

(Automatic text translation)

About publication of the professor 's Valery Vladimirovich Zolotarev book

At the beginning of this 2021, Doctor of Technical Sciences, Professor of the SRI RAS V.V. Zolotarev, the most active Russian author of books on the theory of noise proof coding, published his new monograph "**Optimal decoding Zolotarev's algorithms** (*Optimization Theory - a compact perfect solution of Shannon's problem*)". The book is preceded by an introductory article by its scientific editor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences Yu.B. Zubarev and a foreword by Professor G.V. Ovechkin (Ryazan State Radio Engineering University named after V.O. Utkin).



The problem of effective decoding of the data of our digital civilization was posed more than 70 years ago by an outstanding American specialist Claude Shannon, who indicated the limits for the permissible noise level, which nevertheless allows correcting errors in data transmission occurring in such channels. However, initially nothing was known about specific real methods of correcting digital streams in the presence of channel noise. At first it was the existence theorem. This was partly the reason why mathematicians took these ideas somewhat coldly.

But in the future, the problem of noise-resistant coding, posed by Shannon, became one of the main tasks solved by scientific collectives of all technologically developed countries of the world.

In the new monograph of Professor V.V. Zolotarev in a very successful and logical format presents a complete solution of Shannon's problem for all classical channels considered by traditional coding theory. The very unusual combinations of methods proposed by the author for studying algorithms for decoding digital streams in noisy channels provided, indeed, even theoretically, the best characteristics in terms of the complexity of implementing error correction algorithms and their final veracity. And most importantly, the algorithms of multithreshold decoding (MTD), created by the author of the book and his scientific school of Optimization Theory (OT) of noise-resistant coding, retain these extremely valuable properties even near the Shannon's bound. This allows us to say that Professor V.V. Zolotarev is the first specialist in the world who has received the undoubted right to declare a real complete solution for the greatest problem of the digital world of effective decoding near the channel capacity. And there are simply no other approaches to this extremely urgent task that are close in level and accessibility to OT methods.

A small-sized monograph on practically optimal methods actually contains a huge number of different materials, to which the author has organized convenient access, apparently from the world's largest online portals of the school OT: www.decoders-zolotarev.ru , www.mtdbest.ru and www.decmtdzol.ru . This is especially valuable, since readers simultaneously get interactive access to numerous information and reference materials and software, which allows them to begin quickly exploring the possibilities of many decoding methods and algorithms presented in the book. Familiarization with these methods clearly shows why, according to the triune strict criterion of $NVC = \text{"noiseproofness—veracity—complexity"}$, OT algorithms have no competitors. The absolute global leadership of OT is determined by the synergetic acceleration of its development, due to the close interaction of a fine original theory and special innovative software that does not yet have comparable analogues with it. That is why all the parameters of the NVC criterion for OT algorithms almost always turn out to be the best possible. But the author also convincingly shows that the previous theory has not found and will never be able to obtain analytical estimates for the NVC parameters. And the following from this dramatic fact for the former theory, the extreme importance of the creation of optimization software by the OT school becomes decisive in the leadership of the author's scientific team and in the only possible accurate experimental determination of all parameters of the decoding algorithms of the scientific school of OT.

It is very valuable for communication technology that all OT methods are easily recognizable and understandable, since they are simple modifications of the majority methods and the Viterbi algorithm (VA) known to all specialists in digital signal processing. But the author paid special attention to VA. The block versions of this algorithm described by him (BVA) have the same exponential complexity as in its convolutional classical version, which is half that of many block optimal schemes created by other scientific groups. Moreover, the BVA variant of the author of the book allows for a wide adjustment of the

parameters of the code and decoder, which repeatedly expands the range of applications of this so successfully updated and patented by the school OT the main algorithm of the last century. Apparently, there are no other optimal block methods that are equally convenient for implementing, comparable to BVA.

A special scientific and technological success of the OT theory consists in linear, i.e. in the minimum possible relative to the length of the codes of the complexity of the MTD decoders with practically optimal results even near the Shannon's bound. But this bound is absolutely elastic and unattainable, as it is for the speed of light for material bodies. This means that all solutions and technologies OT are an excellent compromise with Nature, since optimal decoders are always exponentially complex.

It is significant that it was an unusual combination of theoretical and experimental tools for the study of the Shannon's problem for the former coding theory that allowed the author to significantly outrun the results of other competitive groups. At the same time, he absolutely correctly points out that the most important role of software in Shannon's problem solving by methods of optimization theories indicates that coding theory in its applied aspects is not a mathematical problem at all. That is why Shannon's problem has been solved, and the former applied coding theory as a science has been completed thanks to the interaction of an unusual delicate theory and various global optimization technologies on special arrays with potential self-correction properties. The resulting synergetic acceleration of research, due to the mutual support of theory and experiment, provided all the unconditional priorities of the scientific school of the author of the monograph.

It should be noted the amazing compactness of the OT theory and the absolute minimum of very simple formulas deduced by the author. However, at the same time, the monograph fully describes the necessary characteristics of decoding methods for all types of channels considered by the new theory. This emphasizes the perfection of OT, which is actually a detailed system-philosophical treatise in digital computer science. In the methodological aspect, when presenting the results of OT, various ways of explaining by the author, which is still not recognized by the theorists of the "former" theory, are now important and the unconditional fact that, apart from experimental hardware and software methods, there are no other ways to determine the real characteristics of decoding algorithms at a high noise level, and perhaps never will be. The most important solutions to the great Shannon's problem founded by Professor V.V. Zolotarev in the digital world for all classical traditional channels in coding theory are an excellent reminder to all specialists that truly large-scale scientific and technical problems almost never have purely analytical simple expressions. One can hope that the understanding of this circumstance, which is crucial for effective scientific activity, will save many "theorists" from a very dismissive attitude to the experimental aspects of research.

In conclusion, of the review an extremely unusual book published based on the results of many years of V.V. Zolotarev's research, performed at the SRI of the Russian Academy of Sciences, we emphasize that Russian science has presented a wonderful gift to the modern digital information community - the Optimization Theory of noise proof coding, the new "quantum mechanics" of information theory. The results obtained by the scientific school of the author of the monograph relating to the Main Theorem, symbolic codes, the theory of the decoding errors propagation and a number of other achievements supported by more than a dozen patents for inventions are absolutely unique. This allowed the author and his colleagues to solve such complex tasks for which their adequate formulations have not yet been discussed in other scientific groups. The result of these almost half a century of research was that the scientific school was ahead of the achievements of the rest of the digital world in the field of ensuring high reliability of the "digit", apparently, by 20 + 30 years.

Undoubtedly, the world scientific community has every opportunity to evaluate the work of Professor v/v/ Zolotarev's school and as extremely successful results of research based on the works of academician V.A. Kotelnikov, K. Shannon, A. Viterbi, J. Messi, as well as the MIPT scientific school, and as certainly worthy of the Nobel Prize, the most important achievement of a truly world-class Russian science.

Congratulations to the author of this extremely valuable monograph of paramount importance on the highest fundamental scientific achievement - the creation of modern methods and technologies for highly reliable and efficient processing of information content of our digital civilization.

Doctor of Technical Sciences, Professor, (*Signature*)
Merit worker of the Higher School of the Russian Federation,
Honorary Worker of Science and
Technology of the Russian Federation

A.N.Pylkin

September 29, 2021

(The original Russian text)

Новая книга по Оптимизационной Теории профессора Валерия Владимировича Золотарёва

В начале текущего 2021 года д.т.н., профессор ИКИ РАН В.В. Золотарев, наиболее активный российский автор книг по теории помехоустойчивого кодирования, опубликовал свою новую монографию «Оптимальные алгоритмы декодирования Золотарёва (Оптимизационная Теория — компактное совершенное решение проблемы Шеннона)». Книгу предваряют вводная статья её научного редактора члена-корреспондента РАН Ю.Б. Зубарева и предисловие профессора Г.В. Овечкина (Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.О. Уткина).

Проблема эффективного декодирования данных нашей цифровой цивилизации была поставлена более 70 лет назад выдающимся американским специалистом Клодом Шенноном, указавшим границы для допустимого уровня шума, позволяющего, тем не менее, исправлять возникающие в таких каналах ошибки при передаче данных. Однако первоначально о конкретных методах коррекции цифровых потоков при наличии шума канала не было ничего известно. Сначала это была теорема существования. Отчасти это стало причиной того, что математики приняли эти идеи несколько холодно.

Но в дальнейшем проблема помехоустойчивого кодирования, поставленная Шенноном, стала одной из главнейших задач, решаемых научными коллективами всех технологически развитых стран мира.

В новой монографии профессора В.В. Золотарёва в очень удачном и логичном формате изложено полное решение проблемы Шеннона для всех классических каналов, рассматриваемых традиционной теорией кодирования. Предложенные автором очень необычные сочетания методов исследования алгоритмов декодирования цифровых потоков в шумящих каналах обеспечили действительно даже теоретически наилучшие характеристики по сложности реализации алгоритмов коррекции ошибок и по их итоговой достоверности. А самое главное, эти исключительно ценные свои свойства алгоритмы многопорогового декодирования (МПД), созданные автором книги и его научной школой Оптимизационной Теории (ОТ) помехоустойчивого кодирования, сохраняют даже вблизи границы Шеннона. Это и позволяет утверждать, что профессор В.В. Золотарёв является первым в мире специалистом, получившим несомненное право заявить о реальном полном решении им величайшей проблемы цифрового мира — эффективного декодирования вблизи пропускной способности канала. И каких-либо других близких по уровню и доступности к методам ОТ подходов к этой крайне актуальной задаче пока просто вообще нет.

Небольшая по размеру монография по практически оптимальным методам на самом деле вмещает огромное число различных материалов, к которым автор организовал удобный доступ, видимо, с крупнейших в мире сетевых порталов школы ОТ: www.decoders-zolotarev.ru , www.mtdbest.ru и www.mtdbest.iki.rssi.ru . Это особенно ценно, так как читатели одновременно получают интерактивный доступ и ко многочисленным информационно-справочным материалам, и к программному обеспечению, что позволяет быстро начать изучение возможностей многих методов и алгоритмов декодирования, представленных в книге. Ознакомление с этими

методами наглядно показывает, почему по триединому жёсткому критерию ПДС= «помехоустойчивость — достоверность — сложность» у алгоритмов ОТ нет конкурентов. Абсолютное мировое лидерство ОТ определяется синергетическим ускорением её развития, обусловленным тесным взаимодействием тонкой оригинальной теории и специального инновационного программного обеспечения, не имеющего пока сопоставимых с ним аналогов. Именно поэтому все параметры критерия ПДС у алгоритмов ОТ практически всегда оказываются наилучшими возможными. Но автор при этом убедительно показывает также, что прежняя теория не нашла и никогда не сможет получать аналитические оценки для параметров ПДС. И следующая из этого драматического для прежней теории факта чрезвычайная важность создания школой ОТ оптимизационного ПО становится решающим в лидерстве научной команды автора и в единственно возможном точном экспериментальном определении всех параметров алгоритмов декодирования научной школы ОТ.

Очень ценно для техники связи, что все методы ОТ легко узнаваемы и понятны, т. к. они являются простыми модификациями известных всем специалистам по цифровой обработке сигналов мажоритарных методов и алгоритма Витерби (АВ). Но на АВ автор обратил особое внимание. Описываемые им блочные версии этого алгоритма (БАВ) имеют такую же экспоненту сложности, как и в его свёрточном классическом варианте, которая вдвое меньше, чем у многих блочных оптимальных схем, созданных другими научными группами. Более того, вариант БАВ автора книги допускает широкую настройку параметров кода и декодера, что многократно расширяет спектр применений этого столь успешно обновлённого и запатентованного школой ОТ главного алгоритма прошлого века. Других таких же удобных при реализации оптимальных блочных методов, сопоставимых с БАВ, судя по всему, нет.

Особенная научная и технологическая удача теории ОТ состоит в линейной, т. е. в минимально возможной от длины кодов сложности МПД декодеров при практически оптимальных результатах даже вблизи границы Шеннона. Но эта граница абсолютно упруга и недостижима, как и скорость света для материальных тел. Это означает, что все решения и технологии ОТ - отличный компромисс с Природой, так как оптимальные декодеры всегда экспоненциально сложны.

Существенно, что именно необычная для прежней теории кодирования комбинация теоретических и экспериментальных инструментов исследования проблемы Шеннона позволила автору существенно опередить результаты других конкурентных групп. При этом он абсолютно правильно указывает, что важнейшая роль программного обеспечения в решении проблемы Шеннона методами оптимизационных теорий свидетельствует о том, что теория кодирования в своих прикладных аспектах вовсе не является математической задачей. Именно поэтому проблема Шеннона решена, а прежняя прикладная теория кодирования как наука завершена благодаря взаимодействию необычной тонкой теории и различных технологий глобальной оптимизации на специальных массивах с потенциальными свойствами самокоррекции. Возникшее при этом синергетическое ускорение исследований, обусловленное взаимоподдержкой теории и эксперимента, обеспечило все безусловные приоритеты научной школы автора монографии.

Следует отметить удивительную компактность теории ОТ и абсолютный минимум выводимых автором весьма простых формул. Однако при этом в монографии полностью описаны необходимые характеристики методов декодирования для всех типов каналов, рассматриваемых новой теорией. Это

подчеркивает совершенство ОТ, которая фактически является развёрнутым системно-философским трактатом в цифровой информатике. В методическом аспекте при изложении результатов ОТ важны разнообразные способы объяснения автором всё ещё не признаваемого теоретиками «прежней» теории теперь уже того безусловного факта, что, кроме экспериментальных аппаратных и программных методов, никаких иных способов определения реальных характеристик алгоритмов декодирования при большом уровне шума нет и, возможно, никогда и не будет. Полученные профессором ВВ. Золотарёвым важнейшие для цифрового мира решения великой проблемы Шеннона для всех классических традиционных в теории кодирования каналов являются отличным напоминанием всем специалистам о том, что действительно масштабные научно-технические проблемы практически никогда не имеют чисто аналитических простых решений. Можно надеяться, что осознание этого важнейшего для эффективной научной деятельности обстоятельства избавит очень многих «теоретиков» от весьма пренебрежительного отношения к экспериментальным аспектам исследований.

В заключение отзыва о чрезвычайно необычной книге, изданной по итогам многолетних исследований ВВ. Золотарёва, выполненных в ИКИ РАН, подчеркнём, что российская наука преподнесла современному цифровому информационному сообществу замечательный подарок Оптимизационную Теорию (ОТ) помехоустойчивого кодирования, новую «квантовую механику» теории информации. Полученные научной школой автора монографии результаты, относящиеся к Основной Теореме, символьным кодам, теории размножения ошибок декодирования и целый ряд других достижений, поддержанных не одним десятком патентов на изобретения, являются абсолютно уникальными. Это позволило автору и его соратникам решить такие сложнейшие задачи, для которых в других научных группах пока даже не обсуждались их адекватные постановки. Итогом этих фактически полувековых исследований стало опережение научной школой ОТ достижений всего остального цифрового мира в сфере обеспечения высокой достоверности «цифры», видимо, на $20 \div 30$ лет.

Несомненно, мировое научное сообщество имеет все возможности оценить работы школы профессора ВВ. Золотарёва и как крайне успешные итоги исследований, основанных на работах академика В.А. Котельникова, К. Шеннона, А. Витерби, Дж. Мессии, а также научной школы МФТИ, и как безусловно достойное Нобелевской премии важнейшее достижение истинно мирового уровня всей российской науки.

Поздравляем автора этой исключительно ценной монографии первостепенной важности с высочайшим фундаментальным научным достижением - созданием современных методов и технологий высокодостоверной и эффективной обработки информационного контента нашей цифровой цивилизации.

Доктор технических наук, профессор,
Засл. работник высшей школы РФ,
Почетный работник науки и техники РФ

А.Н.Пылькин

29 сентября 2021 года