

# ОКОЛО ВЕЛИКОГО

*Л.И. Филиппов*

Легко следовать за теми, кто правильно идет  
вперед.

*Ян Каменский*

Должен быть почитаем, как Бог тот, кто умеет  
хорошо определять и разделять.

*Платон*

Настойчивость — вектор. Иногда направление  
важнее, чем величина.

*В.А. Котельников*

## «Право» на эссе

Я, автор этих строк, в контексте настоящей книги — личность «уникальная». Понимая, что уникальность — качество априорно не всегда положительное. Прошу будущих возможных читателей заметить, что автор был:

Студентом В.А. Котельникова (с третьего курса),

Его дипломником,

Его аспирантом, его сотрудником на кафедре в МЭИ,

Его помощником в Совете по радиоастрономии АН СССР,

Его докторантом, его сотрудником в ИРЭ АН РАН.

Автор видел Котельникова В.А. на лекциях и семинарах, на научных выездных сессиях, на встречах с иностранными и отечественными учеными, на праздниках и торжествах, на дискуссиях, при общении со студентами, в быту. Правда, в последней обстановке — меньше всего, ибо не был его другом ни по возрасту, ни по положению.

В дополнении к сказанному, автор имеет возможность сравнивать, так как знал А.И. Берга, Ю.Б. Кобзарева, В.И. Сифорова., Н.М. Изюмова, А.А. Пистолькорса, Г.З. Айзенберга, Б.А. Введенского, А.Н. Казанцева и многих других выдающихся людей радиотехники.

## Появление доцента

В конце Великой Отечественной войны многие педагоги и студенты были демобилизованы из армии и отправлены на обучение других и учебу. Я, автор этих строк, оказался на радиотехническом факультете МЭИ, где до этого уже существовал доцент В.А. Котельников, числившийся способным и подающим надежды молодым человеком около 35 лет.

По имени и отчеству его еще, кажется, никто не звал, хотя для нас, двадцатилетних студентов, он казался «солидным», и было несколько странным слышать, как он сам представлялся, звоня по телефону: «Здравствуйте, это говорит Котельников Владимир».

Война еще шла... Одет он был не богато, но не небрежно. Почему-то запомнились тяжелые ботинки на толстой подошве, возможно потому, что это была возмутительная роскошь на фоне остальной его одежды. Он всегда носил тяжелый портфель, набитый личными записями больше, чем книгами. Вообще, забегая вперед, отметим, что создавалось впечатление, что он не столько читал,

сколько писал. Удивительно, что за ним числится не более четырех напечатанных книг, среди них — двухтомный учебник «Основы радиотехники». И это на фоне многих других авторов, гордящихся не одним десятком книг!

А доцент Котельников вел себя так: тяжелый свой портфель он привычным движением забрасывал на один из деканатских шкафов (для большей сохранности!) и появлялся перед студенческой аудиторией как артист, не требующий суфлера — никаких записей для лекций в руках не было. Только доска, мел и логическое мышление, которое покоряло тех из студентов, которые уже тогда были способны понимать.

Лекции В.А. Котельникова не были «популярными» и нравились не всем. Студенты оценивали их в сравнении с лекциями других лекторов — по радиоизмерительным устройствам, усилителям, антеннам. Радиотехника тех лет переживала еще свою юность. Часто она сводилась к схемам, физическим явлениям в них и не очень глубокому математическому анализу и численным расчетам. Варианты решений, как правило, рассматривались по принципу «преимущества и недостатки».

В курсе «Основы радиотехники», который читал В.А. Котельников, все было ощутимо не так. Он изображал схему устройства. Объяснял, для чего оно необходимо в радиотехнике. А затем вводил переменные величины, составлял уравнения и решал их, выводя необходимые для анализа зависимости.

Конечно, это было счастливое время, когда педагог — лектор мог позволить себе выводить зависимости, т.е. действительно использовать математику как физический инструмент. Было понятно, что математика — «трудный предмет» — необходима! Нынешние студенты, кажется, лишены понимания этой необходимости: часов для вывода не хватает, и почти все спрограммировано для персонального компьютера. Важно знать, какие кнопки нажимать.

Не удивительно, что не всем слушателям нравился «метод Котельникова». Но многие, не только на кафедре, но и в других подразделениях, боготворили его и прислушивались к каждому его слову.

### **Можно ли все объяснить просто?**

Пояснить просто тогда называли «объяснить на пальцах» (впрочем, кажется, и теперь так же говорят). Это означало: объяснить словами, без сложных формул, без «выводов», опираясь на самые понятные законы, вроде законов Ома и Кирхгофа.

Радиотехника с каждым годом усложнялась, количество знаний (информации) увеличивалось. Понимать явления становилось все труднее, и поэтому вопрос о возможности изложить просто становился все актуальнее.

В послевоенные годы на РТФ существовал единый методический семинар, в котором участвовали все педагоги факультета. Здесь разбирались, в основном, вопросы о том, что следует излагать студентам. Часто дискутировали вопросы о возможности просто объяснять все сложное. Ученые явно разделились на два лагеря.

— Конечно, невозможно, — горячо выступал С.И. Евтянов (курс радиопередатчиков). — Ну попробуйте «на пальцах» объяснить явление затягивания в автогенераторах! Здесь невозможно обойтись без сложных уравнений и их анализа.

После этого попросил слова В.А. Котельников. Все ожидали категорической поддержки высказанного мнения.

— Ну почему же, Сергей Иванович? — говорит Котельников, — Вот смотрите...

И он рисует одну кривую — график и пишет одно уравнение Кирхгофа. После чего словами, просто, поясняет одно из действительно сложных явлений радиотехники.

Умение В.А. Котельникова все объяснить просто в сочетании с мастерством глубокого анализа в случаях, где это необходимо, всегда поражало окружающих.

### Почетная кличка и ее расшифровка

Близкие сотрудники и коллеги называли В.А. Котельникова по первым буквам имени, отчества и фамилии — ВАК. Однако, когда «новичок» спрашивал, что это значит, ему отвечали: Высшая аттестационная комиссия!

Надо ли напоминать, что в те годы ученые степени и звания считались весьма престижными. А присваивала их комиссия, именованная «высшая аттестационная». Не удивительно, что перед ней трепетали молодые соискатели.

В случае ВАК — Котельникова был не страх, а удивление. Нам приходилось неоднократно присутствовать при встречах В.А. Котельникова с посетителями после того, как он стал уже директором Института радиотехники и электроники Академии наук СССР. Приходили по самым разным поводам, но чаще всего за советом и консультациями по новым идеям и предложениям.

Это был удивительный процесс, создававший впечатление чего-то сверхъестественного. Посетители задавали самые разные вопросы из различных областей не только радиотехники, но и смежных дисциплин. Послушав немного посетителя (В.А. Котельников не любил длинных «докладов»), он задавал ему 2–3 вопроса, а затем говорил: «А! Так это, по-видимому, вот так...» И он объяснял посетителю, что и как следует сделать. Создавалось впечатление, что он вот только что или совсем недавно обдумывал этот вопрос и заранее знал решение! Но мы, сотрудники, знали, что он никогда раньше не занимался этой задачей...

Интересной особенностью В.А. Котельникова, удивлявшей знавших его коллег, была готовность обсуждать с собеседником все, что угодно. Это мог быть и сложный технический процесс и способ закрепить нечто болтом и гайкой. Для него не существовало понятия «сложность» и все было одинаково просто.

Мы, молодые сотрудники, видевшие В.А. Котельникова «с близки», пытались изучать его с целью понять, как все это у него получается? Конечно, талант не постижим до конца. Но из наблюдений стало ясно одно: он по-настоящему знал фундаментальные законы науки, не просто знал, но глубоко понимал их и умел применить в нужной ситуации.

Так, однажды, изобретатель предложил новый вид антенны с необыкновенными свойствами. В.А. Котельников очертил на его конструкции замкнутый контур, элементарно вычислил циркуляцию вектора магнитного поля по этому контуру и показал, что антенна не будет работать. Многие ли из ныне оканчивающих институт могут членораздельно пояснить, что такое циркуляция и ротор поля?!

Любопытно, что если собеседник не соглашался с мнением В.А. Котельникова и настаивал — он никогда не настаивал на своем. Проведя два, три круга дискуссии, он произносил свое знаменитое «Ну, ну» и вопрос был исчерпан.

Совсем иначе он вел себя, если обсуждаемый вопрос был важен с государственной точки зрения и связан с большими расходами. Тогда он был «неумолим». Так было, например, при обсуждении задачи построения крупного радиотелескопа.

### «Основы радиотехники»

Так назывался учебник, изданный В.А. Котельниковым в двух томах в 1950 и 1954 годах. Этот учебник, несомненно, был событием в истории радиотехники. Конечно, были и до этого учебные книги, излагавшие разделы радиотехники. Мы, студенты, знали о М.В. Шулейкине, М.А. Бонч-Бруевиче, А.И. Берге, В.К. Лебединском, Д.А. Рожанском и других пионерах «радио». Но такого полного и систематического изложения знаний не существовало.

Курс В.А. Котельникова — это энциклопедия инженерных теоретических знаний по радиотехнике. Здесь нет «пропущенных» разделов — с учетом состояния науки на середину прошлого века. В первом томе излагается «линейная радиотехника» — это устройства, в которых нет электронных приборов, т.е. радиоламп; о транзисторах учебник еще «не знает». Все « типовые » цепи анализируются единым математическим аппаратом. Самые главные формулы выделены «рамкой». Рисунки пронумерованы (что тривиально), но содержат подрисовочные подписи, поясняющие суть рисунка. Наиболее сложные параграфы заканчиваются числовыми примерами. Сравнительно длинные выводы формул и ряд инженерных расчетов вынесены в 12(!) приложений. В приложениях — снова примеры расчета, приучающие читателя — студента к знанию порядка величин в радиотехнике.

Но вот — второй том. Это нелинейная радиотехника, анализ наиболее сложных процессов, протекающих в устройствах, содержащих электронные лампы. Учебник начинается с классификации нелинейных устройств, которая сохранилась и до настоящего времени. Здесь не может быть такого единства методов анализа. Устройства — весьма разнообразны. Как создать у читателя понимание их единства?

Автор находит убедительный прием! Он изображает упрощенную, но достаточно детальную структурную схему радиолокатора, в которой взаимодействуют почти все «блоки», которые потом будут рассмотрены в учебнике.

Пока читатель узнает, что должен сделать с сигналами тот или иной блок, в процессе изучения учебника он узнает как он, этот блок, это делает.

Здесь меньше формул, больше схем и поясняющих графиков. Здесь — ряд изобретенных автором методов пояснения нелинейных явлений. Чего стоит только метод объяснения работы генераторов релаксационных колебаний на основе усилителей постоянных напряжений с обратной связью! И снова примеры и примеры.

Конечно, мы понимаем, что это учебники не только для инженеров, но и для аспирантов.

Вспоминая прошлое, можно теперь признаться, что далеко не все студенты принимали всерьез требования программы курса «Основы радиотехники», составленной на основе нового учебника. Это было просто не всем под силу.

На титульном листе обоих томов учебника стоит две фамилии: В.А. Котельников и А.М. Николаев. Автор настоящих строк был студентом и аспирантом в пору написания томов и наблюдал процедуру составления глав. Сам А.М. Ни-

колаев, в более поздние годы, излагал ее примерно так: с В.А. Котельниковым составлялось общее представление об очередной главе; я (А.М. Николаев) писал тексты дома и приносил В.А. Котельникову; он просматривал текст, затем вынимал из портфеля свое изложение главы и говорил: «Давайте лучше напишем так»..., и так далее до завершения всей рукописи.

Конечно, роль соавтора, тем более опытного педагога и умного первого читателя, была существенна, но по сути В.А. Котельников был единоличным автором учебника, в чем он никогда не признавался. Прошло столетия. Учебник более не упоминается в учебных программах курса. Его вытеснили более молодые новые авторы, включая и автора этого эссе. Такова «се ля ви», как говорят французы. Но это не значит, что учебник В.А. Котельникова потерял свою актуальность. По изложению фундаментальных разделов теории ему нет равных. Но он, конечно, не может отвечать за появление новых разделов теории и методики, которые возникли за последующие 50 лет.

### Теорема Котельникова

Этот этап деятельности В.А. Котельникова достоин отдельного детектива!

Дело в том, что эту теорему то ли раньше знали, но не понимали ее роль до конца, то ли — знали только как математическую абстракцию, наряду с другими ортогональными разложениями сложных колебаний.

Предполагая, что это эссе попадет в руки неспециалистов по связи, мы рискуем попытаться изложить суть теоремы, поскольку широкая известность Котельникова ныне основана на этой теореме, что, как мы увидим позже, совсем не отражает его фундаментальной роли в радиоэлектронике.

Суть в том, что почти любое колебание  $S(t)$ , заданное на определенном отрезке времени в виде

$$S(t) = \sum_k a_k C_k(t),$$

где  $C_k(t)$  совокупность так называемых ортогональных колебаний, удовлетворяющих требованию

$$\int_k C_k(t) C_i(t) dt = 0,$$

а  $a_k$  — постоянные числа («коэффициенты»), однозначно определяемые видом  $S(t)$  и выбранным «набором»  $C_k(t)$ . Величины  $a_k$  определяются непросто, так как необходимо вычислить такие интегралы:

$$a_k = \int_T S(t) C_k(t) dt.$$

Эти интегралы могут быть очень непростыми, а то и вообще не выражаться через простые функции.

Математики издавна (еще от времени Фурье) знали целый ряд систем ортогональных функций  $C_k$ . Собственно, всем известный «ряд Фурье» есть ни что иное, как представление  $S(t)$  через функции косинус и синус.

И вот в одной из своих статей — «О пропускной способности “эфира” и проволоки» (в историческом сборнике «Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности» Всесоюзного энергетического комитета, изданном в 1933 году)

В.А. Котельников показал, что если в качестве  $C_k(t)$  взять определенную совокупность функций (вид которых мы здесь не приводим из экономии места), то коэффициенты  $a_k$  будут вычисляться удивительно просто: они будут отсчетами (мгновенными значениями) заданного колебания  $S(t)$ , взятыми через определенные интервалы времени! По этим отсчетам можно снова восстановить колебание  $S(t)$  во все моменты времени!

Правда, была одна «тонкость»: утверждение верно, если  $S(t)$  занимает ограниченный диапазон частот от 0 до  $E_{\max}$ . Но это возможно, только если колебание длится бесконечно. В реальности нет колебаний с ограниченным спектром! Значит «теорема» бесполезна?

Ничего подобного. Спектры реальных колебаний очень быстро спадают с ростом частоты. Поэтому их длинными, но малыми по величине «хвостами» можно пренебречь! Колебание можно будет рассматривать как колебание с ограниченным спектром и представить рядом Котельникова. Правда, это представление будет приблизительным, но степень приближения будет столь велика, что она будет удовлетворять все практические потребности.

Что это означает практически? Любое колебание — речь, музыку, технические параметры, изображение — нет необходимости передавать «полностью»: достаточно передать импульсы, амплитуды, которые равны мгновенным значениям колебания в моменты отсчета. По этим импульсам речь, музыка и другое сообщение будет восстановлено в точке приема практически без всяких искажений!

Это был переворот, значение которого было осознано значительно позднее. Ныне мы понимаем, что вся современная цифровая аппаратура — от систем связи до лазерных компакт-дисков основана на теореме о выборках. Эта аппаратура отличается надежностью и высокой помехоустойчивостью.

Ожидал ли В.А. Котельников в 1932 году такого эффекта от невинного расчета пропускной способности «эфира» и проволоки? В последующие годы вокруг теоремы возникли бурные баталии. Ее уточняли, опровергали, расширяли. Сам автор никогда не участвовал в этой дискуссии, возможно потому, что он двигался к вершине своей теоретической славы — теории потенциальной помехоустойчивости.

### Теория потенциальной помехоустойчивости

Автор этих строк «возник» в радиотехнике значительно позднее теоремы Котельникова. Но возникновению Теории потенциальной помехоустойчивости (далее ТПП) он был живой свидетель и даже своеобразный участник.

Дело в том, что ТПП возникла сначала просто в форме диссертации В.А. Котельникова, представленной им в 1946 году в Ученый совет Московского энергетического института. Она прошла спокойно и, практически, единогласно. Но как студент — участник этого совета свидетельствую: почти никто не понял, что произошло, в том числе, конечно, и упомянутый «участник». Это было видно из тех общих слов, которые произносили по поводу услышанного.

В историческом контексте эта ситуация не удивительна, ибо Теория потенциальной помехоустойчивости не была подготовлена какими-либо предварительными публикациями в нашей стране или за рубежом. Напомним, что первые работы П. Вудворда, И. Девиса и других авторов, в которых ставилась задача отыскания оптимального радиоприемника при наличии помех, появи-

лись лишь в 1950–52 годах. Обобщающие публикации Д. Миддльона или Д. Ван Метера появились и того позже (правда, фундаментальные исследования математиков — Фишера, Неймана, Пирсона, Вальда — появились уже в середине сороковых годов и даже раньше).

Напомним «исторический контекст» появления новой теории. Это была эпоха изобретательства радиотехнических схем и устройств, которые в лучшем случае подвергались математическому анализу на предмет получения выходного колебания при заданном входном. Математического синтеза системы еще не было, да и такая задача, кажется, не ставилась.

Радисты, конечно, уже давно осознали наличие неизбежных шумов анодного тока лампы и шумов резисторов — знаменитая формула  $W(f) = 4kTR B^2/\Gamma\zeta$  «работает» и поныне. Знали теорему Винера–Хинчина о связи автокорреляционной функции случайного процесса и его энергетического спектра:

$$N(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} r(\tau) \exp(-j\omega\tau) d\tau.$$

Более того, умели вычислять мощность шумов на выходе линейного фильтра с коэффициентом передачи  $K(j\omega)$

$$P_{III} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} N(\omega) |K(j\omega)|^2 d\omega.$$

А так как мощность сигнала на выходе научились вычислять еще ранее, то легко оценивали отношение сигнал/помеха на выходе (линейного) устройства.

Н. Винер (независимо от него А.Н. Колмогоров) поставил и решил задачу о линейной фильтрации и экстраполяции случайного процесса в простейших предположениях. К 1942–43 гг. относятся работы Д. Нортса по обнаружению импульса заданной формы на фоне белого шума. Был найден *согласованный фильтр*

$$K_c(\omega) = \exp(-j\omega T_c) G_c(\omega).$$

А В.И. Сифиров ввел понятие оптимальной полосы пропускания фильтра, при которой отношение сигнал/помеха достигает наибольшей величины («знаменитая») ( $\Delta f_{opt} = 1,37/\tau_n$ ).

Конечно, было много других частных и развивающих публикаций, но в принципе, других знаний еще не было. Более того, высказывались утопические предположения о неисчерпаемых возможностях борьбы с помехами.

\* \* \*

В.А. Котельников поставил и решил задачу определения предельных возможностей по борьбе с помехами. Приемник, в котором достигался этот предел, он назвал идеальным, а достигнутую при этом помехоустойчивость — потенциальной, т.е. достижимой лишь «в пределе». Самым удивительным для слушателей, а затем и читателей было то, что структура этого приемника не указывалась, что создавало впечатление поиска помехоустойчивости того, чего еще нет. Только с высоты нынешнего понимания проблемы стало ясно, что эта структура фактически заключена в математических соотношениях теории, но не выявлена. (В позднейших публикациях она была найдена.)

Удивительным является предвосхищение теорией нынешней классификации сигналов для трех основных типов сообщений. В нынешней терминологии это

случаи передачи дискретных знаков (т.е. чисел)  $m_i$ , параметров  $m$  и непрерывных сообщений  $m(t)$ .

Были введены четкие критерии оптимальности приема — полная вероятность ошибок при приеме дискретных сигналов и среднеквадратичная ошибка — в случае аналоговых сообщений.

Будучи одновременно ученым и инженером (эту его особенность часто отмечали зарубежные коллеги), В.А. Котельников, применив разработанные методы, сравнил помехоустойчивость различных известных в то время методов радиоприема и указал их соотношение с потенциальной помехоустойчивостью. Было найдено, от каких именно параметров зависит помехоустойчивость. По-видимому, тогда впервые стало ясно, что она зависит не от амплитуды, а от энергии сигналов. Это означает, что на вопрос, можно ли при ограниченной мощности передатчика передавать информацию с заданной малой ошибкой на любые расстояния, теория отвечает — можно. Теория накладывает ограничения не на расстояния, а на скорость передачи, так как энергия есть произведение мощности на длительность сигналов (т.е., по существу, на скорость).

В Теории потенциальной помехоустойчивости введена классификация сигналов по устойчивости к помехам. В частности, найдена система дискретных сигналов, обеспечивающих наибольшую возможную помехоустойчивость при флуктуационных помехах. Эти сигналы были названы симплексными.

Ныне стало ясно, что основным математическим аппаратом теории были теорема Байеса и многомерное векторное представление сигналов, помех и их сумм. Теорема Байеса связывает вероятности  $P(\Pi_i)$  появления причин ( $\Pi_i$ ) и следствий ( $C_j$ ) независимо от их физической природы. Не совсем ясно, знал ли В.А. Котельников эту теорему или «вывел» ее самостоятельно. По крайней мере он просто использует соотношение

$$P(\Pi_i)P(C_j|\Pi_i) = P(C_j)P(\Pi_i|C_j),$$

где  $P(C_j|\Pi_i)$  — вероятность появления  $j$ -го следствия при действии  $i$ -й причины, из которого следует возможность определить  $P(\Pi_i|C_j)$ , т.е. указать вероятность всех причин, которые могли вызвать данное следствие. Предлагалось принимать решение в пользу причины с наибольшей апостериорной вероятностью.

Конечно, было ясно, что причинами в рассматриваемой задаче являются сигналы, а следствиями — суммы сигналов и помех. Наличие последних и превращает задачу в статистическую. (Разная вероятность появления сигналов в настоящее время обычно не принимается во внимание). Однако как математически представить эти причины и следствия для обработки их затем в соответствии с теоремой Байеса?

Иногда даже специалисты по помехоустойчивости думают, что В.А. Котельников использовал известную теорему «Найквиста–Котельникова» о выборочных значениях из рассматриваемых процессов. Как это ни удивительно на первый взгляд, он использовал другое представление колебаний — разложение их по системе ортогональных тригонометрических функций. Это, по-видимому, было созвучно эпохе спектрального мышления путем разложения в ряды Фурье. Однако такой подход был отчасти причиной того, что последующие исследования западных ученых по оптимизации приема воспринимались нами как нечто существенно отличное, ибо они-то и пользовались разложением в ряды Найквиста–Котельникова.



Замечательным свойством теории потенциальной помехоустойчивости является широкое использование геометрического представления сигналов и любых других колебаний (в том числе помех). Это позволило оперировать наборами чисел вместо функций времени. В самом деле, если представить

$$u(t) = \sum_{k=1}^N a_k \varphi_k(t),$$

где  $\varphi_k(t)$  — система ортогональных функций, то числа однозначно определяются, образуя  $N$ -мерный вектор. Однако строгость теории проявилась и в том, что геометрия никогда не использовалась автором для доказательства утверждений, но только для их наглядного представления.

Многомерные пространства имеют ряд особенностей по сравнению с привычными трехмерными. Однако, это проявляется редко. Поэтому геометрическое представление колебаний широко вошло в современную учебную и научную практику.

В.А. Котельников принял, что помеха является флуктуационной (он назвал ее «предельно-хаотической») с нормальным (гауссовым) законом распределения мгновенных значений. Он объяснил это тем, что такую помеху создают естественные тепловые процессы, избавиться от них нельзя и поэтому она является наиболее «зловредной». Конечно, это была лишь половина правды. Другая половина состояла в том, что именно для такой помехи удалось найти многомерный закон распределения, без которого нельзя записать функции правдоподобия сигналов, а, следовательно, и двигаться дальше. Неудивительно, что и в настоящее время в большинстве исследований помеха предполагается нормальной.

Ученики и последователи В.А. Котельникова часто бывали удивлены огромным расхождением помехоустойчивости реальных методов радиоприема с их рассчитанной потенциальной помехоустойчивостью (в десятки и сотни раз). Лишь позднее стала ясна причина этого. Дело в том, что в теории потенциальной помехоустойчивости предполагается прием точно известных сигналов. А это означает, что линия связи не вносит в них никаких изменений, кроме ослабления (и, конечно, аддитивных помех). Конечно, так бывает лишь в исключительных случаях. Линия не может не внести запаздывания сигналов, фазовых сдвигов и, более того, часто существенных изменений в форму сигналов.

Ныне ясно, что в основе идеального приемника лежит идея корреляции принятой суммы сигнала и помехи с «образцами» всех ожидаемых сигналов (или с несущим колебанием), т.е. вычисление интеграла от произведения суммы на все образцы. Более того, на этой великой (без преувеличения) идее основаны все современные методы распознавания и классификации.

Развитием теории потенциальной помехоустойчивости (по-видимому, ее вершиной на сегодня) является теория адаптивного приема сигналов. Адаптивный приемник приспособляется к изменяющимся (медленно по сравнению с измеряемыми параметрами сигнала) свойствам линий и уровню помех и помехоустойчивость адаптивного приемника не может быть выше потенциальной помехоустойчивости для точно известного сигнала.

\*\*\*

Радиотехническая теория (а не только технология) не стоит на месте. Предлагаются и исследуются новые типы сигналов (в частности, «уходящие» от

казавшихся идеальными бинарных), предлагаются новые коды, исследуются способы подавления помех различного вида, изучаются новые каналы передачи. Повышается пропускная способность каналов, все ближе придвигаясь к историческому «пределу Шеннона».

Однако над всем этим, — не правильнее ли сказать подо всем этим — в качестве первоосновы и маяка, образца научной глубины и мастерства сияет теория потенциальной помехоустойчивости В.А. Котельникова.

После ее издания (через 10 лет, в 1956 году!) едва ли одна из десяти публикаций обходилась без ссылки на В.А. Котельникова и его теорию. При этом часто видно было, что авторы теории не читали или не поняли. Так, можно было прочесть о «теореме Котельникова, которую он доказал в своей книге». Хотя эта теорема в диссертации и книге не только не использовалась, но даже не упоминалась.

### Радиолокация Венеры

В этом блестящем научном проекте я, автор этих строк, непосредственно не участвовал, но был близким ему свидетелем.

Радиолокация бурно развивалась, и у смелых сотрудников лаборатории ИРЭ родилась идея «лоцировать» Луну. Расстояние и скорость ее движения хорошо известны, но можно было бы снять отражательную карту ее поверхности, а заодно продемонстрировать «возможность науки»: расстояние 300 000 километров! Американцы это недавно сделали.

Но Котельников остался Котельниковым. «Зачем же повторять других? — спросил он. — Давайте лучше снимем карту ... Венеры!»

У сотрудников на несколько минут отнялась речь. Венера?! До нее десять миллионов километров! Как же обнаружить столь слабые отраженные сигналы?

«Будем накапливать энергию очень длинных импульсов в узкополосных фильтрах», — отвечал В.А. Котельников. Но ведь она движется с большой скоростью и возникает смещение частоты отраженного сигнала. Как же сигнал попадет в узкополосный фильтр?

«Очень просто, — отвечал шеф. — Астрономы знают скорость Венеры, и мы сможем вводить в сигнал от передатчика частотную поправку!»

Долго сказка сказывалась. Необходимо было найти мощную радиоастрономическую аппаратуру. Она была найдена. Привлекли специалистов — астрономов, на знания которых о Венере было необходимо опираться. И такие нашлись. Радиолокация Венеры состоялась, — и это было грандиозно. Было даже специальное сообщение ТАСС об успехах отечественной науки.

Радиолокация Венеры имела большое значение. В ходе этого эксперимента была уточнена астрономическая единица, что в последующем позволило с большой точностью выводить космические аппараты на расчетную траекторию, кроме того, впервые на практике большой задачи была подтверждена теория помехоустойчивого радиоприема слабых сигналов.

### «Особое конструкторское бюро»

Так называлось (и ныне называется) научно-исследовательское и конструкторское подразделение, выросшее из небольшого «научного сектора», созданного в МЭИ по инициативе В.А. Котельникова. Это было на грани завершения и окончания Великой Отечественной войны («автор настоящих строк» был еще

студентом). ОКБ разрабатывало идеи В.А. Котельникова по созданию весьма высокочастотной (для того времени) и точной телеметрии.

Генераторы, модуляторы, усилители, детекторы и другие устройства — все разрабатывалось впервые. Аппаратура предназначалась не для лабораторных работ студентов (к чему привыкли педагоги, работавшие в ОКБ), а для функционирования в тяжелых условиях космоса. Много не получалось «по теории»: генераторы не генерировали, усилители, наоборот, самовозбуждались, импульсы получались «не той» длительности, амплитуды и частоты повторения. Автор настоящих строк разрабатывал широкополосный импульсный усилитель, шифровавшийся буквами «ИУ-2». Это должно было означать «импульсный усилитель, вариант 2!». Но коллеги со злости расшифровывали как «исключительное уродство-2». Это было еще не худшее оскорбление.

Часто возникали «местные паники»: через неделю — срок сдачи этапа спецкомиссии. А ничего не работает, вернее, работает «наоборот», как отмечено выше. Генеральный руководитель (он же В.А. Котельников) просил «паникующего» руководителя оставить ему «двух мальчиков» (это означало — двух техников или инженеров) на ночь, а самому идти отдыхать... К утру следующего рабочего дня все становилось на свои места: генераторы генерировали, усилители усиливали.

Аппаратура телеметрии было блестяще создана и победила в соревновании с другими «фирмами», разрабатывающими сходную аппаратуру. Телеметрические системы ОКБ стали основными при запуске ракет и спутников.

ОКБ бурно развивалось. Появились новые задачи, в частности, космическое телевидение и другие. В.А. Котельников частично отошел от ОКБ в связи с переходом на более высокие посты. Но вскоре его уволили (!) из МЭИ по указанию вышестоящих инспекторов, которые нашли, что он незаконно «совместительство» в МЭИ.

### **В.А. Котельников «в быту»**

Я наблюдал В.А. Котельникова в быту, т.е. вне обстановки работы, мало. У него дома пришлось быть только один раз и то по служебным делам. Меня поразила простота обстановки «наследника дворян» (о чем не все знали). Здесь не было ампириной мебели и избытка хрусталя. Анна Ивановна обращалась как с сослуживцем мужа и даже, кажется, угощала.

Но было еще два повторяющихся случая бытового наблюдения.

Как это ни покажется странным современным ученым, все сотрудники кафедры Основ радиотехники приходили на работу в одно время утром, садились за свои установки. А В.А. Котельников время от времени всех по очереди «обходил», выяснял трудности, подсказывал и объяснял. В 1 час дня все сотрудники во главе с заведующим кафедрой шли в столовую обедать. Это было время релаксации. Столовая работала плохо, и сидеть приходилось долго.

Беседовали обо всем. По неписаному договору за столик с «шефом» по очереди садились все сотрудники. Вспоминается, что В.А. Котельников редко затевал беседы о музыке или живописи. Он интересовался различными новыми для него сообщениями, вычитанными из газет и журналов, особенно в области техники, ремесел, и личных достижений собеседника, например, в фотографии или звукозаписи. Видно было, что его интересует спорт (вернее, физкультура), в основном лыжи и парус.

Вторая «возможность» появлялась во время неоднократных выездных сессий Совета по радиоастрономии, председателем которого он был. Естественно, что

его ученый секретарь старался не упустить возможность попутешествовать. Выезжали на Украину, в Прибалтику, на Кавказ — туда, где были радиоастрономические учреждения. В.А. Котельников никогда не поселялся обособленно и привилегированно. Он переносил все тяготы командировочных, конечно, с учетом того, что они из Москвы. Однажды из-за местной неразберихи в гостинице не были забронированы места для приезжих. Около двух часов В.А. Котельников простоял у стойки приема приезжающих, пока шли телефонные переговоры местных ученых — организаторов с руководством города. Он не выразил явного возмущения, хотя впоследствии в узком кругу сказал, что больше «сюда не поедет».

Он был чужд публичной демонстративности. Однажды в очередном городе решили воспользоваться приездом академика и снять для местного телевидения «шоу» с открытием конференции и речами. Были расставлены телевизионные камеры и заготовлены ведущие. В.А. Котельников, войдя в зал заседаний, приказал немедленно все убрать «и не мешать работать».

Но самым интересным было, пожалуй, неформальное общение с коллегами. В каждом институте города ему старались, конечно, показать все научные достижения. Ведущий сотрудник института переходил от установки к установке (за ним следовал В.А. Котельников, а за ним толпа местных и приехавших ученых). Разговор шел приблизительно так:

— Вот это, — говорил ведущий, — установка для генерирования когерентного света...

— Лазер, — перебивал его В.А. Котельников.

— Вот яркое пятно на экране, но почему-то оно неоднородное...

— Так это же моды, — пояснял ему В.В. Котельников и объяснял, почему иначе и быть не может.

Такая же ситуация априорного знания всего, что ему показывали, наблюдалась почти всегда.

По вечерам В.А. Котельников со «свитой» гуляли по городу. Он любил осматривать исторические достопримечательности. Внимательно слушал объясняющего, иногда перебивал его конкретизирующими вопросами и замечаниями «по поводу»!

Я не помню, чтобы шло обсуждение последних литературных «новинок» или поэзии. Но он любил острить и часто на ходу создавал афоризмы. Один из них приведен в эпиграфе к этому эссе. А вот еще некоторые:

«Понемногу изучать иностранный язык все равно, что плыть против течения»,

«Направление верно, но средства не годны»,

«Судьба есть, но кое-что зависит и от нас»,

«Что можно читать быстро, не стоит читать вообще», и т.д.

По поводу моего увлечения фотографией (аппарат всегда был при мне) он говорил фотографируемым: «Имейте в виду, вас снимают не просто так, а художественно».

В свою очередь, он часто художественно рассказывал о том, как ему однажды человек предложил в ГУМе перчатки, в которых он узнал по особой метке, что это — перчатки, украденные у него в воскресенье на Ленинских горах. По этому поводу он предлагал развить теорию невероятности, по которой совершенно невероятные события все-таки происходят.

Он был очень вежлив в общении со знакомыми и не знакомыми. За несколько десятилетий пребывания около В.А. Котельникова я видел (слышал) его только

один раз повышающим голос. Это был случай, когда сотрудник оправдывал свою бездеятельность.

На досуге и во время вынужденного ожидания он любил задавать и сам решать «детские задачки». Однажды принесли элементарную задачу: к двухполюснику присоединен источник постоянного напряжения в 100 вольт (батарея). В двухполюсник втекает ток в 1 ампер, а ваттметр (правильно включенный на входе) показывает потребляемую мощность, близкую к нулю. Все приборы исправны. Что находится внутри двухполюсника?

Задача была явным «оскорблением» науки электротехники постоянного тока! Все бросились в раздумье. Прошло 30 минут. Ни один ответ не был верен (задавший знал ответ). Задачу решил только В.А. Котельников. Жаль, что эту задачу забыли! Она — блестящий тест на консервативность мышления.

Однажды он предложил вывести быстро формулу решения квадратного уравнения и вывел. В другой раз опроверг теорему Пифагора о соотношении гипотенузы и катетов, доказав всем, что гипотенуза равна сумме катетов! В тот день никто не смог опровергнуть это «доказательство». Но оказалось, что опровергнуть это совсем не просто.

Когда к нему в руки попадало какое-либо бытовое простое изделие, считавшееся изобретением (по-современному «ноу-хау»), он почти всегда произносил фразу: «Ловко! Но можно усовершенствовать», — и указывал как.

У него была прекрасная память. Он знал всех раз ему представленных не только по фамилии, но по имени и отчеству. Я не помню, чтобы он был с кем-либо «за панибрата». Он ко всем обращался только «на вы» и по имени и отчеству.

\*\*\*

Судьба сложилась так, что автор этого эссе не наблюдал В.А. Котельникова в последние годы. На грани и после 90-летия он решил фундаментальную задачу теории сигналов: найти сигнал, имеющий минимум спектра за пределами заданной полосы. Позже он занялся «наведением порядка» в квантовой механике.

Но это уже другие истории.