

Предисловие ко второму изданию

Перед вами, дорогие читатели, книга необычного происхождения, редкой судьбы и особой значимости. Ее автор — выдающийся ученый современности академик Владимир Александрович Котельников. Написанная более 50 лет назад и впервые изданная в 1956 г., прочитанная поколениями радистов, процитированная в ссылках к тысячам научных публикаций, — она даже для опытных специалистов содержит ряд идей, достойных дальнейшей разработки. Но главное в другом: это школа логического мышления в науке. И в этом ее непреходящая ценность, особенно для начинающих исследователей.

Теория потенциальной помехоустойчивости (ТПП) — это докторская диссертация В. А. Котельникова, завершенная в 1946 г. и защищенная в январе 1947 г. Один из авторов этих строк присутствовал на том заседании, будучи студентом 5 курса радиотехнического факультета, и . . . ничего не понял. Это не удивительно, как не очень удивительно и то, что никто в то время не понял **что** именно произошло. Многие чувствовали, что это значительно; что автор вычислил помехоустойчивость каких-то идеальных приемников; показал, что известные способы приема далеки от идеальных. Но что при этом делать — было не совсем ясно. А главное — было не очень понятно, как он это сделал? Ведь никаких схем приемников не было!

Диссертация изобиловала новыми понятиями и операциями, многомерными пространствами и очень четкими результатами расчетов, ибо весь анализ был доведен до инженерных формул и даже численных графиков, которыми мы пользуемся и сегодня.

Диссертацию приняли и одобрили. Она была опубликована в виде сокращенной монографии лишь через 10 лет в 1956 г. (правда, фрагменты появлялись и раньше). В редакторской аннотации было сказано, что «изложенный в ней материал может быть использован при анализе методов модуляции и радиоприема», что было, как мы теперь понимаем, очень далеким приближением к истине.

Затем произошел обвал. В течение десятилетий почти не было публикации по радиоприему сигналов, в которых отсутствовала бы ссылка на «теорию Котельникова». Такая ссылка стала признаком «высокого научного уровня» публикации. При этом иногда можно было прочесть о «теореме Котельникова», которая доказана в его теории потенциальной помехоустойчивости, хотя эта теорема не имеет прямого отношения к этой теории и в ней даже не упоминается.

Потом появились сходные публикации на Западе, особенно в США (где книга была переведена)¹⁾. Возникла великая идея корреляции как основного средства борьбы с помехами при выделении сообщений. Инженеры постепенно поняли, что «многомерные пространства», апостериорные вероятности и правдоподобия — это не просто абстрактные понятия, они воплощаются в реальных технических устройствах.

Далее количество ссылок на теорию постепенно затухало, хотя не прекращаются они и по сей день.

Молодые поколения исследователей часто только слышали о наличии книги, но никогда даже не держали ее в руках. Откуда же, если 50 лет назад было издано лишь 5000 экземпляров на фоне многотысячных тиражей других изданий? Последующее учебное изложение теории «замутило» ее исходную чистоту, исследовательский аппарат скрыт «наглядностью» геометрического толкования, а намеченные в теории идеи остались незамеченными.

Как объяснить эту необычную судьбу? Необходимо вспомнить, что ТПП появилась для научной общественности буквально на пустом месте. Она не была подготовлена предварительными авторскими публикациями, постепенно «подводящими» к цели. Автору ссылаться было не на кого. Поэтому в книге читатель не найдет библиографического списка.

Строгие критики отметят, что утверждение о «пустом месте» несомненно преувеличено. Конечно, уже к 30-м годам теория вероятностей и теория случайных процессов были хорошо разработаны и представлены в трудах Э. Бореля, А. А. Маркова, А. Н. Колмогорова и других ученых. Уже существовали теории оценки параметров Р. Фишера и Г. Крамера и теория проверки гипотез Дж. Неймана и Е. Пирсона. К началу 40-х годов знали теорию статистических решений А. Вальда.

Однако тогда эти работы не были широко известны среди специалистов в области передачи сигналов и носили отвлеченный математический характер. Даже простой перенос этих теорий на радиотехнические задачи был бы подвигом.

Предлагаемая читателям книга все объяснит специалистам. Однако для тех, кто не работает в области статистических подходов, следует пояснить, что в основе ТПП лежат два «кита»: теория Байеса о связи вероятностей причин и следствий, и разложение колебаний (сигналов, помех и их сумм) в ортогональные ряды. Появляющиеся при этом коэффициенты разложения и образуют «наглядные» многомерные пространства, в которых разыгрываются статистические события. Для тех, кто привык к чтению современных публикаций по оптимальному приему, следует обратить внимание на то, что В. А. Котельников применяет

¹⁾ Kotelnikov V. A. The theory of optimum noise immunity. — New York, Toronto, London: Me Graw Hill book Co., 1959. — 140 p.

Небезынтересно отметить, что ее название переведено как «Optimum noise immunity», в то время как верный перевод был бы «Maximum noise immunity».

«тривиальное» разложение в ряды Фурье по системе тригонометрических функций. Он не использует, как было уже сказано, разложение в физически более наглядный «ряд Котельникова». Это, по-видимому, диктовалось распространенным в те годы «спектральным подходом».

Не встретит читатель в книге и «теорему Байеса». Она появляется в работе просто как соотношение из теории вероятностей в виде формулы (3.6), которое предполагается известным читателям. Не употребляется и термин «апостериорная вероятность». Вместо него предлагается максимизировать выражение (3.8). Вся «история» начинается дальше.

Выше мы утверждали, что книга «Теория потенциальной помехоустойчивости» является школой научного мышления. Это система знаний, обладающая свойствами, которые в англоязычной литературе называют термином *selfcontaining*. Она начиналась с четкого описания («математического моделирования» в модной ныне терминологии) всех «действующих лиц» задачи: сообщений, сигналов и помех. Далее следует гл. 2 со скромным названием «Вспомогательный математический материал». Это явно несправедливо. Фактически это изящное и четкое представление всех понятий и операций, которыми будет пользоваться автор. Она завершается параграфом, который станет лейтмотивом изложения: «Геометрическое толкование полученных соотношений». Мы не установили, использовалось ли такое толкование где-либо раньше. Но в радиотехнике это было несомненно педагогическое и методическое открытие, которое прочно вошло во все последующие книги и учебники. Создавая удивительную наглядность результатов (если можно говорить о наглядности многомерного пространства), оно способствует более легкому пониманию и особенно запоминанию отнюдь не тривиальных результатов. Небезынтересно отметить, что автор пользовался геометрическими образами не для доказательства утверждений, а только для иллюстрации. Позднее это хорошее правило было отчасти забыто, и авторы начали доказывать геометрией (не учитывая, что «гео» — только трехмерная), что иногда приводило к курьезным результатам.

Читатели отметят универсальный охват ситуаций, рассмотренных в книге. В первых трех ее частях рассматриваются решения всех основных задач современной статистической радиотехники: передачи дискретных сообщений (задача распознавания), оценки параметров (автор называет ее «передача отдельных значений параметров») и фильтрации (автор называет ее «передача колебаний» — в смысле непрерывных сообщений). При этом поучительно заметить элементы нелогичности в существовавшем тогда мышлении. Так, все виды модуляции автор делит на прямые и интегральные. При этом в первую группу попадают амплитудная и, например, фазовая модуляция, во вторую входит частотная. Ныне модуляции классифицируют на линейные и нелинейные. При этом фазовая модуляция перейдет из класса прямых в класс нелинейных, что конечно логично с точки зрения оптимального приема.

Удивительной для читателей младшего поколения особенностью изложения является отсутствие в книге каких-либо структурных схем. Создается впечатление парадоксальной ситуации: определены правила, по которым действует идеальный приемник, выведены формулы для расчета показателей качества (вероятностей, дисперсий), построены численные графики, но где же сам приемник — остается неясным. Не следует считать, что это впечатление — результат вашей несообразительности. Современники ТПП испытывали то же чувство. Все дело (и необычность ТПП) в том, что автор не ставил задачи отыскания структур, реализующих идеальный приемник. Что это — оригинальность или «неумение»? Автор в шутку отвечал так: «Зачем же делать все? Надо оставить работу и для других». Действительно эти структуры были найдены, и ныне мы знаем большое разнообразие корреляционных устройств или устройств на согласованных или оптимальных фильтрах.

Итак, это старая, но вечно новая книга. Это школа мышления, позволяющая найти необычные подходы к решению задач, школа не просто знания, но понимания сложных явлений, школа умения изложить и пояснить новые результаты. Некоторые из разбросанных в ней «намёков» ждут своей разработки. Автор нашел симплексные сигналы, но не указал на другие возможности. Он детально проанализировал ситуации при флуктуационных гауссовых помехах, но не рассмотрел иные допустимые случаи. Он пренебрег искажениями, вносимыми в сигналы линиями передачи.

Многое из отмеченного рассмотрено следующими поколениями исследователей, в том числе учениками В. А. Котельникова.

Однако разве наука перестала быть неисчерпаемой?

Г. С. Ланцберг
Л. И. Филиппов