полученные результаты подготовленной кандидатской работы были безупречны и оказались много лучшими, чем итоги многих докторских защит по кодам тех времён. Но кто бы в те времена так думал?! Всё пока ещё было в отдалённом будущем. Основные надежды аспиранта были на значительный рост производительности цифровой техники, т. к. понимание того, что ТК – не математическая

задача, переводило его проблемы именно в область самого широкого применения ЭВМ. Но для быстро растущих по сложности задач аспиранта скорости этих ЭВМ в то время уже были недостаточно большими. Поддержка его теоретических построений экспериментом стала самой актуальной задачей. Да, на это требовалось время.

Уточнявшиеся непрерывно формулировки и результаты новых начал создававшейся всеобщей теории кодирования постепенно правильно распределяли на многие десятилетия будущих исследований роли между теорией и компьютерным экспериментом, которые у нашего аспиранта вместе решали единую сложнейшую и тогда, и сейчас задачу. Но именно эти же обстоятельства и разрушили взаимопонимание между ведущими специалистами ИППИ АН СССР и слишком неудобным аспирантом-компьютерщиком из физтеха, готовившимся к несомненно успешной защите и заслуженному присуждению учёной степени. Его данные программных моделей нельзя было опровергнуть аналитически ещё и потому, что в ИППИ экспериментальных методов никто не понимал и ранее к защите по теории кодирования не допускал. К тому же и основы его теории отменяли многие привычные положения, казалось бы, устоявшейся уже науки о кодах. Это и стало причиной острого конфликта на предзащите аспиранта МФТИ в ИППИ, где соискатель на семинаре, заслушавшем его результаты, получил в итоге полтора десятка замечаний с такими формулировками, что реально хватило бы и двух-трёх из них, чтобы вообще безальтернативно снять «неперспективную» диссертацию с защиты.

Но отступить было уже некуда, да и незачем. Претендующий на право защиты кандидатской диссертации аспирант В. Золотарёв взял список замечаний, пережил за пару дней сильнейший стресс, но через неделю пришёл к автору всех замечаний В.В. Зяблову. Удивительно, что все эти проблемы аспиранту создал именно он, известнейший специалист по кодированию в ИППИ, когда-то познакомивший этого непутёвого аспиранта с сотрудниками НИИР, что открыло соискателю обширнейшие и в те времена очень дефицитные возможности для моделирования алгоритмов и внедрения своих методов в опытные разработки главного института Минсвязи. Но бывает и так!

После довольно длительного обсуждения всех вопросов, он через неделю получил положительный отзыв от кафедры МФТИ в ИППИ за подписями В.В. Зяблова и профессора Р.Л. Добрушина об успешном прохождении предзащиты.

Эта цепочка несколько нелогичных и таинственных событий, спасшая будущее советской тогда и, конечно, сегодняшней мировой науки, имела на самом деле вовсе не один вариант своего возможного завершения. Но, скорее всего, здесь сыграло свою главную роль то обстоятельство, что в Совете по кибернетике при Президиуме АН СССР предстояла вскоре и защита докторской диссертации В.В. Зяблова. А тогда возникал бы естественный вопрос об объективном развитии науки, оценке её результатов на кафедре МФТИ в ИППИ АН СССР, а также другие проблемы. Вот поэтому в данном случае всё и сложилось так, что «нежелательная» диссертация аспиранта физтеха обсуждалась в ИППИ в самый неблагоприятный для её критиков момент. Так что на этот раз теоретикам в ИППИ пришлось немного уступить в ситуации, когда настаивать было совсем не в их интересах. Правда, такую уступку совершенно новому направлению в ТК они сделали, как говорится, почти в последний раз. Это и понятно. Ведь начиналась нешуточная борьба за лидерство.

После успешной защиты в 1978 году в Совете по кибернетике под председательством академика А.И. Берга своей кандидатской работы, у к.т.н. В.В. Золотарёва начались годы работы в новом статусе. Для создания полноценной всеобщей новой теории надо было рассмотреть созданные алгоритмы МПД в разных условиях работы. И особенно важно было адаптировать их ко всем каналам, которые анализировались в ТК. Новоиспечённым к.т.н. были быстро рассмотрены очень полезные во всех приложениях

каскадные коды, а также стирающие каналы, в которых символы на приёме иногда определить вообще нельзя, а вычислить истинные значения таких неизвестных битов или байтов опять должен был сам декодер. Все эти задачи были тоже успешно решены, разумеется, также с минимально возможной линейной сложностью, что было, как и раньше, исключительно важным. Огромную роль тут сыграл опять НИИР, в котором и в дальнейшем за 20 лет сотрудничества с В.В. Золотарёвым будет создано пять поколений аппаратуры кодирования с постепенно растущей степенью микроминиатюризации. Там же оформлялись с его сотрудниками и изобретения по тематике алгоритмов МПД.

Но публикация работ по МПД в ИППИ АН СССР, в его чисто теоретическом журнале ППИ оказались невозможной. Эксперимент в каком-либо виде как основа результата там был абсолютно неприемлем. А о том, что ТК - вовсе не математическая задача, тамошние теоретики не догадывались ещё ~40 лет после всех этих событий в районе 1978 года. Шестилетняя переписка с редакцией привела к тому, что статья про МПД вышла в крайне урезанном виде только в 1986 году и без Основной Теоремы, что, конечно, чрезвычайно минимизировало её ценность. Работа смотрелась как чудачества программиста, который всем надоел, а её напечатали просто для того, чтобы он на время угомонился. Но важный шаг публикации в формально (!) главном журнале по тематике ТК был всё же сделан.

А потом на все новые статьи из ППИ шли однообразные рецензии с такими аргументами, что, мол, автор незнаком с другими гораздо более «продвинутыми» работами. Но уже в те времена реально никаких сопоставимых с алгоритмами МПД публикаций достаточно высокого уровня ни у нас, ни за рубежом не было по одной простой причине: все методы молодого кандидата наук приводили к оптимальному, т.е. наилучшему результату, да ещё при минимальной возможной даже теоретически сложности. И более того, даже через 40 лет после той защиты в Совете по кибернетике никаких публикаций, сопоставимых хотя бы с публикациями молодого к.т.н. тех времён по критериям сложности и помехоустойчивости в мире просто нет! Разрыв был сразу просто грандиозный! Качество результатов МПД теперь гарантировалось кодами, построенными в соответствии с продолжавшей развиваться теорией РО, которая была, в основном, создана ещё в МФТИ, а затем дорабатывалась в диссертации. Но и до сих пор никто строить такие коды не умеет. Однако договориться с редакцией так и не удалось. Математизированная до предела теория отчаянно защищалась. От кого? От науки!!! А миллиарды кодов, уже построенных прежней теорией, так и не пригодились никому. Тоже ведь получился неплохой критерий отбора, да?

И уже в 1981 году в издательстве «Наука» вышла коллективная монография сотрудников Совета по кибернетике АН СССР, в которой были изложены и все основные результаты кандидатской работы м.н.с. В.В. Золотарёва. Но алгоритмы с минимальной сложностью и наилучшей возможной достоверностью по-прежнему не воодушевляли теоретиков на сравнение своих результатов с наилучшими и уже известными декодерами у м.н.с. из Совета по кибернетике. А это становило как-то уж совсем странным, поскольку меняло всю логику развития науки. И более того, как раз такая ситуация длится без каких-либо последствий для апологетов прежней теории, публикующих совершенно бесполезные для прикладной ТК чисто «теоретические» статьи уже даже не один десяток, а наверное, ~40 лет.

Тем временем новоиспеченный кандидат наук стремился закрыть проблемы кодирования для всех каналов, рассматривавшихся до него в теории. Они обязательно все должны использоваться, т.к. для космических систем требуются самые разнообразные типы сигналов. Очень долго такая работа в мире велась и для двоичных кодов, в том числе

для байтовых, поскольку в цифровых устройствах информация практически всегда хранится именно в многобайтовых форматах, будь то музыка, фотографии, видео и прочее. Для этого давно применяются относительно короткие коды Рида-Соломона (РС), которые из-за этого достаточно сложны в декодировании и не могут обеспечить требуемые уровни достоверности при высоких вероятностях искажений в хранимых или передаваемых символах. Молодой учёный долго бился над этой проблемой, но через 6 лет после защиты он решил-таки и эту труднейшую задачу! Так что можно считать, что в 1984 году состоялось завершение создания полной всесторонней Оптимизационной Теории (ОТ) помехоустойчивого кодирования.

Но что тут конкретно произошло? С 1985 года начались многочисленные публикации В.В. Золотарёва по символьным кодам. Они были много проще в реализации, чем наиболее популярные в цифровой технике того времени коды Рида-Соломона (РС). Его декодеры символьных кодов обычно, как и двоичные в его кандидатской работе, достигали оптимальных решений. А этого и сейчас до сих пор не могут никакие другие методы для байтовых кодов с разумной сложностью. Да, и поныне у теоретиков «в ходу» только «старенькие» коды РС. Так что за 60 лет исследований недвоичных кодов - ничего, кроме вот этих коротких и слабых кодов РС. И вдруг – все было полностью сделано молодым к.т.н. буквально за пару-тройку лет! Такого не бывает? Да! Но вот случилось же!

А если вспомнить ещё, что для недвоичного алфавита нельзя создать даже эффективный алгоритм Витерби, что оказывается невозможным опять из-за огромной сложности таких устройств, то и получается, что с 1985 года существуют символьные, тоже недвоичные коды, но с мажоритарным декодированием, которые оптимально декодируются с минимально возможной сложностью $N \sim n$, причём, даже для очень высоких уровней шума. На них было выдано несколько патентов, а разнообразные экспериментальные «экзамены» полностью подтвердили все их прогнозировавшиеся характеристики. И потом в последующие годы несколько независимых диссертаций, в том числе докторские также полностью соответствовали результатам Золотарёва по символьным кодам, одновременно продвинув их далеко вперёд. Таким образом, появившийся маленький научный высококвалифицированный коллектив коллег В.В. Золотарёва символьными кодами завершил к середине 80-х годов вообще всю новую теорию кодирования для всех классических каналов, рассматривавшихся в ТК. По объёму работ и, главное, по их новизне и значимости это был на самом деле уже такой же результат, как у нескольких небольших высокопродуктивных НИИ.

Отметим, что и в 2020 году через 35 лет после открытия символьных кодов даже за рубежом всё ещё нет ни единой статьи по недвоичным символьным кодам с оптимальным декодированием или хотя бы по другим приблизительно столь же простым и эффективным алгоритмам. Почему? Объяснить такое как-то рационально абсолютно невозможно. Придумать тут что-то особенное просто нереально, но кажется, что специалисты по кодам вообще не умеют моделировать ничего и нигде! А «символика» одновременно полностью решила и все вопросы очень простого высокодостоверного хранения многобайтовых данных. Делать будем!?!

Число статей и докладов по кодам у новых лидеров науки росло. Но когда В.В. Золотарёв послал статью про символьные коды в ППИ, её тоже не приняли.

Так как символьные коды масштабно завершили новую теорию уже во всех аспектах, они стали поводом для завершения в 1987г. докторской диссертации, а также поиска достойного места для её защиты. Однако ситуация на самом деле была куда более сложной, чем перед оформлением результатов кандидатской. Сами сколь угодно значимые результаты в наше время часто вообще не оцениваются в ТК как определяющие при

вынесении серьёзных оргрешений. Кроме того, начались определённые попытки преуменьшить значение обновлённой теории кодирования. Например, на первой презентации диссертации для получения положительных отзывов на работу даже в НИИ Радио, для которого соискатель предложил много методов декодирования, успешно там даже реализованных, произошла забавная ситуация. После выступления соискателя, который предлагал НИИ Радио быть ведущим предприятием, двое сотрудников Института заявили, что методы МПД вовсе не относятся к простейшим, так как, дескать, этим специалистам такие декодеры создать не удалось. Но тут же выяснилось, что они не обращались к автору даже за консультациями, так как хотели всё сделать сами. На что члены НТС НИИР тут же им указали, что при наличии уже многих патентов на МПД и несомненном наличии различных «ноу-хау» безусловная «экономность» критиков, решивших не подключать к проблеме самого автора, сыграла с этими жалобщиками весьма милую шутку.

Но дальнейшее рассмотрение возможностей защиты показало, что даже вроде бы независимый в те годы МЭИС работу как бы и оценил, но диссертацию не принял. Было сказано, мол, что ИППИ АН СССР не рекомендовал. Казалось бы, ну и что? А тут практически сразу выяснилось, что одному из начальников в научно-исследовательском секторе вскоре захотелось выйти на защиту, в которой принимал участие ИППИ. Так что Москва новую науку «не принимала» совсем, не желая себе проблем на будущих защитах, которые контролировал ИППИ АН СССР.

Тогда соискателю пришлось обратиться в Ленинград. Там ему оказал всю необходимую разнообразную поддержку известнейший учёный в сфере ТК профессор Валерий Иванович Коржик. Его усилиями после сложной подстройки к ситуации, что было связано с постоянно меняющимися требованиями ВАК, в ноябре 1990 г. успешная защита В.В. Золотарёвым докторской диссертации в ЛЭИС им. проф. М.А. Бонч-Бруевича состоялась.

В последующем десятилетии развитие теории кодирования определялось сразу многими обстоятельствами. За период до 2000г. весьма застоявшаяся старая теория встряхнулась благодаря появлению сразу двух новых направлений: турбо кодов, а затем заново переоткрытых низкоплотностных кодов, обозначаемые теперь латиницей как LDPC коды. Они впервые показали инженерам, что достижение границы Шеннона, т. е. конечной цели теории кодирования действительно возможно. Это их самое главное и, несомненно, важнейшее значение в истории развития ТК. Однако турбо коды были весьма нетехнологичными, а декодеры LDPC стали немного проще первых при меньшей эффективности, но всё равно оказались слишком сложны для применений в высокоскоростных каналах связи.

В эти годы в теории и технологиях МПД тоже происходили важные преобразования. Школа Золотарёва глубоко перерабатывала программное обеспечение для МПД и переходила на новые компьютеры, производительность которых в этот период стала быстро расти. А усовершенствования в создаваемом сторонниками этого направления программном обеспечении были и вообще революционные. Век Оптимизационной Теории (ОТ) приближался. Эти изменения и сыграли решающую роль в получении в последующие годы полезных результатов в экспериментах, а также в создании новых направлений развития теории, получавшей очень качественную и конкретную подпитку от деятельности в сфере моделирования, результаты которого оказывали, естественно, в свою очередь и важнейшее влияние на выбор последующих направлений развития уже самой теории. Такого «научного симбиоза» в ТК ранее ни у кого не было.

Важную поддержку школа ОТ неоднократно получала от РФФИ. На его средства приобреталась вычислительная техника, а позже издавались и многие монографии научной школы ОТ В.В. Золотарёва. Просто исключительно жаль, что РФФИ теперь уже нет.

В начале нового тысячелетия В.В. Золотарёв перешёл на работу в ИКИ РАН. Это произошло после его успешного выступления на семинаре Р.Р. Назирова, которому докладчика рекомендовал В.Ф. Бабкин. После согласования вопроса с директором ИКИ РАН Л.М. Зелёным новый сотрудник приступил к работе.

Одним из наиболее значимых событий в начале его работ в ИКИ для развития теории и прикладных методов кодирования стало издание в 2004 году школой Золотарёва первого в России справочника по кодам под научной редакцией члена-корреспондента РАН Ю.Б. Зубарева, руководившего тогда главным институтом Минсвязи НИИР. Этот справочник, значительно расширивший границы возможностей теории и технических возможностей МПД алгоритмов для специалистов в области цифровой техники стал и первой большой совместной работой В.В. Золотарёва со своим молодым коллегой Г.В. Овечкиным, ныне профессором, зав.кафедрой прикладной математики рязанского РГРТУ. Их последующее длительное творческое содружество в огромной степени и сейчас многократно ускоряет продвижение результатов теории МПД и ОТ. При описании множества популярных алгоритмов МПД декодирования они как ведущие специалисты в этой сфере разнообразно подчёркивали фактическую оптимальность реальных МПД алгоритмов и их теоретически минимальную сложность. Других алгоритмов с такими ценнейшими возможностями тогда не было, да их нет и сейчас. Почему? Это самый сложный вопрос для тех, кто идёт в ТК своими путями, не обращая внимания на достижения научной школы Оптимизационной Теории (ОТ)

В этот же период в нашей стране был переведен целый ряд книг иностранных авторов при участии или по рекомендации сотрудников ИППИ РАН, а также несколько книг по методам кодирования специалистов ИППИ. Во всех таких книгах всегда были и подборки рекомендуемой литературы российских авторов, среди которых нигде не указывались никакие из многих сотен публикаций школы Золотарёва. И это при том, что ни в каких из десятка этих «новейших» книжек не приводились содержательные сведения по сложности предлагаемых там методов и сведений об экспериментальной проверке их реальных характеристик достоверности. Из самых общих данных об этих «новых» методах времён ещё 70-х ÷ 80-х годов можно было только понять, что им чрезвычайно далеко до возможностей алгоритмов МПД.

В 2006 г. в издательствах «Радио и связь» совместно с «Горячей Линией – Телеком» вышла первая большая монография В.В. Золотарёва «Теория и алгоритмы многопорогового декодирования» под научной редакцией Ю.Б. Зубарева, а в ИКИ РАН был организован большой сетевой портал www.mtdbest.iki.rssi.ru по методам МПД. Затем был создан аналогичный портал и в РГРТУ: www.mtdbest.ru. Теперь результаты научной школы ОТ стали доступны всему миру. В это же время по представлению НИИ Радио В.В. Золотарёв стал Лауреатом премии Правительства РФ в области науки техники.

Кстати, совсем недавно профессор В.В. Золотарёв создал ещё и свой именной сетевой портал <http://decoders-zolotarev.ru>, что ещё более расширило его контакты со всемирной научно-технической аудиторией.

В эти же годы при поддержке замдиректора ИКИ РАН И.В. Чулкова в ИКИ создан макет МПД алгоритма на скорость более 1 Гбит/с., что до сих пор в принципе так и осталось совершенно недоступным каким-либо другим методам. Наверное, такой макет ещё много лет будет уникальным устройством, лучшим по скорости и достоверности образцом системы коррекции цифровых данных, приходящих из самых дальних глубин Космоса. В этом

декодере были реализованы те методы обработки цифровых потоков, которые были ранее запатентованы автором ОТ. ИКИ РАН за этот действительно рекордный по характеристикам аппаратуры кодирования результат получил Золотую медаль Международного салона изобретений с вручением ему специального Диплома о признании особо важного достижения. Насколько мы понимаем, это единственная и главная Золотая медаль Международного салона, полученная ИКИ РАН за многие годы участия Института в его работе.

Выход первой масштабной монографии по алгоритмам МПД мог стать хорошим поводом для восстановления контактов автора с бывшими коллегами из ИППИ РАН. Поэтому неудивительно, что в журнал ППИ были снова направлены статьи по символьным кодам, характеристики которых были, как мы уже отмечали выше, теперь уже совершенно уникальны. Некоторую часть из переписки автора статей с редакцией, благодаря широкому распространению сетей теперь можно найти на упоминавшихся выше порталах научной школы ОТ. Однако под разными предложениями все статьи отвергались и попытки автора возвать к логике рецензентов ни разу не увенчались успехом. Там, в частности, посчитали, что новизны в символьных кодах – 0. Однако и до сих пор никаких результатов по недвоичным кодам, хоть отчасти близких к возможностям «символики», до сих пор ни у кого в мире по-прежнему нет! Кстати, рецензенты отклоняли статьи и по другим алгоритмам от школы ОТ из-за весьма смешных причин. В связи с этим даже неполный архив указанной переписки на страницах «Дискуссии» наших порталов представляет особенную ценность для официальных структур науки, отвечающих за её научный уровень, этику и развитие. Кроме массы грубых ошибок в формулировках и оценках результатов работ школы профессора Золотарёва по кодам, одни рецензенты публикаций школы совершенно не стеснялись заявлять, что не знают мажоритарных методов (так зачем тогда взялись оценивать такие статьи!?!), а другие половину своих отзывов посвящали изложению своих личных «достижений», которые были более, чем печальными и крайне ограниченными (и ведь не постеснялись рекламировать мусор!). А третьи даже утверждали, что разница между двоичными кодами и недвоичными совершенно несущественна, что было уже верхом необразованности, поскольку у этих кодов очень разные вероятности ошибок при заданном кодовом расстоянии, совершенно различные уровни пропускной способности каналов и кодовых границ, а также масса других отличий. Наверное, в противовес этим «рецензентам» можно указать, что на символьный МПД школа ОТ получила 4 патента на изобретения, что снимает абсолютно все вопросы об «абсолютной похожести» кодов, существующей только в воображении некоторых крайне низкоквалифицированных сотрудников ИППИ РАН. Некоторые из этих «чудес научного мышления» можно увидеть на порталах школы ОТ в разделах «Дискуссии».

Тем не менее, желая привлечь на свою сторону несомненно потенциально довольно высокообразованных специалистов ИППИ, не нашедших правильные пути своего участия в развитии теории и её прикладных вопросов, профессор В.В. Золотарёв предпринял ещё две попытки объяснить суть реальной теории кодирования для большого уровня шума (а другой хорошо работающей теории, кроме ОТ, тут и нет!) коллегам с другими представлениями о модели мира в аспекте теории кодирования. Он справедливо полагал, что его прямая обязанность, независимо от взаимоотношений между конкретными специалистами, состоит в поиске путей концентрации усилий исследователей именно на перспективных направлениях. Однако участники тех семинаров ИППИ РАН по кодированию, как это уже было и раньше, вновь не смогли удержаться от соблазна опровержения Основной Теоремы, чего в принципе нельзя сделать, так как она связана только с двумя общепринятыми разными описаниями простейшего цифрового сообщения, переданного по шумящему

каналу с использованием некоторого кода. Иначе это было бы сделано намного раньше, и уж точно не через 30 лет после её очень точной формулировки, вообще лишившей прежнюю ТК каких-либо перспектив. Правда, чисто психологически её критиков можно было понять, так как теорема ОТМПД в десятке строк текста своего доказательства действительно обрушила всю их прежнюю теорию кодирования, безбедно существовавшую 50 лет вообще без каких-либо значимых результатов. Конечно, это крайне трудно пережить. Но ведь и полвека безделья тысяч работников также нельзя было терпеть. Кстати, одним из дополнительных жёстких указателей на истинность Основной Теоремы являются все собственно экспериментальные высочайшие результаты оценок характеристик МПД, всегда демонстрируемые при моделировании этих алгоритмов. А ещё одним из таких ярких качественных (!) свидетельств её абсолютной истинности является демомультифильм, который можно переписать с любого из порталов школы ОТ. Например, можно скопировать гиперссылку

<https://decoders-zolotarev.ru/wp-content/uploads/2020/11/mtddemo.zip>

с нового авторского портала профессора В.В. Золотарёва, по которой вы получите этот красочный мультик и затем согласно очень простой прилагаемой инструкции легко запустите его. Эта весьма впечатляющая каждого специалиста в области кодирования демопрограмма покажет вам самое главное свойство алгоритмов МПД, гарантированное Великой теоремой ОТМПД, согласно которой при всех изменениях декодируемых символов в двоичном симметричном канале алгоритм МПД строго приближается к оптимальному решению для данного сообщения. Никакие другие методы коррекции ошибок не обладают даже приблизительно такими же крайне ценными свойствами стремления своих решений к решениям оптимальных переборных декодеров, тогда как сложность самого МПД всегда пропорциональна просто длине кода, т. е. минимально возможная даже теоретически. Безобидный вроде бы мультифильм, тем не менее, позволяет сразу ощутить огромную пропасть между результатами сторонников школы ОТ и адептов прежней абсолютно бесплодной теории, отставших от работ ведущих научных сотрудников ИКИ РАН и РГРТУ, возможно, на $\sim 30 \div 40$ лет.

Возможно, что вам после такого впечатляющего образца эффективнейшей работы МПД захочется посмотреть хотя бы мельком и общие сведения об ОТ и методах МПД. Тогда вы можете переписать на свой компьютер наш новый маленький буклет-комикс об МПД по гиперссылке <https://decoders-zolotarev.ru/wp-content/uploads/2021/02/comics.pdf>.

Мы обращаем ваше внимание на то, что, несмотря на облегченную форму изложения основ теории ОТ, все необходимые детали и особенности алгоритмов МПД и других методов ОТ, как, в общем, и всех других алгоритмов, описаны там абсолютно точно. В его написании принимали участие ведущие сторонники школы ОТ и видные специалисты, активно поддерживающие её, в том числе и члены РАН.

А для ещё более детального изучения теории и прикладных вопросов ОТ у вас есть возможность посмотреть на именном портале профессора В.В. Золотарёва все книги научной школы ОТ, которые можно найти на странице «Наши книги». Они также есть на аналогичной странице портала РГРТУ www.mtdbest.ru.

С выходом в 2012 году коллективной монографии руководителей научной школы ОТ под научной редакцией академика РАН В.К. Левина, в которой были представлены новые результаты взаимодействия аналитических методов исследований и экспериментов на больших новых программных платформах, разработки ОТ стали ещё более масштабными

при сохранении высокой эффективности декодирования и минимальной сложности алгоритмов. Многие из них продолжали патентоваться.

Следующий цикл издания книг научной школы ОТ последнего времени, число которых уже приблизилось к десяти, создаёт уже конкретные возможности для изучения ОТ, использования всех созданных программных платформ для проектирования, моделирования и сопровождения разработок алгоритмов ОТ, что обеспечивают сейчас все сетевые порталы школы ОТ. Подготовленные технологии помогают созданию аппаратуры кодирования для систем спутниковой и космической связи, которая будет иметь характеристики, недостижимые ни для каких других методов дальней связи с использованием кодирования. Все эти платформы предлагаются и для активного самообучения методам ОТ.

Эти же задачи цифровой связи решены в двух монографиях на английском языке, одна из которых после тщательной экспертизы издана в Женеве Международным союзом электросвязи (МСЭ/ITU) в юбилейный для МСЭ 2015 год 150-летия этой уважаемой организации, аккредитованной при ООН.

Свидетельством высочайшей официальной оценки достижений школы ОТ стало недавнее награждение её руководителя Золотой медалью Евросоюза "For exceptional achievements/За исключительные достижения", которой удостоиваются деятели науки только за действительно выдающиеся результаты исследований.

Научный редактор новой монографии В.В. Золотарёва «Теория кодирования как задача поиска глобального экстремума» академик РАН Н.А. Кузнецов в своём предисловии к ней в 2018 году написал: «Особое значение выхода в свет столь важной монографии определяется тем, что 2018 год является юбилейным для теории кодирования. 70 лет назад Клод Шеннон выдвинул проблему простого и эффективного декодирования перед наукой и техникой в своей замечательной статье "Математическая теория связи". Отрадно найти её успешное решение в этом юбилейном году в монографии российского учёного». Перечисленные достижения профессора В.В. Золотарёва, которые он сумел реализовать в период его очень успешной работы в ИКИ при поддержке ряда его руководителей, тем не менее, показывают и целый ряд проблем, которые явно присутствуют в научной деятельности в сфере цифровых технологий.

Самым сложным для анализа ситуации конкретно в теории кодирования является существенный разрыв, видимо, близкий к двум-трём десятилетиям, в уровне достижений лидеров и основной массой научных сотрудников, причём, вовсе не в отдалённых регионах, а в ведущих научных центрах столицы и нескольких крупнейших городов. Многих таких «учёных» не устраивают оценки их «хлопот» в науке, которые делаются участниками школы ОТ в своих обзорах по прикладным вопросам ТК. И эти же группы специалистов издают учебники для студентов, в которых для некоторых типов кодов разница в сложности реализации может составлять 5 и более десятичных порядков при их сравнении с аналогичными очень технологичными алгоритмами ОТ, причём, для некоторых других кодов сложность реализации их декодеров отличается ещё в большей степени от методов ОТ, запатентованных и всесторонне проверенных. Возможно, что это связано с полной потерей традиции публикаций критических обзоров развития тех или иных отраслей науки. Сейчас даже любые статьи просто сравнительно-аналитического плана воспринимаются крайне негативно и редакциями журналов, и многими читателями. Но такое конформистское отношение к процветанию откровенно слабых групп специалистов, неспособных к развитию, только углубляет проблемы имитации научной деятельности. Наверное, было бы полезнее, если бы и отдельные безусловно признанные лидеры нашей отрасли науки могли более активно и, главное, с решающим голосом оценивать уровень многих работ в

сфере кодирования, чтобы вовремя и целенаправленно переформатировать ограниченные ресурсы развития на самых успешных направлениях. Это могло бы существенно ускорить выявление и разработку новых перспективных идей и технологий. Кстати, мы полагаем крайне печальным фактом давно забытый лозунг : «Программирование – вторая грамотность!». Фактическое исключение процедур моделирования из нынешней научной деятельности в ТК полностью удалило с полей науки прежнюю ТК, что было необходимо признать ещё 30 лет назад.

А мы со стороны сотрудников, давно работающих рядом с профессором В.В. Золотарёвым, желаем ему дальнейших научных успехов и освоения самых неприступных высот в создании новых лучших в мире алгоритмов для цифровых систем дальней космической связи и ДЗЗ.

Рисунки (фото) к статье.



Аспирант В. Золотарёв (слева) на Международном симпозиуме по теории информации в Репино под Ленинградом, 1976 год, с коллегами из ИППИ АН СССР.



В.В. Золотарёв на выставке «Связь». На грани тысячелетий.

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

МАКЕТ на информационную скорость ~1,08 Гбит/с

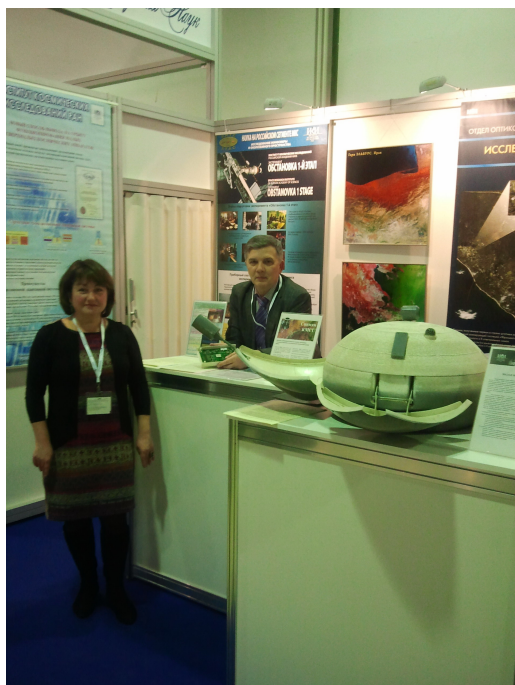
The multithreshold decoder (MTD) for satellite and Space channels, raises efficiency of their usage in 3-10 times, including **channels up to 1Gb/s**



ИКИ РАН

МПД для космоса, оптических каналов и флеш-памяти

Макет многopopорогового декодера на сверхбольшую скорость декодирования более 1 Гбит/сек, созданный в 2007 году в ИКИ РАН.



На Международном салоне изобретений в 2009 году, где за патент В.В. Золотарёва на сверхбыстрый МПД ИКИ РАН была вручена Золотая медаль и особый Диплом признания заслуг, с представителем от ИКИ Е.А. Антоненко.



Выступление на конференции с лекцией
по Оптимизационной Теории в 2017 году



Профессор В.В. Золотарёв
перед выходом в свет
своей 5-й монографии в 2018 году.



Обложка новой монографии профессора В.В. Золотарёва, вышедшей в 2021 году в издательстве «Горячая линия – Телеком», Москва.

Наши порталы по ОТ и МПД

www.mtdbest.ru

www.mtdbest.iki.rssi.ru

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

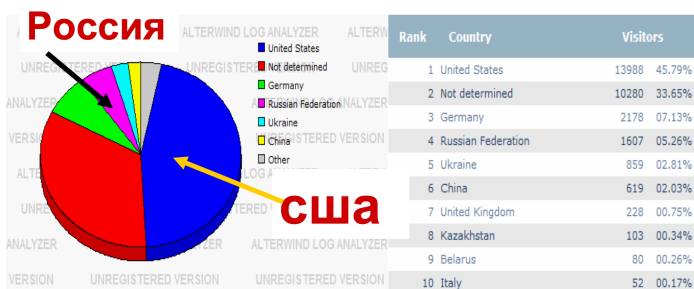
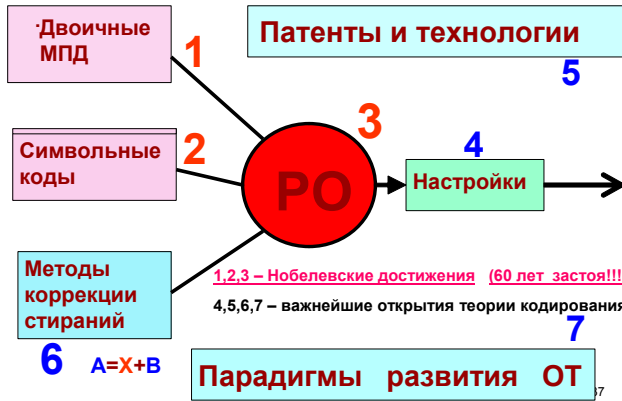


Иллюстрация популярности теории ОТ и МПД алгоритмов в мире.

Открытия Оптимизационной Теории



Из новой монографии В.В. Золотарёва 2021 года:
 Структура ОТ: пп. 1÷3 - Нобелевские достижения,
 пп. 4÷7 - важнейшие открытия теории ОТ.