

Лев Матвеевич ФИНК

В научном мышлении всегда присутствует элемент поэзии. Настоящая наука и настоящая музыка требуют однородного мыслительного процесса.

Альберт Эйнштейн

Введение

В 1947 г. академиком В.А. Котельниковым были заложены основы теории потенциальной помехоустойчивости. Эта теория содержала россыпь ярких идей, относящихся к фундаментальным законам оптимальной обработки принимаемых сигналов в присутствии помех, действующих в каналах связи. Независимо в США и Великобритании основы подобной теории были заложены А. Зигертом, Д. Миддлтоном, Ф. Вудвортом и И. Дейвисом. Теория Котельникова обладала, выражаясь словами Эйнштейна, «внутренним совершенством», так как давала общие подходы для решения многих проблем теории связи. Она открывала обширную новую область научных исследований, в которой стали работать тысячи ученых. Их научные исследования касались многочисленных практических проблем, связанных с совершенствованием действующих и созданием новых систем связи.

Одной из научных проблем, которая не затрагивалась В.А. Котельниковым, была проблема передачи и оптимального приема информации по многолучевым каналам радиосвязи. Такие каналы используют для передачи сообщений в системах коротковолновой связи, которые были весьма распространены в 50-е гг. XX в., и в появившихся позже системах тропосферной и ионосферной связи.

В развитии теории потенциальной помехоустойчивости и решении этих проблем приняли участие многие ученые, как отечественные (В.С. Мельников, Д.Д. Кловский, Н.П. Хворостенко, И.С. Андронов и др.), так и зарубежные (Дж. Л. Турин, Р. Прайс, И.Н. Пирс, С. Штейн и др.).

Лидером данного научного направления в нашей стране стал выдающийся ученый Лев Матвеевич Финк — яркая и высокообразованная личность. Он свободно владел английским, французским и немецким языками. Получив высшее музыкальное образование, он пришел, как и великий русский писатель Антон Павлович Чехов (по образованию врач), к убеждению, что «наука — самое важное, самое прекрасное и нужное в жизни человека», и избрал сферой приложения своих незаурядных способностей радиотехнику.



В этой области Л.М. Финк начал работать с 1930 г., а к исследованиям в области теории связи он обратился в конце 40-х гг., после Великой Отечественной войны, и продолжал плодотворно трудиться в этом направлении до своей кончины.

Биографический очерк

Лев Матвеевич Финк родился 11 февраля 1910 г. в Киеве. Его отец был строителем, а мать — домашней хозяйкой. Отец до революции служил в частных строительных компаниях. В годы советской власти он работал в Киевском горкомхозе, позже — на различных стройках Ташкента, Новосибирска, Казани и Москвы, занимая должности от прораба до главного инженера и начальника строительства.

С 14 лет Финк увлекся радиолюбительством. Другим его сильным увлечением в юношеские годы была музыка, к которой у него еще в детстве проявились незаурядные способности. После окончания школы он по совету родителей поступил в Киевский музыкальный техникум, в котором проучился один год. В 1923 г. Л.М. Финк окончил семилетку. В этом же году его постигло горе — у него умерла мама. После окончания школы с 1926 по 1928 г. он учился в Киевском музыкальном техникуме, а в 1928 г. перевелся на композиторский факультет Ленинградской консерватории. Параллельно с учебой в консерватории Л.М. Финк работал в кинотеатрах и в театральном училище, выступая в качестве пианиста вместе со своим другом, ставшим позже знаменитым композитором — В.П. Соловьевым-Седым.

Два года он учился в консерватории, но его тяга к радиотехнике оказалась столь сильной, что в 1930 г. он, продолжая учебу в консерватории, поступает на работу в отраслевую вакуумную лабораторию завода «Светлана». К этому времени он уже был опытным радиолюбителем и обладал хорошими теоретическими знаниями. Всего один год потребовался Л.М. Финку, чтобы освоить инженерную специальность. В 1931 г. он, несмотря на отсутствие диплома об инженерном образовании, был назначен на должность инженера, а затем — старшего инженера. В этом же году ему пришлось оставить занятия в консерватории, так как он уже не мог совмещать учебу с работой.

В 1931 г. в «Журнале экспериментальной и теоретической физики» Л.М. Финк совместно со своим коллегой по лаборатории С.В. Птицыным опубликовал свою первую научную работу «О выделении газов из никеля при нагревании в вакууме».

В 1933 г. Л.М. Финк был призван на службу в Красную Армию. До декабря 1935 г. он служил рядовым в частях противовоздушной обороны. За два года службы он внес несколько рационализаторских предложений, а в 1934 г. получил два авторских свидетельства на изобретения. В середине 1934 г. его как сложившегося специалиста-практика прикомандировывают к Военной краснознаменной академии связи (ВКАС) и направляют на работу в лабораторию телевидения. В 1935 г. Л.М. Финк был зачислен слушателем инженерно-радиотехнического факультета ВКАС, который окончил с отличием в 1940 г., получив диплом военного инженера-электрика. После окончания Академии он был назначен преподавателем Ленинградского военного училища связи.

С началом Великой Отечественной войны Л.М. Финк в августе 1941 г. получает новое назначение — в Научно-исследовательский институт по технике связи Красной Армии (НИИТС КА) в Москве. В этом институте была организована лаборатория,

которую возглавил один из крупнейших отечественных ученых — главный инженер НИИТС КА, профессор Б.П. Асеев. Сотрудниками лаборатории стали известные специалисты в области передающей техники И.Х. Невяжский, М.Г. Марголин, Н.Н. Иванов, а также и Л.М. Финк.

Перед лабораторией была поставлена задача создания радиосредств, позволяющих эффективно вести контрпропаганду на территории Германии. В короткие сроки в лаборатории было разработано устройство, способное с точностью до фазы настраивать наши мощные передатчики на частоту, на которой работали немецкие вещательные станции. Это позволяло в паузах передач гитлеровских вещательных станций вставлять реплики наших дикторов, дезавуировавшие информацию, которая передавалась вражескими станциями.

Следует отметить, что с началом войны немцы были обязаны сдать свои радиоприемники. Но взамен они получали «народный приемник», очень слабенький, рассчитанный на прием лишь местных радиостанций, который был прозван немцами «морда Геббельса», так как по форме он был небольшой, полукруглый, с зияющей впадиной, будто с распахнутым говорящим ртом.

По опубликованным в книге «Радио в дни войны» (Искусство. 1982) воспоминаниям Рихарда Гипнера, который занимал в 80-х гг. в Правительстве Германской Демократической Республики пост заместителя министра иностранных дел, а во время Второй мировой войны работал редактором немецкого отдела московского радио, пропагандистский эффект от применения разработанного отечественными специалистами устройства был поразительным. После часовых выступлений по радио перед миллионной аудиторией гитлеровского министра пропаганды Геббельса, в которых он патетически рассказывал о героизме фашистских солдат, сражающихся «как древние греки у Фермопил», в эфир выходил наш передатчик и диктор объявлял: «Каждые семь секунд в России погибает один немецкий солдат. Герр Геббельс говорил двадцать минут, за это время в России погибло 170 солдат немецкой армии. Среди них мог оказаться твой муж, брат, сын. Долой гитлеровскую войну!»

Можно себе представить панику в гитлеровских спецслужбах и оживление в среде немецких радиослушателей, когда «морда Геббельса» говорила «голосом Москвы»! Сам ошарашенный Геббельс записал в своем дневнике: «Вмешательство московской радиостанции в передачи немецкой радиостанции продолжается непрерывно и производит постепенно крайне неприятное действие». Он собирает совещания специалистов из правительства, армии и промышленности — выработать энергичные меры борьбы против этого. Но тщетно. Геббельс уязвлен и делает следующую запись в дневнике: «Голос по радио из Москвы, вмешивающийся в наши передачи, все еще слышен. Постепенно это становится публичным скандалом. Все в Германии об этом говорили, и публика постепенно начала видеть в этом нечто вроде спорта и наблюдала внимательно, сумеет ли мы опередить технику большевиков».

Опередить «технику большевиков» не удалось. Попавшие под прицел «накладки» немецкие и финские радиостанции были вынуждены прерывать свои радиопередачи. Обычно они делали это без объяснения причин. Но однажды беспомощный и крайне раздосадованный немецкий ведущий заявил так: «Мы вынуждены прекратить передачу. Русские не умеют воевать. Они умеют только хулиганить» (Игорь Лисочкин. «Как “морда Геббельса” говорила “голосом Москвы”». Санкт-Петербургские ведомости. 22 июня 1996 г.).

За изобретение и разработку столь эффективного устройства для ведения контр-пропаганды всей группе разработчиков постановлением Правительства от 10 апреля 1942 г. была присуждена Сталинская премия 1-й степени.

Работа над совершенствованием этого устройства продолжалась, и в 1943 г. Л.М. Финк получил вторую правительственную награду — орден «Знак Почета». Позже он был награжден орденами «Красной Звезды» (1949 г.) и «Красного Знамени» (1953 г.) и семью медалями, включая «За боевые заслуги», «За победу над Германией» и «За победу над Японией».

В 1943 г. работа, которую вел Л.М. Финк, была передана Наркомату связи (НКС), и Лев Матвеевич был прикомандирован к НКС. В 1945 г. Л.М. Финк находился в составе Советской Армии в Китае (Манчжурия). В Наркомате связи (на объекте № 100 — ныне Научно-исследовательский институт радио — НИИР) он работал до 1949 г., а затем получил назначение на должность начальника лаборатории в Военном исследовательском институте в г. Мытищи под Москвой.

В 1947 г. Л.М. Финк представил к защите в ученый совет радиотехнического факультета Московского электротехнического института связи (МЭИС) диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Хотя диссертация была успешно защищена, однако решение факультетского совета не было утверждено ученым советом института.

Вторую кандидатскую диссертационную работу (по специальной тематике) Л.М. Финк защитил на ученом совете ВКАС в 1953 г. К этому времени инженер-подполковник Л.М. Финк уже был известным в стране высококвалифицированным специалистом в области теории и техники радиосвязи и был награжден знаком «Почетный радист».

В 1957 г. Л.М. Финк был утвержден в ученом звании доцента на кафедре радиоприемных устройств ВКАС. В начале 1958 г. инженер-полковник Л.М. Финк представил свою докторскую диссертацию на тему «Элементы теории радиотелеграфной связи». Успешная защита докторской диссертации Л.М. Финка состоялась на ученом совете Академии 17 ноября 1959 г.

После защиты диссертации Л.М. Финк продолжал активно вести научную работу. Он опубликовал статьи в ведущих отечественных научных журналах, издал книги по вопросам теории оптимального приема сигналов в каналах с переменными параметрами, занимался проблемами помехоустойчивого кодирования, руководил научной работой аспирантов.

В 1970 г. Л.М. Финк в звании полковника уходит в отставку и начинает работать профессором в Ленинградском электротехническом институте связи (ЛЭИС), продолжая активную преподавательскую и научную деятельность. Как член редакционной коллегии он активно сотрудничает с журналом «Проблемы передачи информации», возглавляет одну из секций Совета по статистической радиотехнике Академии наук СССР, председателем которого был академик Ю.Б. Кобзарев.

Л.М. Финк принимает самое активное участие в работе Научно-технического общества радиотехники, электроники и связи (НТОРЭС) им. А.С. Попова, во всесоюзных конференциях по теории кодирования и проводимых в 70-е гг. в СССР международных симпозиумах по теории информации. Во время научных визитов в нашу страну выдающихся ученых современности Клода Шеннона и Норберта Винера он общается с ними и выступает во время их научных докладов в качестве синхронного переводчика.

Он — член различных редакционных советов, специализированных ученых советов. Долгие годы Л.М. Финк руководил секцией «Теории передачи информации» при Ленинградском областном правлении НТОРЭС им. А.С. Попова. Эта секция в настоящее время в честь памяти Л.М. Финка носит его имя, и ее возглавляет его ученик профессор В.И. Коржик.

Всю свою жизнь Л.М. Финк сохранял любовь к музыке и искусству, он сочинил концерт для фортепиано с оркестром. Его близким другом был известный советский дирижер Н.С. Рабинович. Будучи уже признанным ученым, Л.М. Финк прочитал в Ленинградском электротехническом институте связи (ЛЭИС) курс лекций «Математическая теория музыки», который пользовался большим успехом. У Л.М. Финка была собрана богатая фонотека, содержащая произведения классической музыки выдающихся композиторов от Баха до Шостаковича. Он часто и с наслаждением их прослушивал. Это, по-видимому, помогало ему в научной работе, что может служить подтверждением той мысли Эйнштейна, которая приведена ранее в эпитафии.

В 1932 г. Л.М. Финк женился на драматической актрисе Зинаиде Дмитриевне Старицыной. В 1938 г. у них родилась дочь Нора. В 1959 г. Зинаида Дмитриевна скончалась, и через два года Л.М. Финк женился второй раз. Его вторая жена — Юлия Алексеевна, с которой он прожил 27 лет, до конца его дней проявляла заботу о нем — человеке совершенно беспомощном в быту.

В 1979 г. в жизни Л.М. Финка произошли нелегкие события. Все началось с того, что его дочь вместе с мужем эмигрировали в США. Из-за этого руководство ЛЭИС тут же уволило его с должности профессора кафедры, мотивируя это тем, что он не может воспитывать молодых специалистов, так как не смог должным образом воспитать собственную дочь. И он, выдающийся ученый с мировым именем, был лишен возможности учить студентов. Его перевели на должность старшего научного сотрудника в научно-исследовательскую часть института — в Отраслевую научно-исследовательскую лабораторию передачи дискретной информации (ЛПДИ), возглавляемую Ю.Б. Окуневым. Нужно сказать, что Л.М. Финк мужественно и даже философски перенес опалу и как истинно мудрый человек с удовольствием принял за работу в ЛПДИ — одной из ведущих исследовательских лабораторий по разработке систем цифровой радиосвязи. В ЛПДИ работало немало бывших учеников Л.М. Финка, среди которых он и нашел единомышленников. Он работал в ЛПДИ до самой своей кончины.

Лев Матвеевич Финк скончался 8 декабря 1988 г. в Ленинграде.

Научный вклад Л.М. Финка в теорию связи

К научным исследованиям в области теории связи Л.М. Финк приступил, будучи уже сложившимся специалистом. Изучив докторскую диссертацию Котельникова, он увидел те широкие перспективы, которые открывали идеи созданной В.А. Котельниковым теории потенциальной помехоустойчивости в изучении проблем передачи и приема сигналов в реальных каналах связи с переменными параметрами.

В своей докторской диссертации он представил фундаментальные научные результаты в области теории оптимального приема двоичных и многопозиционных сигналов как в каналах с постоянным коэффициентом передачи, но со случайной фазой

принимаемого сигнала, так и в каналах с замираниями. Им были детально рассмотрены как одиночный, так и разнесенный прием сигналов. На основе своей докторской диссертации он пишет монографию «Теория передачи дискретных сообщений» (Сов. радио. 1963; 1970), которая стала настольной книгой для нескольких поколений отечественных ученых и инженеров.

В работах Л.М. Финка была определена структура оптимальных демодуляторов и получены формулы, определяющие их помехоустойчивость. Он рассмотрел вопросы некогерентного приема в приемных устройствах, оптимальных по Котельникову, и впервые установил важный теоретический результат, определяющий условие обеспечения максимальной помехоустойчивости некогерентного приема сигналов — их ортогональность в усиленном смысле. Такая ортогональность имеет место, когда ортогональны не только сами передаваемые сигналы, но и их преобразования Гильберта. Им была также исследована помехоустойчивость не только оптимальных, но и других устройств, применяемых на практике. В частности, он исследовал вопросы помехоустойчивости приема сигналов с частотной манипуляцией с использованием частотного дискриминатора. Подобные исследования были выполнены также американскими учеными В. Беннетом и Дж. Залтцем.

Многие ученые вели исследования помехоустойчивости приема сигналов с относительной фазовой манипуляцией (ОФМ) и двукратной ОФМ-ДОФМ (метод передачи, при котором фаза передаваемого сигнала от посылки к посылке изменяется на 90°). Были рассмотрены разные алгоритмы приема этих сигналов и получены формулы, определяющие вероятность ошибочного приема, изучено группирование ошибок, свойственное этому методу передачи сигналов, рассмотрены вопросы реализации устройств для их приема. Весомый вклад в эти исследования был сделан Л.М. Финком. Кроме него в СССР подобные исследования проводили Н.П. Хворостенко, Ю.Б. Окунев и др. Эти ученые исследовали помехоустойчивость разных методов приема сигналов с ОФМ и ДОФМ как в каналах с постоянными параметрами, так и в каналах с замираниями. Важный результат, относящийся к помехоустойчивости двоичных систем с ФРМ второго порядка при различных методах приема, был получен Л.М. Финком совместно с Ю.Б. Окуневым в 1984 г. В работе, опубликованной в 9-м номере журнала «Радиотехника», на примере ОФМ второго порядка было впервые показано, что многоэлементный оптимальный прием таких сигналов обеспечивает асимптотическое приближение к идеальному когерентному приему.

Л.М. Финком были получены оригинальные результаты, относящиеся к вычислению пропускной способности и оптимальному приему в каналах с переменными параметрами. Он не только сам вел исследования в этой области, но и внимательно и критически следил за научными публикациями других ученых.

В 50-х гг. крупные отечественные ученые — академик А.А. Харкевич и профессор Э.Л. Блох, следуя методу, использованному К. Шенноном, «уточнили» его знаменитую формулу $C = F \ln(1 + P_s/P_n)$ для пропускной способности канала связи (здесь F — полоса канала связи, P_s и P_n — мощности полезного сигнала и шума). Л.М. Финк был первым, кто заметил ошибку. Дополнительное исследование, которое провели А.А. Харкевич и Э.Л. Блох в ответ на критику Л.М. Финка, показало, что метод, использованный Шенноном для вывода этой формулы, должен быть уточнен, так как строгое следование этому методу действительно приводит к ошибочному результату.

Л.М. Финком и В.С. Котовым были получены результаты, определяющие потенциальную помехоустойчивость приема четырехпозиционных сигналов с ЧМ (сигналов ДЧТ — двухканального частотного телеграфирования) в каналах с неопределенной фазой при произвольном законе флуктуаций уровня принимаемого сигнала. Идея системы ДЧТ, в которой передача сигналов происходит на четырех различных частотах, была предложена еще в 1923 г. советским академиком, известным специалистом в области распространения коротких волн А.Н. Щукиным. В 1946 г. в СССР инженером И.Ф. Агаповым эта система была реализована и широко применялась в России на линиях коротковолновой связи.

В 1955 г. американский ученый П. Элайс предложил сверточные коды (СК), которые он рассматривал как способ непрерывной обработки информации. В этом же году Л.М. Финком и В.И. Шляпоберским был впервые предложен СК для исправления пакетов ошибок. Это весьма важный класс кодов, которые широко применяются в современных системах связи. Однако поскольку работа Л.М. Финка и В.И. Шляпоберского была опубликована в СССР только в 1966 г. (Бюллетень изобретений № 23), то на Западе о результатах наших ученых ничего не было известно. В 1959 г. появилась статья американского ученого Д.В. Хагельбергера из знаменитой Белл-лаборатории, в которой было дано подробное описание этих кодов. Статья вызвала большой интерес и стимулировала появление многочисленных работ, посвященных исследованию СК. Вот почему в настоящее время эти коды в научной литературе часто называют кодами Хагельбергера.

Л.М. Финком были всесторонне исследованы многие вопросы теории приема сигналов в каналах со случайными параметрами. Для каналов с неопределенной фазой сигналов он исследовал прием M -позиционных ортогональных сигналов, рассмотрел прием таких сигналов в каналах с гладкими рэлеевскими замираниями с использованием разнесенного и одинарного приема. Для систем двукратного разнесенного приема он исследовал влияние корреляции замираний в ветвях разнесения на помехоустойчивость приема и показал, что это влияние незначительно.

Ученики Л.М. Финка также выполнили важные исследования в области разнесенного приема сигналов. Один из них, И.С. Андронов, в 1964–1966 гг. исследовал помехоустойчивость разнесенного приема различных сигналов при когерентном и некогерентном сложениях. Им же были проведены первые исследования помехоустойчивости систем разнесенного приема сигналов в случае, когда замирания в ветвях разнесения происходят по закону Райса, а также когда в каждой ветви разнесения с определенной точностью осуществляются измерения интенсивности и фазы принимаемых сигналов. Совместно Л.М. Финком и И.С. Андроновым была написана одна из наиболее полных в мировой технической литературе книг по теории систем разнесенного приема, в которой представлены результаты исследований в этой области, полученные до 1969 г.

Л.М. Финка интересовали не только вопросы передачи и приема сообщений, но и общие вопросы радиотехники, в частности теория сигналов. В 1966 г. им была опубликована в журнале «Проблемы передачи информации» статья, в которой установлены изящные соотношения между спектром и мгновенной частотой сигнала.

С 1970 г. творческая работа Л.М. Финка продолжается в ЛЭИС. Помимо чтения лекций он активно ведет научные исследования и пишет новые книги.

В центре его интересов в этот период оказывается теория кодирования. Вместе со своим учеником В.И. Коржицом в 1975 г. он выпускает книгу «Помехоустойчивое кодирование дискретных сообщений в каналах со случайной структурой», в которой развивается системный подход к проектированию систем связи. При этом выбор и оптимизация модема и кодека рассматривались как единая задача. В книге исследовались также вопросы кодирования в каналах с обратной связью и в векторных каналах связи.

В 1978 г. в издательстве «Связь» была опубликована весьма интересная книга по теории связи исторического характера «Сигналы, помехи, ошибки...» Л.М. Финка. В этой оригинальной и поучительной книге дан своеобразный анализ нетривиальных парадоксов и ошибок крупных ученых в разные годы. Ему удалось показать, что процесс познания является напряженным и мучительным путем поиска истины, в котором участвуют ученые разных стран. Этот поиск ведется коллективно и непрерывно, нужны годы, чтобы то, над чем работают ученые, превратилось в утверждение, которое воспринимается всеми как истина.

В 1981 г. вышла последняя, единственная в своем роде, научная книга Л.М. Финка, написанная совместно с ленинградскими учеными В.И. Коржицом и К.Н. Щелкуновым, — справочник «Расчет помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений». Этот справочник подводил итог более чем 30-летнему развитию теории потенциальной помехоустойчивости и отражал основные результаты теории оптимального приема дискретных сигналов в разных каналах связи, полученные к 1980 г.

В 80-е гг. Л.М. Финк принимает активное участие в создании системы высококачественного многопрограммного стереофонического цифрового радиовещания (ЦРВ) в диапазоне метровых волн. К решению этой проблемы были привлечены ведущие специалисты Всесоюзного научно-исследовательского института радиовещательного приема и акустики им. А.С. Попова (ИРПА), Всесоюзного научно-исследовательского института телевидения и радиовещания, НИИР, ЛЭИС и Московского электротехнического института связи. Участие в этих работах Л.М. Финка определило ЛПДИ как «мозговой центр» данной разработки. Уже в 1983 г. в Ленинграде была организована опытная зона цифрового радиовещания, и в том же году получены первые авторские свидетельства на способы и устройства формирования сигналов ЦРВ.

Вопреки мнению многих специалистов в области звукового вещания, специалистами ЛПДИ было предложено использовать в системе ЦРВ многочастотный сигнал с ортогональным разделением, двукратную фазоразностную модуляцию и мощные каскадные коды с глубоким перемежением символов. На такую систему Л.М. Финком совместно со специалистами ИРПА (В.М. Колесников и М.У. Банк) и ЛПДИ (М.Я. Лесман и Ю.Б. Окунев) было получено авторское свидетельство на изобретение (№1078648. БИ № 9. 1984). В последней статье Л.М. Финка «Проблемы формирования сигналов в системе цифрового радиовещания», через год после его кончины опубликованной в соавторстве с М.Я. Лесманом и Ю.Б. Окуневым в журнале «Электросвязь» (1989. № 10), были показаны важные технические достоинства такой системы ЦРВ.

Следует отметить, что в те же годы вопрос о выборе системы ЦРВ изучался ведущими инженерами и учеными европейских стран, разрабатывающих в Европейском институте стандартов (ETSI) систему цифрового звукового вещания. Они пришли к аналогичному техническому решению, которое воплотилось в системе Digital

Audio Broadcasting (DAB), принятой в настоящее время для внедрения всеми европейскими странами, включая Россию и страны СНГ. К сожалению, на разработку системы DAB идеи отечественных ученых влияния не оказали, так как по существовавшим в те годы в СССР политическим мотивам контакты наших и зарубежных ученых были ограничены. Поэтому советские специалисты не имели возможности участвовать в разработке этой системы в рамках международной кооперации.

Одна из последних научных работ Л.М. Финка была посвящена повышению помехоустойчивости передачи дискретных сообщений по коммутируемым каналам большой протяженности. Лев Матвеевич с увлечением разрабатывал оригинальные алгоритмы функционирования систем передачи информации с обратной связью, исследовал эффективность различных алгоритмов кодирования и декодирования, включая разработанные им методы стохастического кодирования.

Последняя книга Л.М. Финка вышла за месяц до его кончины («Папа, мама, я и микрокалькулятор». Связь. 1988) и была обращена к совсем юным читателям, которым он стремился передать свои знания и опыт.

Заключение

Л.М. Финк был необычайно одаренным и энциклопедически образованным человеком. В его доме было много книг, в том числе и прекрасно изданных. Его разносторонность проявлялась и в его деятельности в области теории связи. Ему принадлежат яркие и важные идеи не только в области теории потенциальной помехоустойчивости, но и в теории кодирования и теории сигналов. Он отчетливо понимал, что ничего великого никогда не может быть достигнуто без энтузиазма. И он всю свою жизнь работал очень много, с большим энтузиазмом, пробуждая такой же энтузиазм в своих учениках и коллегах.

Финк был великолепным педагогом, подготовившим многих инженеров-связистов. Благодаря его предложениям появилось более десяти новых курсов для студентов и аспирантов. Свою любовь к науке он старался привить ученикам и коллегам. Им было опубликовано более 100 научных работ, в том числе 15 монографий и несколько прекрасных учебников, по которым теорию связи осваивали тысячи специалистов.

Влияние Л.М. Финка на развитие научных исследований в области теории связи в нашей стране было весьма значительным. Более 40 из его учеников стали кандидатами, а 10 — докторами наук. Очень многие отечественные ученые осваивали теорию связи по его книгам и считали себя его учениками.

К сожалению, Л.М. Финк, будучи крупнейшим и признанным отечественным специалистом в области связи и прекрасно владея несколькими европейскими языками, был лишен, как и большинство советских ученых, возможности научных контактов с зарубежными коллегами. Он никогда не выезжал за границу и не участвовал в проводимых там многочисленных научных конференциях в области связи. Его результаты и его имя не были широко известны на Западе.

«Железный занавес», существовавший в советскую эпоху между Востоком и Западом, нанес значительный урон отечественным ученым, которые оказались оторванными от своих коллег в других странах. Такой занавес не только служил барьером,

препятствующим влиянию проводимых в стране научных исследований на развитие мировой науки, но и лишил отечественную науку и наших ученых заслуженного мирового признания. Тем не менее благодаря таким талантливым и высокообразованным людям, как Л.М. Финк, в стране готовились высококвалифицированные специалисты в области теории связи и отечественными учеными были получены значительные результаты.

Судьба Л.М. Финка является иллюстрацией важной закономерности развития науки как потока идей. Мысль, блеснувшая в уме одного ученого (в данном случае академика В.А. Котельникова), вызывает цепную реакцию идей в науке. Круг ученых, разрабатывающих эти идеи, расширяется, рождаются новые идеи, эти идеи воплощаются в новые разработки, и в результате творческий акт отдельного человека с возрастающей мощностью охватывает все более широкие области труда, преобразуя окружающий нас мир. Таким образом происходит необратимый прогресс в человеческом обществе.

В конце своей жизни знаменитый французский ученый Паскаль обратился к поискам места человека в окружающем нас мире. Он писал: *«Человек, по-видимому, создан, чтобы мыслить; в этом все его достоинство, вся его заслуга; вся его обязанность в том, чтобы мыслить как должно...»* Эта мысль перекликается с мыслью Эйнштейна, приведенной в эпиграфе к данной биографии Л.М. Финка, о том, что природа мышления творческой личности является единой и не зависит от сферы ее деятельности. Жизнь этого выдающегося ученого и его научная деятельность подтверждают справедливость сформулированного Паскалем положения о предназначении и роли человека в этом мире.

Литература

1. *Быховский М.А., Лесман М.Я., Окунев Ю.Б.* Профессор Л.М. Финк и развитие теории потенциальной помехоустойчивости // Электросвязь. 2003. № 2.

Александр Александрович ХАРКЕВИЧ

*Великие умы ставят перед собой цели;
остальные люди следуют своим желаниям.*

Вашингтон Ирвинг



Введение

Совсем недолгую жизнь (всего 61 год) прожил Александр Александрович Харкевич — один из крупнейших отечественных ученых в области связи, но эта жизнь была необычайно насыщенной, а сделанное им составило не одну страницу летописи отечественной науки.

Вся его сознательная жизнь была подчинена единой цели, и этой целью было научное творчество. В его жизни как научного работника можно выделить два периода. В первом (до 1952 г.) его научные интересы связаны с проблемами акустики.

Он выполнил важные для страны разработки электроакустического оборудования и написал несколько фундаментальных монографий, в которых была изложена стройная теория электроакустических аппаратов в форме, удобной для приложений.

В конце 40-х гг. почти одновременно крупнейшими учеными XX в. создаются две фундаментальные теории, устанавливающие основные законы электросвязи. Отечественный ученый академик В.А. Котельников создает теорию потенциальной помехоустойчивости (1947 г.), давшую инженерам инструмент для синтеза оптимальных устройств приема сигналов в присутствии помех. В США К. Шеннон и Н. Винер (1948 г.) создают теорию информации, устанавливающую законы передачи сообщений по каналам связи. Обе эти теории являются краеугольными камнями общей теории связи.

Следует отметить, что в начале 50-х гг. отношение к теории информации, возникшей в США, в нашей стране было весьма настороженным. В классической статье К. Шеннона «Математическая теория связи», выпущенной в 1953 г. на русском языке, редактор перевода извратил ее название и опустил ее существенные части, считая, по видимому, их идеалистическими и чрезмерно абстрактными.

Второй период жизни А.А. Харкевича (начиная с 1952 г.) посвящен интенсивной научной работе в области теории связи и организации в этом новом направлении широкого фронта исследований в нашей стране. Благодаря А.А. Харкевичу издаются переводы на русский язык основных работ американских ученых по теории информации и в Академии наук (АН) СССР разворачиваются исследования в области теории

связи. Можно с уверенностью сказать, что благодаря академику А.А. Харкевичу это перспективное научное направление в нашей стране получило интенсивное развитие и появились выдающиеся ученые, которым принадлежат научные результаты, получившие признание во всем мире.

По своей природе А.А. Харкевич был не только ученым, но организатором и просветителем. В разные периоды своей жизни он организовал несколько научных лабораторий и создал научные коллективы, в которых и занимались важными для страны исследованиями. Существенная и неотъемлемая часть его творчества — преподавание. Он был прекрасным методистом, и его книги и статьи отличались безукоризненной ясностью, простотой и изяществом изложения. Ему принадлежат замечательные книги по радиотехнике, многие из которых были переведены на иностранные языки. Первые книги по теории связи, блестяще написанные и изданные в нашей стране, также принадлежат перу А.А. Харкевича.

Деятельность А.А. Харкевича была направлена не только на решение важнейших научных проблем и организацию крупных научных центров в нашей стране. Он мыслил глобально и уже в начале 60-х гг. видел широкие перспективы развития телекоммуникаций во всем мире. Еще тогда он предвидел создание на Земле в будущем глобального информационного общества, в котором каждый человек будет располагать средствами связи, позволяющими ему получить доступ к необходимой информации в любое время и в любом месте на земном шаре. Он отчетливо понимал необходимость модернизации в стране всей системы телекоммуникаций, которая должна развиваться по единому плану и в соответствии с едиными принципами и стандартами, которым должны удовлетворять ее отдельные элементы. В 1962 г. на основе его предложений принимается важное правительственное решение о создании Единой автоматизированной системы связи (ЕАСС). Работа в этом направлении продолжается и в настоящее время.

Биографический очерк

Александр Александрович Харкевич родился 3 февраля 1904 г. в С.-Петербурге. Начав учиться еще до революции в гимназии, он в 1921 г. окончил среднюю школу. На следующий год поступил в Петроградский электротехнический институт. А.А. Харкевич совмещал учебу с работой: сначала монтером в аккумуляторной лаборатории, а затем техником и руководителем работ на заводе. На заводе, он вел научные исследования и в 1928 г. опубликовал свою первую научную статью «Экспериментальное исследование некоторых свойств репродукторов». Один из пионеров отечественной радиотехники профессор Ленинградского электротехнического института И.Г. Фрейман был учителем А.А. Харкевича.

С 1929 г. А.А. Харкевич начинает работать в акустической лаборатории, входящей в состав крупнейшего советского научного учреждения — Центральной радиолаборатории (ЦРЛ) в Ленинграде. Он быстро становится ведущим сотрудником этой лаборатории и выполняет важные исследования. Уже в 1929 г. он разработал первый отечественный диффузорный динамический громкоговоритель и в этом же году приступил вместе с другим сотрудником ЦРЛ К.А. Ламагиным к разработке рупорных

громкоговорителей. В 1930—1931 гг. 500-ваттные громкоговорители и их конструкции применялись для озвучивания происходящего на Красной площади в Москве и на Дворцовой площади в Ленинграде. В 1930 г. А.А. Харкевич окончил институт и получил диплом инженера.

С 1932 г. А.А. Харкевич начал преподавать и вести научные исследования в Военной электротехнической академии. В 1938 г. А.А. Харкевич защищает докторскую диссертацию и получает профессорское звание. К этому времени он становится крупнейшим отечественным ученым в области теоретической и прикладной акустики. В том же году он возглавил кафедру в Ленинградском электротехническом институте связи, в котором работал до 1941 г.

До начала Великой Отечественной войны он издал три фундаментальные монографии: «Электроакустическая аппаратура» (1933 г.), «Примеры технических расчетов в области акустики» (1938 г.) и «Теория электроакустических аппаратов» (1940 г.).

Во время войны А.А. Харкевич заведует лабораторией в Физико-техническом институте АН СССР, где занимается разработкой электроакустических преобразователей на основе пьезоэлектрических и магнитострикционных эффектов. Такие преобразователи находят применение в гидроакустических устройствах, широко используемых на гражданском и военном флоте, в том числе и на подводных лодках, а также в других областях техники.

В 1944 г. А.А. Харкевича направляют в Львовский политехнический институт в качестве профессора и заведующего кафедрой. Через четыре года его избирают членом-корреспондентом АН Украинской ССР, и он переезжает в Киев, где организует отдел технической физики в Институте физики АН УССР. В Киеве он успешно руководил разработками в новой в те годы области техники — магнитной записи сигналов. В эти же годы он выполнил глубокие теоретические исследования волновых процессов и установил важное соотношение взаимности в акустических системах.

Результаты своих исследований в 40-х гг. он опубликовал в книгах «Теория преобразователей» (1948 г.) и «Неустановившиеся волновые явления» (1952 г.).

В 1952 г. А.А. Харкевич переехал в Москву, где возглавил кафедру теоретической радиотехники Московского электротехнического института связи (ныне Московский технический университет связи и информатики) и полностью отдался педагогической работе.

В течение 10 лет он писал замечательные книги по радиотехнике, которые сыграли огромную роль в обучении специалистов в этой области. В 1952 г. издаются две книги «Спектры и анализ» и «Автоколебания», в 1956 г. — «Нелинейные и параметрические явления в радиотехнике», в следующем году — «Теоретические основы радиосвязи», а в 1962 г. — «Основы радиотехники». Эти талантливо написанные книги пользовались огромной популярностью и переводились в Польше, Китае, США и Англии.

Тонкое научное чутье А.А. Харкевича подсказывает ему, что центральными проблемами в области электросвязи становятся проблемы теории связи. С 1954 г. он в качестве старшего научного сотрудника начал работать в Лаборатории по разработке проблем проводной связи АН СССР, занимаясь совершенно новой для себя областью —

теорией связи. С этого года он активно ведет научные исследования в данной области и публикует их результаты в научных журналах. Позже эта лаборатория стала называться Лабораторией систем передачи информации (ЛСПИ).

Следует отметить, что в 1954 г. ему исполнилось 50 лет. Он авторитетнейший специалист в области акустики и занимает прочное положение в научном мире. А для того чтобы заняться новыми и весьма сложными научными проблемами, необходим трудный период изучения всего, что было сделано ранее другими учеными, необходим период «вживания» в эти новые проблемы. Если же учесть, что неизбежно с возрастом удача редко приходит к ученым, то нет никакой гарантии, что начатые исследования оставят достойный след в выбранной новой области знания.

Для того чтобы решиться на столь крутой поворот в своей научной судьбе, ученому, без сомнения, нужны большое мужество, огромная вера в свои интеллектуальные возможности и в свою звезду. Кроме того, необходим также огромный внутренний интерес к новым проблемам.

В силу своей человеческой природы академик А.А. Харкевич не мог продолжать идти по наезженной колее. По-видимому, он испытывал такие же чувства и рассуждал так же, как в свое время русский поэт Игорь Северянин:

*Я жить хочу совсем не так, как все,
Живущие, как белка в колесе,
Ведущие свой рабий хоровод,
Боящиеся в бурях хора вод.
Я жить хочу крылато, как орел,
Я жить хочу надменно, как креол,
Разя, грозя помехам и скользя*

*Меж двух соединившихся «нельзя».
Я жить хочу, как умный человек,
Опередивший на столетье век,
Но кое в чем вернувшийся назад,
По крайней мере, лет на пятьдесят.
Я жить хочу, как подобает жить
Тому, кто в мире может ворожить
Сплетеньем новым вечно старых нот,
Я жить хочу, как жизнь сама живет.*

Уже в 1955 г. А.А. Харкевич выпустил первую в нашей стране книгу «Очерки общей теории связи», в которой, как и академик В.А. Котельников, широко использовал геометрические методы исследования. Эта книга открыла для широкого круга инженеров и ученых в нашей стране возможность ознакомления с важнейшими идеями теории информации.

В 1961 г. на базе ЛСПИ, по инициативе А.А. Харкевича, постановлением Президиума АН СССР создается Институт проблем передачи информации (ИППИ) АН СССР и директором назначают А.А. Харкевича. Институт был создан для развития теории информации и ее приложений, разработки принципиальных вопросов единой системы передачи и распределения информации (структуры сетей и узлов связи, ком-

мутации, автоматического управления, теории телетрафика), разработки методов автоматического опознавания (читающие машины, опознавание зрительных образов, опознавание звуков речи).

С 1961 г. в ИППИ начал издаваться журнал «Проблемы передачи информации». В нем печатали работы крупнейших отечественных ученых, таких, например, как академик А.Н. Колмогоров, профессора Р.Л. Добрушин, М.С. Пинскер, Э.Л. Блох, Л.М. Финк, и многих других.

В первые годы существования ИППИ в нем были развернуты исследования по теории передачи информации и теории кодирования, сформулирована и разработана концепция ЕАСС страны, заданы новые направления исследований в области теории распознавания образов и обработки изображений.

Для работы в области теории связи А.А. Харкевич привлек большое число специалистов (связистов, математиков, физиков). Значительная часть работ в ИППИ проводилась при прямом участии А.А. Харкевича или под его научным руководством. Он занимался проблемами обнаружения и приема слабых сигналов, сжатием спектра сигналов, статистическим и помехоустойчивым кодированием, изучал помехоустойчивость различных видов модуляции. Ежегодно с 1954 г. он публиковал пять — семь научных работ по теории связи.

Ученые ИППИ Р.Л. Добрушин, М.С. Пинскер, Б.С. Цыбаков, И.А. Овсеич и др. провели глубокие математические исследования в области теории информации, Э.Л. Блох, В.В. Зяблов, К.Ш. Зигангиров, К.А. Мешковский, Н.Е. Кириллов и др. — в теории кодирования, А.Д. Харкевич, Г.П. Башарин, М.А. Шнепс и др. — в теории телетрафика. Были проведены важные для практики работы по методам коммутации информационных потоков и управления большими сетями связи (В.Н. Рогинский, В.И. Нейман, В.Г. Лазарев, Г.Г. Саввин и др.). Академик А.А. Харкевич стимулировал в ИППИ исследования систем передачи информации с обратной связью. Результаты этих исследований были обобщены в написанной в 1963 г. профессором Э.Л. Блохом одной из первых книг на эту тему «Помехоустойчивость систем связи с переспросом». В ИППИ были развиты методы передачи изображений, использующие свойства зрения и статистику изображения (Ю.М. Штарьков, Й. Юстесен, Л.П. Ярославский и др.), а также развит ряд аспектов теории распознавания образов (В.С. Файн, Э.М. Браверман, В.А. Гармаш, М.А. Азерман и др.).

В 1963 г. вышла последняя, также замечательная книга А.А. Харкевича «Борьба с помехами». В этой книге он с поразительной ясностью изложил многие сложные вопросы теории помехоустойчивости и указал на ряд перспективных проблем. Книга эта разошлась мгновенно, и ее второе издание было выпущено уже в начале 1965 г.

За выдающиеся заслуги перед наукой в 1960 г. А.А. Харкевич был избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1964 г. — академиком. Он был награжден орденами Ленина и Трудового Красного Знамени.

А.А. Харкевич скоропостижно скончался 30 марта 1965 г. в Москве. Созданный им Институт проблем передачи информации и сегодня остается крупнейшим научным центром по разработке проблем теории связи. Этот институт с 1966 по 1989 г. возглавлял известный ученый в области связи член-корреспондент АН СССР В.И. Сифоров, а с 1990 г. — академик Н.А. Кузнецов.

Вклад А.А. Харкевича в теорию связи

Судьба отвела А.А. Харкевичу всего лишь десять лет на работу в области теории связи. Однако за этот короткий срок им было сделано поразительно много.

Важнейшая его заслуга — организация ИППИ — научного центра, в котором успешно работали сотни ведущих ученых в области теории информации. В этом центре, который получил мировую известность, были выполнены многочисленные теоретические исследования и важные практические разработки.

Исключительно велика его просветительская роль. Благодаря его переводам актуальных работ зарубежных ученых и оригинальным статьям и книгам, в которых разъяснялись основные понятия теории связи, и выступлениям на научных конференциях к проблемам этой теории было привлечено внимание тысяч ученых в нашей стране. Это создало чрезвычайно благоприятную атмосферу для быстрого развития данного научного направления в СССР.

В ряде его собственных оригинальных научных работ содержались идеи, которые оказали серьезное влияние на развитие техники связи и не утратили своего значения и сегодня.

В 1957 г. в своей работе «Передача сигналов модулированным шумом» (Электросвязь. № 11) академик А.А. Харкевич теоретически доказал эффективность применения широкополосных сигналов для повышения помехоустойчивости приема в многолучевых каналах связи. Это был совершенно неожиданный научный результат, противоречащий укоренившимся в те годы представлениям инженеров. К сожалению, в нашей стране до практической реализации этих идей в те годы дело не дошло. Подобные идеи разрабатывались в США в 1956–1958 гг., где были выполнены как теоретические исследования, так и работы по практической реализации подобной системы. В 1958 г. крупными американскими учеными Р. Прайсом и П.Е. Грином была опубликована статья с подробным описанием принципиально новой системы связи «Rake», которая явилась практической реализацией этих исследований.

А.А. Харкевичем и Э.Л. Блохом был предложен метод коррекции ошибок в каналах связи, в которых эти ошибки группируются и возникают пакетами. В таких каналах задача коррекции пакетов ошибок может быть сведена к задаче коррекции независимых ошибок путем применения метода перемежения символов, который состоит в перестановке передаваемых символов таким образом, чтобы соседние символы передаваемой кодовой комбинации оказывались разнесенными в достаточной степени во времени, чтобы их искажения в канале связи были независимыми. На приеме производится восстановление исходного порядка символов. Эта простая идея была выдвинута А.А. Харкевичем и Э.Л. Блохом в 1960 г. (Электросвязь. № 9) и позднее в 1970 г. американским ученым Дж. Л. Рамсеем, Сегодня метод перемежения символов применяется во многих системах радиорелейной и подвижной связи, в которых при приеме цифровых сигналов ошибки группируются.

Всего начиная с 1953 г. по вопросам теории связи им было опубликовано 37 научных работ.

Важной вехой в истории развития связи в нашей стране стали выдвинутые А.А. Харкевичем идеи создания ЕАСС. Эти идеи были опубликованы в 1962 г. в статье «Информация и техника» (журнал «Коммунист». № 12). В этой статье

А.А. Харкевич раскрыл роль информации в развитии человеческого общества. Он писал: «...стала ясной всеобъемлющая роль информации не только в отношениях между людьми, но и во взаимодействии человека и машины, а также в жизнедеятельности любого организма... с повышением экономического, технического и культурного уровня общества стремительно растет количество информации, которую нужно собрать, передать и так или иначе использовать для обеспечения всех функций сообщества людей. Никакая организованная форма деятельности немислима без обмена информацией. Без информации невозможно ни планирование, ни управление». Эти мысли не утратили своей актуальности и сегодня. В своей статье он формулирует закон «...количество информации растет, по меньшей мере, пропорционально квадрату промышленного потенциала страны», который сегодня называют законом Харкевича.

А.А. Харкевич обосновал пути организационно-технического объединения сетей, предугадав важность цифровых методов передачи и коммутации различных видов информации в цифровой форме. Единая автоматизированная сеть связи страны должна, по его мнению, представлять собой крупнейший инженерный комплекс, объединяющий всю существующую сеть связи. Эта сеть будет развиваться путем планомерного ее наращивания в органическом взаимодействии с системой вычислительных, управляющих и справочных центров.

Надо отметить, что органическая увязка сетей связи с сетями ЭВМ, намеченная А.А. Харкевичем, переросла в выдвинутую позже академиком В.М. Глушковым идею создания Государственной сети вычислительных центров и на ее базе Общегосударственной системы сбора и обработки информации для учета, планирования и управления народным хозяйством. Эти идеи можно рассматривать как предтечи идей создания глобальной сети Интернет, развитие которой началось в конце 60-х гг. в США и которая получила всемирное распространение (в СССР эти идеи, к сожалению, не получили должного развития).

В 1963 г. началась реализация идей А.А. Харкевича. По предложению АН и Минсвязи СССР для координации работ по созданию ЕАСС был образован Межведомственный координационный совет под председательством министра связи генерал-полковника Н.Д. Псурцева.

Этот совет согласовывал основные принципы построения ЕАСС, этапы ее развития, необходимые научные и опытно-конструкторские работы, объемы производства оборудования. Большое внимание уделялось разработке и утверждению норм и правил, обеспечивающих надежность сети и высокое качество передаваемой информации.

Единая автоматизированная сеть связи сыграла большую роль в развитии электросвязи и информатизации страны. На ее основе решались сложнейшие задачи по передаче и распределению различных видов информации для народного хозяйства, населения и обороны. На базе ЕАСС и Государственной сети вычислительных центров формировалась Общегосударственная система сбора и обработки информации для учета, планирования и управления народным хозяйством, объединявшая отраслевые и территориальные автоматизированные системы управления основных министерств, ведомств и союзных республик.

Работа над развитием взаимоувязанной сети связи страны (так теперь называется ЕАСС) продолжается и в настоящее время.

Заключение

А.А. Харкевич был яркой личностью и обладал очень развитым чувством юмора. По воспоминаниям Ю.М. Брауде-Золотарева — одного из его учеников, общаться с ним было чрезвычайно интересно и поучительно. Говорил он всегда энергично, кратко, образно. Его высказывания были афористичны, раскрывали его философское отношение к науке и запоминались на многие годы. Приведем некоторые из них:

«В любой выборке смекалистые и просто умные встречаются равновероятно редко, будь то Петровы, Ивановы, инженеры, кандидаты, доктора и так далее. Иная домашняя хозяйка для званого обеда затратит столько творческой энергии, сколько ошастливило бы многих членов ученого совета».

При обсуждении новых идей, он как-то заметил: *«Истина не имеет права на стыдливость. Она ОБЯЗАНА появиться во всей наготе в таком месте и в такое время, чтобы никто не посмел сделать вид, будто ее не заметил».*

Весьма глубоким является следующее его высказывание: *«Надо уметь отличить момент конца непонимания идеи от момента начала ее полного понимания. Между ними лежит немалое время и труд».*

В беседах с аспирантами он отмечал: *«Иные нелепые парадигмы умирают только вместе с их носителями».* И еще: *«Первейшая задача научного работника — осознание собственной ограниченности. А мы все ограничены сроком жизни, рабочими часами в сутках и, к сожалению, способностями. Вторая задача — лично избегать эффекта преждевременного насыщения, когда радость от удачи заслоняет пути дальнейших работ».*

Рассматривая перспективы развития теории связи, он говорил: *«Гений Шеннона дал все направления математической теории кодирования — теории информации, — но он вынужденно снял ограничения сложности и задержки. Наша задача разработать конструктивную теорию кодирования, обосновывающую выбор кодирования простейшего и с наименьшей задержкой».*

При обсуждении статьи, предложенной для публикации, он сказал ее автору: *«Вы уже показали в прошлой работе, что эта идея мертва. Важно ли читателю обсуждение, по какому разряду ее хоронить?»*

Он часто спрашивал своих аспирантов: *«В чем различие диссертационной работы от исследовательской?»* И, не получив вразумительного ответа, говорил: *«Исследовательская работа хороша, если требует многих продолжений, а диссертационная — должна иметь своевременный конец».*

Придавая особое значение интеллекту своих студентов, он так формулировал свое кредо оценки их знаний на экзаменах. Он говорил: *«Я ставлю 5 тому, кто все знает и все понимает, 4 — тому, кто все понимает, но ничего не знает, 3 — тому, кто все знает, но ничего не понимает, а 2 — тому, кто ничего не знает и не понимает».*

Он имел развитое чувство собственного достоинства и глубоко уважал своих сотрудников, независимо от занимаемой ими должности. Чувства подострастия перед высоким начальством он был лишен. Однажды, когда он был вызван к руководству Академии, он попросил перенести эту встречу, так как им уже были назначены встречи аспирантам и сотрудникам. Он позвонил и сказал: *«К сожалению, у меня уже на это время назначена важная встреча и я не могу ее отменить».*

А.А. Харкевич был художественной натурой, понимал и любил природу, любил путешествия за рулем автомобиля и моторной лодки, которыми управлял с большим мастерством. В часы досуга он прекрасно лепил из пластилина, увлекался художественной фотографией. Его цветные стереоскопические фотографии были выполнены высокопрофессионально. Он любил кино и современную литературу. У него были «золотые руки», и он очень любил на досуге заниматься разными поделками, мог починить часы и любое тонкое ювелирное изделие, ликвидировать неполадки в автомобиле, в его рабочем кабинете был токарный станок. Но самым любимым и главным делом в его жизни была наука. Он считал, что наука — самое важное, самое прекрасное и самое нужное в жизни человека.

А.А. Харкевич не только обладал творческим даром исследователя, но и редчайшим педагогическим талантом. В одном из своих стихотворений русский поэт Яков Полонский писал:

*Кто упростит задачи сложность?
Кто к совершенству даст возможность
Расчистить миллион дорог?*

Если говорить о теоретических проблемах электросвязи, то в ответ на эти вопросы следует указать на академика А.А. Харкевича. Он расчистил путь к знаниям тысячам инженеров, которые, познав законы электросвязи, своей работой способствовали тому огромному техническому прогрессу, который произошел в области телекоммуникаций за вторую половину XX в.

А.А. Харкевич был человеком глубоко мыслящим и интересовался не только техническими проблемами, но и тайнами природы человеческого творчества. В одной из последних работ А.А. Харкевича «Некоторые воззрения на механизм творческого процесса» содержится анализ взглядов А. Пуанкаре и У. Эшби на проблему творчества и излагаются его собственные взгляды. Он пришел к выводу, что в принципе возможно создание машины, выполняющей творческие функции. Этот вывод согласуется с мыслью Пуанкаре: «Творить — это распознавать, это выбирать из множества возможных комбинаций идей те, которые полезны».

Живший в XIX в. английский писатель Самюэл Смайлс как-то высказал мудрую мысль: «Число годов еще ничего не свидетельствует о длине жизни; жизнь человека измеряется тем, что он в ней сделал и почувствовал». Если оценивать продолжительность жизни академика А.А. Харкевича с этой точки зрения, то она оказалась необычайно длинной. Этим же писателем было сказано: «Книги обладают способностью бессмертия. Они самые долговечные плоды человеческой деятельности». Своей созидательной деятельностью и своими замечательными книгами академик А.А. Харкевич, без сомнения, обеспечил себе почетное место в истории отечественной науки.

Литература

1. Харкевич А.А. Избранные труды. — М.: Наука, 1973. Т. 1; 3.

Александр Яковлевич ХИНЧИН

Нельзя не признать, что занятия математикой — ниспосланное богами безумие человеческого духа.

Альфред Норт Уайтхед



Введение

Математика — это язык, на котором пишутся законы природы. Подобно эсперанто для ученых он является универсальным средством международного общения и обмена идеями. Универсальность математического языка в том, что на нем можно выражать законы, относящиеся не только к математике, но и к разным областям науки и техники. На этом языке могут быть выражены законы физики, химии, биологии, социологии и многих других областей человеческой деятельности. Язык математики чрезвычайно важен и для электросвязи.

Знаменитый российский поэт Иосиф Бродский сказал: *«Поэт — орудие языка»*. С тем же основанием можно утверждать, что математик — орудие математического языка. В этом отношении математик подобен поэту, творящему новые языковые формы. Развитие математики, как и развитие языка, расширяет возможности мышления людей и способствует интеллектуальному развитию человечества.

К крупнейшим математикам современности принадлежит Александр Яковлевич Хинчин, которым получены фундаментальные результаты во многих областях: теории функций, теории чисел, теории вероятностей и случайных процессов, а также теории информации. Ряд его работ оказал глубокое влияние на развитие теории связи.

Он был необыкновенно яркой личностью — любил и основательно знал поэзию и театр, был дружен с Владимиром Маяковским и со многими актерами Художественного театра.

Большое внимание А.Я. Хинчин уделял вопросам преподавания математики в средней школе. Одной из центральных проблем в методике является проблема формализма знаний учащихся. А.Я. Хинчин рассматривал сущность и различные проявления этого явления при обучении школьников математике. Он связывал процесс обучения с развитием интеллекта школьников и воспитанием их личности.

Биографический очерк

Александр Яковлевич Хинчин родился 19 июля 1894 г. в с. Кондрово Медынского уезда Калужской губернии в семье инженера-технолога, который работал главным инженером на крупной бумажной фабрике. Еще в школе он проявил большие способ-

ности к математике. Однако математика была не единственным его увлечением. В школьные годы он серьезно интересовался театром. Это увлечение было так велико, что он организовал в Кондрове любительский театр, в котором был режиссером и участвовал в спектаклях в качестве актера. Одно время он брал у любимых актеров МХАТ уроки мастерства и дикции. Школу он окончил в 1911 г. Со школьных лет у А.Я. Хинчина была очень сильна любовь к поэзии. Он писал стихи и после окончания школы выпустил два небольших стихотворных сборника: «Пленения» (Калуга. 1912) и «О деве с тайной в светлом взоре» (Калуга. 1914).

Долгое время увлечение поэзией конкурировало с увлечением математикой. Однако в конце концов последнее взяло верх, и в 1911 г. он поступил на физико-математический факультет Московского государственного университета (МГУ). Увлечение изящной литературой и театром сделало А.Я. Хинчина широкообразованным человеком и сказалось на его формировании как блестящего лектора и педагога, автора прекрасных монографий и учебников, написанных с поразительной ясностью и изяществом.

В МГУ он посещал семинар выдающегося советского математика академика Н.Н. Лузина и под его руководством выполнил ряд неординарных работ по метрической теории функций. Его первая публикация в 1916 г. была посвящена теории интегрирования. Результаты его исследований по теории функций в 1927 г. были подытожены в вышедшей на французском языке большой статье «Исследования структуры измеримых функций».

После окончания в 1916 г. МГУ А.Я. Хинчин был оставлен в аспирантуре, окончание которой позволяло ему преподавать математику в университете. В течение нескольких лет он преподавал математику в Московском женском институте и в различных школах Москвы, а с 1919 г. — в Иваново-Вознесенске.

С 1922 г. научные интересы А.Я. Хинчина концентрируются вокруг проблем теории чисел и теории вероятностей. В области теории чисел ему удалось усилить результаты знаменитых английских математиков Г. Харди и Дж. Литлвуда, получивших оценку количества простых чисел, меньших заданного натурального числа.

В 1927 г. Хинчин стал профессором МГУ и в этом же году опубликовал книгу «Основные законы теории вероятностей». В 1932–1934 гг. он выполнил исследования, заложившие основы теории стационарных случайных процессов, играющей значительную роль во многих прикладных областях и в том числе в теории связи. Полученные результаты нашли отражение в его ставших классическими монографиях «Асимптотические законы теории вероятностей» (1933 г.) и «Предельные законы для сумм независимых случайных величин» (1938 г.). В 1935 г. А.Я. Хинчин переехал из Москвы в Саратов, где в течение двух лет преподавал математику в Саратовском университете.

В 1936 г. вышла книга А.Я. Хинчина «Цепные дроби», которая была переиздана в 1949 г. В этой книге содержались как классические сведения о непрерывных дробях, так и оригинальная глава по метрической теории диофантовой аппроксимации.

Возвратившись в 1937 г. в Москву, он вместе с А.Н. Колмогоровым и своим учеником Б.В. Гнеденко создал в МГУ научную школу теории вероятностей.

В 1938–1939 гг. в Математическом институте им. Стеклова АН СССР и в МГУ работала группа ведущих математиков университета: П.С. Александров, И.М. Гельфанд, А.Н. Колмогоров, И.Г. Петровский, А.Я. Хинчин и др. В этом институте был организован отдел теории вероятностей и математической статистики, которым заведовал А.Н. Колмогоров.

С 1940 г. интересы Хинчина снова меняются и он начинает теоретические исследования в области статистической механики.

Хинчин написал книгу «Восемь лекций по математическому анализу», вышедшую впервые в 1943 г. Эта книга содержала изящное изложение основных положений математического анализа и переиздавалась семь раз. В том же году вышла его другая книга «Математические принципы статистической механики», давшая математически строгое изложение классической статистической механики. Работу в этой области он продолжал и в последующие годы. В 1951 г. была опубликована книга «Математические основы квантовой статистики», которая в 1956 г. была переведена на немецкий, а в 1960 г. — на английский языки. Эти книги, благодаря ясности изложения, полезны как для математиков, работающих над применением математических методов к физическим проблемам, так и для физиков, нуждающихся в знании математических основ своей области.

В 1945 г. А.Я. Хинчин пишет брошюру «Три жемчужины теории чисел», в которой элементарными методами были доказаны три теоремы теории чисел. Эти теоремы имели чрезвычайно простую формулировку, но долгое время не поддавались усилиям многих крупных математиков. Интересна история создания этой книги. А.Я. Хинчин написал ее по просьбе своего молодого ученика, который был ранен на фронте и из госпиталя прислал ему письмо с просьбой прислать «каких-нибудь математических жемчужинок». Эта мастерски и с большим изяществом написанная книга была в 1952 г. переведена на английский язык.

Последние годы своей жизни А.Я. Хинчин посвятил математической разработке идей шенноновской теории информации. В 1957 г. он опубликовал важную книгу «Математические основы теории информации», которая в этом же году была переведена на английский язык. В книге математически строго доказывались основные теоремы теории информации Шеннона.

Всего А.Я. Хинчиным опубликована 151 научная работа в области теории вероятностей.

В 1939 г. А.Я. Хинчин стал членом-корреспондентом АН СССР, а в 1943 г., когда была организована Академия педагогических наук (АПН) РСФСР, А.Я. Хинчина избрали ее академиком. Этой Академии поручалась научная разработка вопросов общей педагогики, истории педагогики, психологии, школьной гигиены и методов преподавания основных дисциплин в начальных и средних школах, а также подготовка через аспирантуру и докторантуру научно-педагогических кадров для вузов и научно-исследовательских институтов по педагогике и психологии.

В 1941 г. состоялось первое присуждение Сталинских (ныне — Государственных) премий СССР. За выдающиеся научные результаты в области теории вероятностей лауреатами премии стали А.Н. Колмогоров и А. Я. Хинчин.

Александр Яковлевич Хинчин скончался 18 ноября 1959 г. в Москве.

Научные работы

Как уже отмечалось, А.Я. Хинчин являл собой пример разносторонне развитой личности. Существенный вклад он внес во многие разделы математики. Полученные им результаты в области теории массового обслуживания, теории случайных процессов и теории информации имеют непосредственное отношение к теории связи и оказали серьезное влияние на ее развитие.

Теория массового обслуживания. В электросвязи зародился один из крупных разделов математической теории случайных процессов — теория массового обслуживания. Первый камень в фундамент этой теории заложил датчанин, сотрудник Копенгагенской телефонной компании А.К. Эрланг. В своих работах 1908—1918 гг. он дал четкую математическую формулировку проблемы очередей, возникающих в сетях связи из-за того, что количество телефонных каналов по причинам экономического характера всегда существенно меньше числа установленных телефонов. Эрланг преследовал практическую цель — дать методику расчета числа каналов, достаточного для обслуживания всех подключенных к сети телефонных аппаратов с малой вероятностью потери вызова.

Направление, которое начал развивать Эрланг, называется в настоящее время теорией телетрафика. Следует отметить, что именно с работ Эрланга началось проникновение в электросвязь весьма широко используемых сегодня статистических методов исследования. Однако проблема, которой он коснулся, — проблема очередей — одна из острейших в XX в. Важная задача определения надежности работы различного рода устройств радиоэлектроники и связи также решается на основе теории массового обслуживания.

Таким образом, теория массового обслуживания, возникнув в связи с конкретной практической задачей, приобрела чрезвычайно широкую сферу приложений, найдя применение во многих областях человеческой деятельности.

Первые работы по теории телетрафика в СССР были выполнены академиком М.Ю. Юрьевым, опубликовавшим в 1925 г. в 5-6-м номере журнала «Жизнь и техника связи», статью «Определение числа соединительных линий между районными телефонными станциями». В начале 30-х гг. инженерами К.В. Базилевичем и В.А. Горюковым была подготовлена первая советская книга «Трафик и работа приборов соединения автоматических телефонных станций».

Неудивительно, что теорию, имеющую столь важное практическое значение, стали развивать многие ученые, в том числе известные математики. В создании теории участвовали американские ученые — Т. Фрай, выпустивший в 1928 г. первую книгу по теории вероятностей, в которой одна из глав посвящена теории телетрафика, В. Феллер, Д. Кенделл и др.

Проблемы теории массового обслуживания привлекли внимание А.Я. Хинчина в начале 30-х гг., когда он, будучи депутатом Моссовета, вошел в секцию связи, которая в те годы рассматривала проблемы внедрения в Москве автоматических телефонных станций. В это время по просьбе специалистов московского телефонного узла А.Я. Хинчин выполнил ряд оригинальных исследований, имевших практическую направленность. Результаты этой работы были опубликованы в начале 30-х гг. в двух статьях А.Я. Хинчина. В одной из них он развил новый перспективный метод, кото-

рый впоследствии получил название метода «вложенных цепей Маркова». Этот метод позволил определять распределение времени ожидания для случая простейшего потока вызовов, поступающих на один прибор, обслуживаемых с очередью для произвольного распределения времени обслуживания.

К проблемам теории массового обслуживания А.Я. Хинчин вернулся вновь в 1953 г. в связи с работами, проводившимися на московской телефонной сети. В это время, помимо консультационной деятельности, он составил и прочел для инженеров курс теории телетрафика. Готовя этот курс, он ознакомился со значительной журнальной литературой по данному вопросу и наметил основные задачи теории массового обслуживания. Результаты выполненных А.Я. Хинчиным исследований были опубликованы в 1955 г. в его монографии «Математическая теория массового обслуживания», в которой систематически и математически строго излагались основы теории телетрафика.

Теория телетрафика — один из крупных, интенсивно развивающихся разделов теории массового обслуживания. Это обусловлено быстрыми темпами развития сетей связи, что делает весьма важной проблему повышения эффективности ее использования путем управления потоками сообщений, передаваемых по каналам сетей.

Значительные научные исследования с привлечением метода статистического моделирования на ЭВМ для решения данных проблем были выполнены советскими учеными Г.П. Башариным, Б.С. Лившицем, А.Д. Харкевичем, М.А. Шнепсом и др.

Теория случайных процессов. Исключительное значение в теории связи имеет теорема, установленная в начале 30-х гг. знаменитыми математиками современности Н. Винером (1930 г.) и А.Я. Хинчиным (1934 г.). Эта теорема, носящая во всех книгах имя теоремы Винера—Хинчина, имеет следующую формулировку: «Функция автокорреляции и энергетический спектр стационарного случайного процесса, имеющего нулевое математическое ожидание, связаны между собой преобразованием Фурье».

Она дала в руки инженеров инструмент для решения многих возникающих на практике задач, требующих анализа процессов прохождения случайных сигналов в приемных и передающих устройствах через различного рода нелинейные блоки, в которых осуществляется их обработка. При этом на входе устройств обработки сигналов известны статистические характеристики сигналов, и необходимо определить спектр сигналов, действующих на выходе таких устройств. Особую актуальность подобные задачи приобрели с возникновением радиолокационных и спутниковых систем связи, которые должны были проектироваться так, чтобы обеспечивалась высокая помехоустойчивость приема сигналов. С начала 50-х гг. в фундаментальных монографиях В.И. Бунимовича «Флуктуационные процессы в радиоприемных устройствах» (1951 г.), Д. Миддлтона «Введение в статистическую теорию связи» (1960 г.), Б.Р. Левина «Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике» и В.С. Пугачева «Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления» (1957 г.) и многочисленных учебниках на основе теоремы Винера—Хинчина решаются многочисленные задачи, связанные с детектированием радиосигналов с разными видами модуляции. Советским ученым С.В. Бородичем и английским ученым Р.Г. Медхэрстом была создана теория, на основе которой разра-

батывались методы расчета нелинейных искажений, возникающих при прохождении с частотной модуляцией (ЧМ) через линейные цепи. Эта теория сыграла ключевую роль при проектировании многоканальных радиорелейных систем связи с ЧМ, которые с середины XX в. широко используются для организации линий связи во всех странах мира.

Теория информации. Основы теории информации были заложены в 1948 г. одним из крупнейших ученых современности Клодом Шенноном. А.Я. Хинчин заинтересовался проблемами теории информации в начале 50-х гг. В своих работах он существенно развил концепцию Шеннона о пропускной способности канала связи и энтропии источника информации. Его работы, дающие глубокое и строгое изложение основных положений теории информации, содержат полное изложение всех шенноновских результатов. Книга А.Я. Хинчина «Математические основы теории информации» — одна из первых книг по теории информации, написанных известными математиками. Она сыграла важную роль в развитии этой теории в нашей стране и за рубежом.

Заключение

Поэт слышит голос музы и создает поэму. Математик, ощущая невозможность на существующем в настоящее время математическом языке отразить гармонию окружающего нас мира и его законы, создает новую математическую теорию — новый язык. Язык — мощнейший катализатор прогресса, и его развитие позволяет человечеству продвинуться еще на одну ступень в познании природы.

А.Я. Хинчин был одним из тех, кто в XX в. сделал многое для формирования новых разделов математики, сыгравших значительную роль в разработке важнейших законов теории связи, касающихся передачи сообщений по каналам связи. Он оставил после себя богатейшее научное наследие.

Его научные интересы формировались не только под влиянием потребностей практики (например, работы по теории массового обслуживания), но в не меньшей степени его эстетическим чутьем, чувством гармонии, красоты. Именно этим можно объяснить его громадный творческий диапазон, позволивший ему охватить столь широкий круг сложнейших математических проблем. Его любовь к поэзии, к театру, интерес к педагогике являлись продолжением этих его качеств в науке.

Исключительно ценные человеческие черты А.Я. Хинчина — скромность и порядочность. Вспоминает его ученик академик АН УССР Б.В. Гнеденко: «Он не признавал недоделанных дел и никогда не позволял себе перекладывать на плечи других порученную ему работу. Он не стремился к внешним почестям и, будучи уже ученым с мировым именем, членом-корреспондентом АН СССР и академиком АН РСФСР, продолжал жить довольно скромно, отличая людей за их внутренние качества, а не за их служебное положение».

В качестве одного из эстетических критериев в математике и в педагогике А.Я. Хинчин говорил о стремлении всегда искать кратчайший путь, ведущий к цели. Внутри него всегда горел огонь, и этим огнем была его мысль.

Российский поэт Николай Минский в начале XX в. писал:

*...Не тот бессмертен на Земле,
Кто превзошел других в Добре или во Зле,
Кто славы хрупкие скрижали заполнил повестью,
Бесцельною, как сон,
Пред кем толпы людей,
Такой же прах как он,
Благоговели иль дрожали,
Но всех бессмертней тот,
Кому сквозь прах Земли
Какой-то новый мир мерещился вдали,
Несуществующий, но вечный!
Кто цели неземной так жаждал и страдал,
Что силой жажды сам мираж себе создал
Среди пустыни бесконечной.*

Такой новый мир создал великий российский ученый А.Я. Хинчин.

Литература

1. Хинчин А.Я. Избранные труды по теории вероятностей. — М.: ТВП, 1995.

Ричард Весли ХЭММИНГ

Классические произведения – это, быть может, такие произведения, которые способны застыть, не умирая и не разлагаясь.

Поль Валери



Введение

В книге Стефана Цвейга «Звездные часы человечества» есть замечательный рассказ «Гений одной ночи» об офицере французской армии Руже де Лиле, написавшем в течение одной ночи знаменитую «Марсельезу». Эта песня почти мгновенно, в течение нескольких дней, распространилась по всей Франции. Она получила колоссальную популярность во всем мире и впоследствии стала национальным гимном Французской Республики. История сохранила имя Руже де Лиля в памяти потомков только благодаря этой единственной песне.

В подобном же смысле американского ученого Ричарда Хэмминга можно назвать «гением одной идеи», так как идея построения кодов, корректирующих ошибки, изложена только в одной его научной статье, опубликованной в 1950 г. Статья содержала конструкцию блочного кода, корректирующего одиночные ошибки, возникающие при передаче сообщений.

Всю жизнь Хэмминг активно вел научные исследования, однако всемирно знаменитой и классической стала его единственная работа в области теории информации, составляющая по своему объему ничтожный процент его научного творчества. Эта статья быстро получила мировую известность и принесла ему заслуженную славу.

Подобно тому, как за открытиями Фарадея, Максвелла и др. последовали многочисленные исследования и изобретения в области электросвязи, изменившие нашу жизнь, так и после создания Клодом Шенноном теории информации, В.А. Котельниковым теории потенциальной помехоустойчивости открылись новые возможности для развития телекоммуникаций. Одним из важнейших разделов теории информации является теория кодирования, основы которой заложил Хэмминг.

Шеннон установил, что информация по каналу связи может передаваться безошибочно в том случае, если скорость ее передачи не превышает его пропускной способности. Однако доказательство Шеннона носило неконструктивный характер. Более

поздние исследования американских ученых С.О. Райса и К. Шеннона показали, что практически любой случайно выбранный код позволяет достичь предела помехоустойчивости приема сообщений, указываемого теорией. Однако такой код имел высокую сложность декодирования — число операций, необходимых для декодирования принятой кодовой комбинации такого кода, возрастало экспоненциально с ростом его длины.

Хэмминг был первым, кто предложил конструктивный метод построения кодов с избыточностью, которые имели простой метод декодирования. Работа Хэмминга стала классической и предопределила большинство последовавших позже работ в этой области.

Биографический очерк

Ричард Весли Хэмминг родился 11 февраля 1915 г. в Чикаго. В 1937 г. он окончил Чикагский университет и получил степень бакалавра. Свое образование он продолжил в университете штата Небраска, в котором в 1939 г. ему была присвоена магистерская степень. Завершил свое образование он в 1942 г., став доктором философии в области математики в университете штата Иллинойс.

В 1945 г. Хэмминг участвовал в знаменитом Манхэттенском исследовательском проекте, целью которого было создание атомной бомбы. Он был приглашен участвовать в этом проекте, так как в то время работал в Колумбийском университете, и ему пришлось трудиться в Лос-Аламосе.

С 1946 г. после окончания Второй мировой войны Хэмминг начинает работать в Белл-лаборатории, где занимается конструированием компьютеров. В этой знаменитой лаборатории, в которой работал К. Шеннон и многие другие выдающиеся ученые, он проработал почти тридцать лет.

В 1976 г. Хэмминг переехал в город Монтеррей штата Калифорнии и возглавил научные исследования в области вычислительной техники в Высшем военно-морском училище. В этом училище он преподавал и писал книги по теории вероятностей и комбинаторике.

Работа Хэмминга была отмечена многими наградами. В 1968 г. он стал почетным членом Института инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) и был награжден премией Тьюринга Ассоциации компьютерных технологий. За исключительно важный вклад в развитие информационных наук и систем в 1979 г. в IEEE он получил премию Эммануила Пиоре. В 1980 г. его избрали членом Национальной академии инженерных наук, в 1981 г. он получил премию Гарольда Пендера от Пенсильванского университета, а в 1988 г. был награжден почетной медалью IEEE. В 1996 г. в Мюнхене за свою работу по кодам, корректирующим ошибки, Хэмминг получил престижную премию Эдуарда Рейна в размере 130 000 долл. В честь Хэмминга Институтом инженеров по электротехнике и электронике учреждена медаль, которой награждают ученых, выполнивших значительные работы в области теории информации.

Ричард Весли Хэмминг скончался 7 января 1998 г. в Монтеррее, штат Калифорния.

Работы, заложившие основы теории кодирования

Коды, способные корректировать ошибки, возникающие (в каналах связи или в цифровых вычислительных машинах и т.п.) при обработке сигналов, были придуманы Хэммингом еще до 1948 г., когда была опубликована знаменитая статья Шеннона «Математическая теория связи», заложившая прочную основу теории связи. В этой статье Шеннон, ссылаясь на выполненное в 1947 г. исследование Хэмминга, с которым он общался, так как они оба были сотрудниками Белл-лаборатории, описал в качестве примера простой код длины 7, корректирующий все одиночные ошибки. Публикация же оригинальной статьи Хэмминга по патентным соображениям была задержана до апреля 1950 г.

Следует отметить, что пример корректирующего ошибки кода, приведенный в упомянутой статье Шеннона, инициировал исследование другого американского ученого М.Е. Голея. Голей независимо от Хэмминга открыл коды, корректирующие одиночные ошибки, и до появления в печати статьи Хэмминга опубликовал свои результаты в 1949 г. в короткой заметке (всего на полстраницы) в «Proc. IEEE». В ней Голей рассмотрел не только бинарные коды, но и коды общего вида, кодовые комбинации которых принадлежат конечному полю (математическому множеству элементов, в котором определены операции сложения, вычитания, деления и умножения) с p^n элементами (p — простое число, а n — целое).

История науки дает возможность осознать всю сложность и деликатность проблемы приоритета в установлении тех либо иных научных истин, относительно которого часто возникают ожесточенные споры, приобретающие порой уродливый характер споров некомпетентных людей о национальном приоритете. Данная история также показывает, что абсолютных критериев для установления таких приоритетов не существует. В этой связи интересно отметить, что ряд основополагающих идей теории связи был известен в математике еще до того, как их еще раз открыли ученые, решающие проблемы передачи сообщений по каналам связи. В своей книге «Алгебраическая теория кодирования» крупный американский специалист в области теории кодирования Э. Берлекамп сделал интересное замечание. Он отметил, что конструкция кодов Хэмминга была описана (правда, в совсем ином контексте) еще в 1942 г. известным американским математиком Р.А. Фишером, работа которого была посвящена теории факторного анализа (одного из разделов математической статистики) и ее связи с математической теорией групп. Вспомним, что теорема В.А. Котельникова, указывающая на возможность представления аналоговых сигналов в цифровом виде, также была сформулирована еще в начале XX в. английскими математиками Э.Т. Уиттекером и Дж. М. Уиттекером как один из частных математических результатов теории интерполяции функции. Следует подчеркнуть, что ни Фишер, ни упомянутые английские ученые не связывали свои результаты с важнейшими для современного мира проблемами передачи информации по каналам связи.

Великий немецкий поэт Гете говорил: *«Недостаточно только получить знания; надо найти им приложение. Недостаточно только желать; надо делать»*. Для теории и техники связи теорема Котельникова и коды Хэмминга имеют исключительное значение, поскольку именно благодаря этим ученым перед инженерами откры-

лась ясная перспектива создания цифровых систем, которые в конце XX в. произвели революцию в электросвязи, и их с полным на то основанием называют именами этих ученых.

Статья Хэмминга стала катализатором, ускорившим развитие теории кодирования, и она обратила на себя внимание научной общественности. Во всех учебниках этот класс кодов называют кодами Хэмминга и изложение теории кодирования начинают с описания их конструкции. По-видимому, было бы справедливее эти коды называть кодами Хэмминга–Голея, учитывая, что Голей пришел к тем же идеям, что и Хэмминг, независимо и опубликовал их раньше. Его статья не вызвала к себе сразу же должного внимания по причинам, скорее всего, случайного характера.

По сравнению с кодами, на существование которых указывала теория Шеннона, коды Хэмминга были разочаровывающе слабы. Однако предложенные Хэммингом регулярные методы построения кодов, корректирующих ошибки, имели фундаментальное значение. Они показали инженерам практическую возможность достижения тех пределов, на которые указывали законы, установленные теорией информации. Эти коды нашли практическое применение при создании компьютерных систем. В своей статье он ввел в научный обиход важнейшие понятия теории кодирования — расстояние Хэмминга между кодовыми комбинациями в векторном пространстве (для двоичных кодов оно определяется как количество позиций этих комбинаций с различными символами) и границы Хэмминга для исправляющей способности блочных корректирующих кодов. Границу Хэмминга для двоичных кодов определяет следующее выражение:

$$\sum_{j=0}^e C_N^j \leq 2^N/M,$$

где e — связывающее число ошибок, которое может быть исправлено корректирующим блочным кодом длиной N , имеющим M кодовых комбинаций (здесь C_N^j — биномиальный коэффициент).

Значение этой работы Хэмминга в том, что она сыграла ключевую роль в последующем развитии теории кодирования и стимулировала обширные исследования по алгебраической теории кодирования, выполненные в последующие годы. Давид Слэпьян был первым, кто в 1956 г. изложил теорию кодов с проверкой на четность на строгой математической основе. Основной сдвиг в области теории кодирования произошел, когда французский ученый А. Хоквингем (1959 г.) и американские ученые Р.К. Боуз и Д.К. Рой-Чоудхури (1960 г.) нашли большой класс кодов (коды БЧХ), исправляющих кратные ошибки. В это же время американские ученые И.С. Рид и Г. Соломон (1960 г.) нашли связанный с кодами БЧХ класс кодов для не двоичных каналов.

В 1980 г. Хэмминг написал учебник «Теория кодирования и теория информации», который в 1983 г. был переведен на русский язык. Эту книгу, как, впрочем, и другие написанные им книги, отличает оригинальная постановка вопросов, популярность изложения, глубокое понимание практических задач, корректность и разумная степень строгости математической трактовки затронутых вопросов. Изложение книги построено так, чтобы читателю было интуитивно понятно, почему справедлива та или иная теорема.

Заключение

Как уже отмечалось, выдающимся научным вкладом Хэмминга в теорию связи является его знаменитая статья, посвященная кодам, корректирующим ошибки. Следует, однако, подчеркнуть, что он обладал широчайшей эрудицией и в сферу его научных интересов входил обширный круг математических и технических проблем. Он получил первоклассные научные результаты не только в теории кодирования, но и в ряде других областей науки.

В 1956 г. Хэмминг, работая над созданием одного из первых компьютеров IBM 650, разработал язык программирования высокого уровня, который применяют и сегодня. Оригинальные работы были выполнены им в области численных методов решения разного рода прикладных математических задач. Им были разработаны новые методы численного интегрирования дифференциальных уравнений и спектрального анализа. Он предложил для сглаживания данных при спектральном анализе использовать «окно Хэмминга», позволяющее осуществлять их предварительную эффективную «фильтрацию», избавляясь от ошибок измерений.

Хэмминг прославил свое имя не только как ученый, но и как выдающийся педагог. С 1962 по 1997 г. он написал восемь книг для ученых и инженеров по прикладным численным методам анализа (1962, 1971 и 1989 гг.), цифровым фильтрам (1977 г.), теории кодирования и теории информации (1980 г.), теории вероятностей и математической статистике (1985 г.). В этих работах проявилось истинно научное и педагогическое дарование автора, и они пользовались большой популярностью. Три его книги (по численным методам анализа, цифровым фильтрам, теории кодирования и теории информации) были изданы в России.

Создавая замечательные математические книги для инженеров, Хэмминг видел свою задачу не только в том, чтобы изучающие их специалисты получили глубокие знания, но и в том, чтобы они почувствовали сам дух науки. Его девизом было «...цель расчетов не числа, а понимание». В этом он был подобен Г. Лейбницу, который так характеризовал свое творческое кредо: *«Я старался писать так, чтобы изучающий всегда мог видеть внутреннюю основу изучаемых им вещей, чтобы он мог обнаружить источник открытия и, следовательно, во всем разобратся так, как если бы он придумал это сам».*

В последней весьма интересной книге Хэмминга «Искусство научного исследования и изобретения: учиться изучать» — «The Art of Doing Science and Engineering: Learning to Learn», изданной в 1997 г., изложены его философские взгляды на природу и технологию научного творчества.

Клод Элвуд ШЕННОН

Из всех имен, которым посвящено общественное внимание, нет и, поистине, быть не может более славных, чем имена великих подвижников знания.

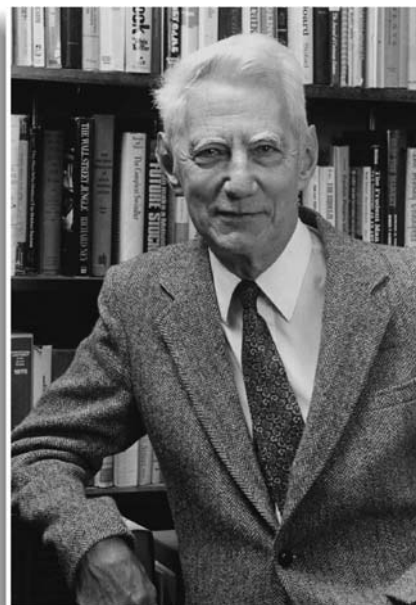
Жоффруа Сент-Илер

Введение

Конец XX в. был ознаменован бурным развитием цифровых систем связи. За последние 50 лет многократно возросли потоки информации, циркулирующие по каналам связи. В ряде развитых стран почти 100% населения охвачены телефонной связью, почти каждый пятый житель Земли в 2006 г. будет иметь мобильный телефон и пользоваться услугами систем сотовой связи. Во многих странах мира началось развитие систем цифрового и звукового вещания. Быстрыми темпами развивается Интернет – универсальная всемирная сеть связи, позволяющая уже сегодня сотням миллионов людей решать свои насущные проблемы, имея свободный доступ к различным базам данных, содержащим информацию по разным научным, социальным, политическим, профессиональным, бытовым и другим вопросам.

Прогресс достигнут благодаря огромным успехам в познании законов природы в области физики и химии, а также развитию полупроводниковой технологии, позволяющей создавать недорогие и компактные радиоэлектронные устройства для передачи, приема и обработки информации. Благодаря прогрессу человечество вступает в новую эпоху создания информационного общества, которое, в том числе благодаря и средствам связи, приведет человечество к единению, утраченному с библейских времен.

Огромное влияние на этот прогресс оказали работы, установившие важнейшие закономерности в области передачи и приема информации. Выдающийся научный вклад в данном направлении был сделан крупнейшим ученым современности Клодом Шенноном – создателем теории информации. Его работы вошли в сокровищницу человеческой мысли. Так же как идеи Ньютона, Эйнштейна, Бора оказали и продолжают оказывать влияние на жизнь последующих поколений, так и фундаментальные идеи Шеннона будут направлять исследования и разработки в области информационных систем.



Биографический очерк

Клод Элвуд Шеннон родился 30 апреля 1916 г. в г. Питоски штата Мичиган, США. Его детство прошло в маленьком городе Гаулорде в Мичигане, где он окончил среднюю школу. Еще в школе у Шеннона проявились исключительные способности к математике, интерес к науке, а также обнаружился талант к созданию моделей различных устройств. Им была построена почти километровая линия телеграфной связи, соединившая его дом с домом друга. Одним из кумиров его детства был знаменитый американский изобретатель Томас Алва Эдисон, который, как это выяснилось позже, был дальним родственником Шеннона.

Шеннон носил имя отца, работавшего нотариусом. Его мать звали Волк Мейбл Кэтрин. В школьные годы Шеннон любил играть с радиоконструктором и с баллотировочным аппаратом — электрическим устройством для подсчета голосов избирателей, которые ему подарил отец. Он также очень любил решать математические головоломки, которые давала ему старшая сестра Кэтрин, ставшая впоследствии профессором математики. По его словам, одним из его сильных юношеских увлечений была криптография.

В 1936 г. Шеннон окончил Мичиганский университет по редкой для тех лет специальности — электротехника и математика, получив степень бакалавра. Он начал работать ассистентом-исследователем в знаменитом Массачусетском технологическом институте (МТИ).

В МТИ Клод Шеннон до 1940 г. занимался разработкой дифференциального анализатора и теорией релейных и переключающих схем. В 1940 г. в этом институте ему была присвоена степень доктора наук в области математики. После защиты докторской диссертации К. Шеннон год провел в Институте перспективных исследований в Принстоне, в котором в то время вел свои исследования А. Эйнштейн.

С 1941 по 1956 г. Шеннон — сотрудник знаменитой математической Белл-лаборатории и преподает в качестве профессора электротехники в Мичиганском университете. Во время Второй мировой войны он разрабатывал системы криптографии, одна из которых использовалась для правительственной связи при организации трансокеанских конференций между Президентом США Рузвельтом и Премьер-министром Великобритании Черчиллем. Именно работа в области криптографии привела его, по его же словам, к идеям теории информации.

В 1948 г. в журнале «Bell System Technical Journal» была опубликована самая знаменитая статья Шеннона «Математическая теория связи», заложившая основы теории информации. В 1956 г. он был приглашенным профессором, а с 1958 г. — постоянным профессором МТИ.

В возрасте 50 лет в 1966 г. К. Шеннон вышел на пенсию. В течение последующих десяти лет он вел научные исследования. Однако далеко не все результаты были опубликованы, так как он не считал их достаточно важными. Он понимал, что прошел пик своих научных достижений, и говорил: *«Большинство великих математиков сделали свои лучшие работы, когда они были молоды».*

После 1966 г. К. Шеннон вел свободный образ жизни. На досуге он занимался конструированием механических моделей, и в частности им была создана модель цирка, в котором движущиеся фигурки жонглировали булавами. Одним из его увле-

чений в этот период стала игра на бирже. Он никогда не стремился к богатству, и в данном случае его интерес к этой сложной игре носил научный характер — он решил разработать оптимальную стратегию игры на бирже. По его словам, он с успехом пользовался разработанной стратегией в течение многих лет. Однажды Шеннон выступил в Массачусетском технологическом институте с лекцией, в которой изложил свою теорию, однако подробности своей стратегии не публиковал никогда. До 1972 г. К. Шеннон оставался консультантом в Белл-лаборатории. После выхода в отставку с 1978 г. был почетным профессором МТИ.

Интересы К. Шеннона не ограничивались только академическими исследованиями. Он был замечательным человеком и обладал разносторонними способностями, обожал показывать фокусы и жонглировать. Как фокусник он имел сертификат «доктора магических наук», любил разные механические безделушки, которых собрал у себя дома великое множество. По воспоминаниям Давида Слепяна — крупного американского ученого, работавшего вместе с ним в Белл-лаборатории, в обеденный перерыв в холле лаборатории часто можно было видеть Шеннона, разъезжающего на одноколесном велосипеде и жонглирующего несколькими булавами.

Шеннон изобрел компьютер, выполняющий арифметические операции над римскими цифрами, создал механическое устройство для решения головоломки кубика Рубика, разработал основы создания компьютерных систем для игры в шахматы.

К. Шеннон был счастлив в семейной жизни, женившись в 1949 г. на Мэри Элизабет Мур, также работавшей в Белл-лаборатории и занимавшейся проблемами компьютерной техники. В их семье были три сына и дочь.

Клод Шеннон скончался 24 февраля 2001 г.

Вклад Клода Шеннона в науку

В научных работах Клода Шеннона — выдающегося математика и инженера XX в. сочетаются глубокие математические идеи с конкретным анализом сложнейших технических проблем.

Он является творцом теории информации, на результатах которой в значительной степени основан высокий уровень развития систем связи, достигнутый в последние десятилетия. Он внес существенный вклад в теории автоматов, вероятностных схем и управляющих систем — научные направления, объединенные общим понятием «кибернетика».

С 1938 по 1960 г. К. Шенноном было опубликовано 34 работы, причем пик его творческой активности приходится на десятилетие с 1948 по 1958 г., когда он получил свои основные научные результаты, опубликованные в 28 научных статьях. Работы Шеннона стали классикой и вошли в «золотой фонд» науки.

Первая работа К. Шеннона, выполненная под руководством доктора В. Буша, была посвящена исследованию дифференциального анализатора — механического устройства, представляющего собой специализированную аналоговую вычислительную машину, предназначенную для решения системы дифференциальных уравнений. Шеннон рассмотрел математические вопросы теории дифференциального ана-

лизатора и определил условия, при которых с помощью этого устройства могут быть смоделированы функции одного или нескольких переменных. Он также рассмотрел пути его совершенствования, используя вместо механических узлов электрические цепи.

Еще в середине 30-х гг. К. Шеннон обратил внимание на то, что булева алгебра является адекватным математическим аппаратом, описывающим работу контактных схем, применяемых в телефонных коммутаторах, в аппаратуре управления двигателями и в большинстве схем, предназначенных для автоматизации сложных процессов. Результаты этой работы были опубликованы в 1938 г. и легли в основу его магистерской диссертации как инженера-электрика и его докторской диссертации в области математики. Они сразу же получили признание и стали применяться при проектировании телефонных систем. За эту работу в 1940 г. Клод Шеннон был удостоен Американским институтом инженеров-электриков (АИЕЕ) премии Альфреда Нобеля. Поскольку цифровые цепи составляют основу современных компьютеров и оборудования связи, то эти результаты являются одними из наиболее важных, полученных в XX столетии. Следует отметить, что примерно в те же годы независимо от К. Шеннона к подобным результатам пришли советский ученый В.И. Шестаков и японский — А. Накасима.

Разработав метод анализа переключающих схем, К. Шеннон занимался исследованиями в данном направлении до 1953 г. и опубликовал еще несколько основополагающих работ. Им были рассмотрены вопросы синтеза двухполюсных переключающих схем, существенно развит метод, впервые предложенный одним из крупнейших математиков XX в. Дж. фон Нейманом и позволяющий синтезировать надежные схемы из ненадежных реле, указан метод оценки объема памяти телефонного коммутатора, предложены и обоснованы принципы построения вычислительной машины для проектирования переключающих схем.

Ряд чрезвычайно важных исследований К. Шеннона, выполненных в период с 1950 по 1956 г., был направлен на исследование возможностей создания логических машин, способных решать интеллектуальные задачи. Эти исследования продолжали работу, начатую знаменитыми предшественниками Шеннона в создании теории цифровых вычислительных машин А.М. Тьюрингом и Дж. фон Нейманом. К. Шеннон считал это направление чрезвычайно важным и писал в 1953 г.: «Это — не поднятая целина для ученых. Речь идет не о разработке старых месторождений, а об открытии новых богатых жил и, пожалуй, в некоторых случаях просто о том, чтобы подобрать самородки, лежащие на поверхности». Шеннон одним из первых занялся разработкой играющих машин, и в частности машин для игры в шахматы.

В 1952 г. К. Шенноном была построена лабиринтная машина — механическая мышь, названная им Тезеем в честь мифического греческого героя, победившего страшное чудовище — Минотавра и нашедшего способ выбраться наружу из запутанного лабиринта. Мышь с встроенной памятью могла самостоятельно найти путь в лабиринте, запоминая сделанные ходы и обучаясь выбору правильного пути методом проб и ошибок.

Фундаментальная работа К. Шеннона «Теория связи в секретных системах», завершенная в 1945 г., имела гриф секретности. Лишь в 1949 г. работа была рассмотрена и опубликована. Она положила начало целому ряду открытых научных пуб-

ликаций по проблеме засекречивания сообщений. В эпоху развития и массового применения цифровых систем связи данная проблема приобрела особое значение, поскольку засекречивание требуется не только в военных системах, но и в гражданских, по которым передается конфиденциальная информация коммерческого или личного характера.

Важнейшей работой К. Шеннона, которая сделала его всемирно известным ученым, стала опубликованная в 1948 г. статья «Математическая теория связи». В ней был заложен фундамент современной теории и техники передачи, хранения и обработки любой информации и, в частности, теории и техники связи. Установленные им основные закономерности передачи информации по каналам связи дали направление огромному числу исследований, выполненных множеством ученых в США, СССР, Франции, Израиле и других странах. К. Шеннон ввел понятие информации, содержащейся в сообщениях, подлежащих передаче по каналу связи, обобщил идеи Р.В. Хартли, который предложил в качестве меры информации I , содержащейся в M сообщениях, использовать логарифмическую функцию $I = \log(M)$. Обобщение Шеннона состояло в том, что он впервые стал рассматривать статистическую структуру передаваемых сообщений и действующих в канале шумов не только как конечные, но и как непрерывные множества сообщений. Созданная им теория информации дала ключ к решению двух основных проблем теории связи: устранение избыточности источника сообщений и кодирование сообщений, передаваемых по каналу связи с шумами.

Решение первой проблемы позволяет устранить избыточность из сообщения, подлежащего передаче, и достичь высокой эффективности использования канала связи.

Решение второй проблемы дает возможность при заданном отношении сигнал/шум в месте приема, определяющем пропускную способность канала связи, передать по нему сообщения со сколь угодно высокой достоверностью. Для этого необходимо использовать помехоустойчивые коды, а скорость передачи информации по этому каналу должна быть меньше его пропускной способности.

В оригинальных трудах К. Шеннона была доказана принципиальная возможность решения указанных проблем, что явилось в конце 40-х гг. полным открытием для специалистов. Это, как и труды в области теории потенциальной помехоустойчивости, созданной в СССР академиком В. А. Котельниковым, породило целую лавину исследований, продолжающихся уже более 50 лет. Отечественные и американские математики (в СССР — А.Н. Колмогоров, А.И. Хинчин, Р.Л. Добрушин, М.С. Пинскер и др., в США — А. Файнштейн, Р. Галлагер, Дж. Вольфовиц и др.) дали строгую трактовку этой теории.

С учетом фундаментальных законов передачи сообщений, установленных К. Шенноном, создаются современные цифровые системы связи. В соответствии с положениями теории информации в этих системах перед передачей сообщения по каналу связи устраняется его избыточность, а затем оно кодируется с использованием помехоустойчивых кодов. На основе этой теории были разработаны алгоритмы, позволившие значительно сократить избыточность факсимильных, речевых и телевизионных сообщений. Это привело к бурному развитию во второй половине XX в. эффективных цифровых систем подвижной, фиксированной и спутниковой связи, а также цифро-

го звукового и телевизионного вещания. Такие системы уже начали внедряться, а в первом десятилетии XXI в. они полностью заменят системы, разработанные в середине прошлого века.

Следует отметить, что некоторые положения общей теории связи были разработаны предшественниками Шеннона. В США Г. Найквистом в 1924 г. была установлена связь между скоростью передачи информации и полосой пропускания канала связи, а Р.В. Хартли в 1928 г. предложил логарифмическую меру информации, содержащуюся в сообщении. В нашей стране академик В.А. Котельников еще в 1933 г. сформулировал теорему отсчетов, лежащую в основе преобразования аналоговых сигналов в цифровую форму, а профессор Д.В. Агеев в 1935 г. разработал общие принципы линейной селекции сигналов [1].

Исследования в области теории связи К. Шеннон продолжал до 1960 г. Им было опубликовано 14 важнейших научных работ, в которых развивалась теория информации и методы вычисления скорости передачи информации и пропускной способности каналов связи. В работе «Каналы с дополнительной информацией на передатчике», опубликованной в 1948 г., была впервые исследована система передачи информации с обратной связью. В таких системах из места приема сигналов по обратному каналу на передающую сторону посылаются сообщения о качестве приема сигналов. Это позволяет обеспечить весьма надежную связь даже по каналам с низким качеством приема.

Интересно отметить, что подобные системы получили распространение после 1953 г., когда известным голландским специалистом Ван Дюреном для коротковолновых линий связи был предложен новый метод передачи цифровых сигналов с автозапросом — ARQ (Automatic Request Queuing). Метод состоял в том, что для передачи сообщений использовались коды, обнаруживающие ошибки, а на приеме при обнаружении ошибок осуществлялся автоматический запрос передатчика на повторение кодовых комбинаций, принятых с ошибками. Системы ARQ широко применялись на линиях коротковолновой связи, позволяя существенно повысить их помехоустойчивость при передаче цифровой информации [1].

Последняя из опубликованных работ К. Шеннона (1960 г.) также была посвящена системам передачи информации с обратной связью.

В 1948 г. К. Шеннон совместно со своими коллегами по Белл-лаборатории — видными американскими учеными Б. Оливером и Дж. Пирсом опубликовал первое научное исследование возможностей использования импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) для передачи сигналов. В этой статье было также приведено доказательство теоремы отсчетов, о которой уже упоминалось ранее.

Следует отметить, что независимо подобные результаты были опубликованы в СССР в 1949 г. С.В. Бородичем, который исследовал возможность создания цифровых радиорелейных систем связи с использованием ИКМ [1].

Совместно с Г. Боде — крупнейшим специалистом в области электрических цепей К. Шеннон опубликовал в 1950 г. важную для теории связи работу «Упрощенный вывод линейной теории сглаживания и предсказания по методу наименьших квадратов». В этой работе основные результаты теории сглаживания и предсказания стационарных временных рядов Винера—Колмогорова были получены новым методом, основанным не на формальном математическом подходе, а на наглядных физических соображениях и теории электрических цепей.

В 1959 г. К. Шеннон вслед за известным американским ученым С.О. Райсом получил результаты, перекидывающие мост между фундаментальной теорией потенциальной помехоустойчивости, созданной В.А. Котельниковым, и теорией информации, оценив вероятность ошибочного приема сигналов в системе связи, в которой используются многопозиционные сигналы.

Популярность теории информации среди ученых стремительно возрастала, и ее пытались, не всегда обосновано, применять во многих научных направлениях, таких как биология, психология, экономика, физика, и в других областях науки и техники. Это вызвало сильное беспокойство у Шеннона, выступившего в 1956 г. со статьей «Бандвагон», в которой он писал: *«...значение теории информации было, возможно, преувеличено и раздуто до пределов, превышающих ее реальные достижения... Теория информации, как модный опьяняющий напиток, кружит голову всем вокруг...»* К. Шеннон выступил против формальных работ, в которых понятия новой теории переносились в другие области науки, и предупреждал: *«Здание нашего несколько искусственно созданного благополучия слишком легко может рухнуть, как только в один прекрасный день окажется, что при помощи нескольких магических слов, таких как информация, энтропия, избыточность... нельзя решить всех нерешенных проблем»*.

Помимо исследований в области теории управляющих систем, криптографии и теории информации Шеннон выполнил ряд блестящих исследований более частных проблем. В 1951 г. он разработал метод, позволяющий определить энтропию печатного текста, и применил его к английскому тексту, определив его избыточность. Важной для проектирования сложных сетей связи является его статья «О максимальном потоке через сеть», опубликованная им в 1956 г. совместно с П. Элайсом и А. Файнштейном — известными американскими учеными.

Заключение

Работы Шеннона получили всемирное признание. Он был удостоен многих наград за научные достижения. Среди них — упомянутая ранее премия Альфреда Нобеля, премия М. Либмана, присужденная в 1941 г. Институтом радиоинженеров (IRE), Национальная премия за достижения в науке, присужденная в 1966 г., премия Киото — высшая японская научная награда. Общество инженеров акустиков (AES) наградило его в 1985 г. золотой медалью. Клод Шеннон являлся членом Национальной академии наук США (избран в 1958 г.) и Американской академии искусств и наук.

Святая Тереза Авильская, жившая в Испании в XVI в., писала: *«Кто делает упорные усилия, чтобы взойти на вершину совершенства, тот никогда не восходит на нее один, а всегда ведет за собой, как доблестный вождь, бесчисленное воинство»*. В областях науки, открытых Шенноном, стали работать тысячи ученых. Они достигли выдающихся результатов и довели его идеи до практических разработок принципиально новых систем связи.

Его работы привели к созданию новой отрасли прикладной математики. В данном направлении изучались общие свойства энтропии и информации, математически строго обосновывались условия, при которых верна основная теорема

Шеннона для дискретных и непрерывных каналов связи, разрабатывались методы вычисления скорости передачи информации, пропускной способности и ε -энтропии (скорости передачи информации аналоговых сигналов как функции искажения), исследовались обобщения результатов К. Шеннона на двухсторонние каналы с обратной связью и каналы с неизвестными и переменными параметрами. Теория информации нашла применение в математической статистике, физике, психологии и лингвистике.

Ряд новых прикладных направлений в области теории телекоммуникаций также возник в результате развития идей Шеннона. Многие исследования в области теории информации были направлены на разработку теории кодирования сообщений. Это привело к созданию различных конструкций мощных помехоустойчивых кодов с достаточно простыми алгоритмами декодирования.

Идеи статистического кодирования сообщений также были существенно развиты и нашли применение в современных системах связи при создании методов сокращения избыточности звуковых, факсимильных и телевизионных (ТВ) сигналов, что позволило во много раз повысить эффективность использования каналов связи. В качестве примера достигаемой эффективности можно отметить, что современные, широко применяемые на практике методы устранения избыточности из сигнала телевизионного вещания позволяют в полосе одного аналогового ТВ-канала передавать до шести цифровых ТВ-программ с коммерческим качеством.

На основании выполненных за последние полвека исследований созданы рекомендации Международного союза электросвязи по применению методов кодирования источников и помехоустойчивого кодирования в современных системах цифровой связи.

В США в мае 1951 г. в Институте инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) создается Секция по проблемам теории информации. Для разработки этих же проблем в СССР в декабре 1961 г. был создан Институт проблем передачи информации. С 1950 г. регулярно в разных странах мира проводятся международные научные конференции по проблемам теории информации, в которых участвуют сотни ученых из многих стран мира. Начиная с 1955 г. в США и с 1961 г. в России начинают издаваться специализированные научные журналы: «IEEE Transaction on Information Theory» и «Проблемы передачи информации». Полный сборник научных трудов Шеннона на русском языке [2] был опубликован в СССР в 1963 г.

Шеннон был уникальной личностью. Академик А.Н. Колмогоров в предисловии к русскому переводу сборника трудов Шеннона дал ему такую оценку: *«Шеннон является исключительным примером соединения глубины математической мысли с широким и в то же время совершенно конкретным пониманием проблем техники. Его в равной степени можно считать одним из первых математиков и одним из первых инженеров XX века. Он создал основы теории информации и в значительной мере предопределил своими работами развитие общей теории дискретных автоматов».*

Коллега Шеннона по Белл-лаборатории Давид Слепян писал: *«Он всегда работал в полном уединении за закрытой дверью, но если вы входили, то он был очень терпелив и готов оказать вам любую помощь. Он мгновенно схватывал суть проблемы. Это был настоящий гений. Из тех, кого я знал, Шеннон — единственный человек, к которому я с полным основанием применил бы это слово».*

Жизнь великого человека всегда является определенным нравственным уроком для потомков. Немецкий философ Фридрих Ницше считал, что «...каждый серьезный труд оказывает на нас моральное воздействие. Усилие, делаемое нами для того, чтобы сосредоточить свое внимание на заданной теме, можно сравнить с камнем, брошенным в нашу внутреннюю жизнь: первый круг невелик по площади, число чередующихся кругов увеличивается, и сами они расширяются».

Уже говорилось, что с 1960 г. К. Шеннон перестал вести научные исследования, несмотря на настойчивые приглашения, не посещал научные конференции по проблемам, которые были им поставлены. Только в 1985 г. он решил посетить Международную конференцию по теории информации в Англии. По словам одного из участников этой конференции, для присутствующих это событие было воспринято учеными как такое же чудо, как если бы на конференции по физике вдруг неожиданно появился сам Ньютон.

Американский ученый Э.Р. Берлекамп считал, что отказы Шеннона от участия в научных конференциях связаны со страхом, что он не сможет оправдать ожиданий аудитории, считавшей его гением. А может быть, дело совсем не в этом, а в уникальном своеобразии личности Шеннона. Дело в том, что он был абсолютно лишен такого распространенного среди ученых человеческого качества, как тщеславие, желание собрать как можно больше наград за свои достижения. На Земле таких благородных и цельных личностей всегда было немного. К таким людям можно отнести одного из самых значительных философов XVII в. Бенедикта Спинозу, который, не желая утратить свою независимость, не принимал весьма лестные предложения влиятельных правителей занять престижные должности и всю жизнь зарабатывал себе на хлеб, полируя увеличительные стекла. Таким был и знаменитый российский поэт Борис Пастернак, который в одном из своих блестящих стихотворений сформулировал жизненное кредо таких людей:

*Быть знаменитым некрасиво,
Не это подымает ввысь.
Не надо заводить архива,
Над рукописями трястись.
Цель творчества — самоотдача,
А не шумиха, не успех.
Позорно, ничего не знача,
Быть притчей на устах у всех.
Но надо жить без самозванства,
Так жить, чтобы в конце концов
Привлечь к себе любовь пространства,
Услышать будущего зов.
И надо оставлять пробелы
В судьбе, а не среди бумаг,
Места и главы жизни целой
Отчеркивая на полях.*

Шеннон, осознавая в полной мере значение выдвинутых им идей для прогресса науки и особенно телекоммуникаций, никогда не стремился к почестям и оставался

всю свою жизнь, говоря словами знаменитого поэта Иосифа Бродского, «...человеком частным и частность эту всю жизнь какой-либо общественной роли предпочитающим». Шеннон говорил: «Мои интересы никогда не определялись тем, будут ли результаты исследований представлять коммерческий интерес или иметь какую-нибудь ценность для мира. Я очень много времени потратил на совершенно бесполезные вещи». Приводя это высказывание Шеннона, следует отметить, что на самом деле значение полученных им научных результатов для развития телекоммуникаций во всем мире колоссально.

Шеннон, ощущая, что он уже не сможет в своей научной работе получать столь же фундаментальные результаты, которые ему удалось получить прежде, по-видимому, решил отойти от активной научной работы и стал вести счастливую жизнь человека, отдавая все время своей семье и своим изобретательским интересам.

Литература

1. *Быховский М.А.* Круги памяти // Сер. изданий «История электросвязи и радиотехники». — М.: Мобильные коммуникации. 2001. Вып. 1.
2. *Шеннон К.* Труды по теории информации и кибернетике / Пер. с англ.; Под ред. Р.Л. Добрушина и О.Б. Лупанова. — М.: ИЛ. 1963.

Агнер Краруп

ЭРЛАНГ

Ничего великого никогда не было достигнуто без энтузиазма.

Ральф Уолдо Эмерсон

Введение

Дания — небольшая страна в центре Европы. О себе датчане, выражаясь словами одного из известнейших физиков XX в. Генриха Антона Лоренца, могут с гордостью сказать, что они принадлежат к нации, слишком маленькой для того, чтобы совершать большие глупости. Дания не входит в число так называемых великих держав. Несмотря на это, она очень многое дала мировой культуре и науке. Среди имен датчан, которых знает весь мир, знаменитый писатель Ханс Кристиан Андерсен (на его сказках учились добру и благородству миллионы детей всего мира), великие физики: Эрстед, открывший влияние электрического тока на магнитную стрелку, что сыграло ключевую роль в развитии теории электромагнетизма, Нильс Бор — гуманист, основоположник квантовой теории строения атомов и молекул и основатель Копенгагенской научной школы физиков, из стен которой вышли многие крупнейшие физики современности. Знаменитым и почитаемым во всех странах является и датский математик Агнер Краруп Эрланг — основоположник одного из важнейших разделов теории связи — теории телетрафика.

У датчан существует особое выражение для характеристики людей, которые отличаются утонченным умом, интеллигентностью и добротой. О них говорят, что эти люди высоки — до самого потолка. Безусловно, что к такой породе людей принадлежал и Эрланг, который, будучи человеком долга, в своей жизни всегда следовал девизу — служить, но не властвовать.

Имя Эрланга — основоположника теории телетрафика известно не только тысячам инженеров на всех континентах. Это имя хорошо знали многие выдающиеся математики XX в., такие как А.Н. Колмогоров, А.Я. Хинчин, Т. Фрай, В. Феллер и др., которые, познакомившись с его идеями, интенсивно разрабатывали открытое А.К. Эрлангом новое научное направление.

Теория телетрафика зародилась в связи с необходимостью проектирования автоматических телефонных станций (АТС), которые должны были обрабатывать поступающие от абонентов телефонной сети вызовы. Стоимость сети связи весьма внушительна и определяется числом линий, соединяющих между собой АТС, на-



ходящиеся в разных районах. Поэтому при проектировании АТС число этих линий должно быть выбрано минимально возможными, при этом должны быть обеспечены малые вероятность потери вызова абонента или длительность ожидания им соединения.

В работах Эрланга 1908–1918 гг. был заложен фундамент теории телетрафика и дана четкая математическая формулировка проблемы очередей, возникающих в сетях связи из-за того, что число телефонных каналов по причинам экономического характера всегда существенно меньше числа установленных телефонов. Эрланг преследовал практическую цель — дать методику расчета числа каналов, достаточного для обслуживания всех подключенных к сети телефонных аппаратов с малой вероятностью потери вызова.

Следует отметить, что именно с работ Эрланга началось проникновение в теорию связи широко используемых сегодня статистических методов исследования. Однако проблема, которой он коснулся, — проблема очередей оказалась более широкой, нежели проблема проектирования АТС.

Проблема очередей является одной из острейших в XX в. Экономические потери из-за возникновения очередей, огромны. Важная задача определения надежности работы различного рода устройств радиоэлектроники и связи также относится к этой проблеме, которая решается на основе теории массового обслуживания.

Таким образом, теория массового обслуживания, возникнув в связи с конкретной практической задачей, которая была исследована в работах А.К. Эрланга, приобрела чрезвычайно широкую сферу приложений, найдя применение во многих областях человеческой деятельности.

Неудивительно, что теорию, имеющую столь важное практическое значение, стали развивать многие ученые, в том числе известные математики. В создании теории участвовали американцы Т. Фрай, выпустивший в 1928 г. первую книгу по теории вероятностей, в которой одна из глав посвящена теории телетрафика, В. Феллер, Д. Кенделл и др. Значительный вклад внесли известные советские ученые, члены-корреспонденты АН СССР и УССР А.Я. Хинчин и Б.В. Гнеденко.

Биографический очерк

Агнер Краруп Эрланг родился 1 января 1878 г. в Логборгене на юге Дании. Его отец Ханс Нилсен Эрланг был учителем в сельской школе, а мать Магдалена Краруп происходила из именитой в Дании духовной семьи, и среди ее предков был известный датский математик Томас Финк. У Агнера были старший брат Фредерик и две младшие сестры, Мэри и Ингеборг. Все они учились в школе своего отца. В школьные годы одним из любимых предметов Агнера была астрономия и его любимым занятием было писать поэмы на астрономические темы.

Завершив начальное школьное образование, он в 14 лет стал готовиться к сдаче экзамена в Копенгагенский университет на звание сельского учителя. Получив специальное разрешение и успешно сдав экзамены, он в течение двух лет работал ассистентом учителя в школе своего отца. В течение этих лет он продолжал заниматься и изучал французский и латинский языки.

По желанию отца он начал готовиться к поступлению в Копенгагенский университет. Семья не имела достаточных средств, чтобы оплатить его учебу. Поэтому он воспользовался своим правом готовиться к вступительным экзаменам, получая бесплатно питание и жилье в колледже Копенгагенского университета. В университете Эрланг изучал математику и естественные науки. В 1901 г. он окончил университет, получив магистерскую степень учителя математики (как главный предмет), а также астрономии, физики и химии.

Затем в течение семи лет А.К. Эрланг преподавал в различных школах, и хотя его призванием была исследовательская работа, он оказался превосходным учителем. По натуре он не был общительным человеком, не любил быть в центре внимания и в компаниях предпочитал оставаться в тени. За это его друзья дали ему прозвище «частное лицо». Он во всем предпочитал краткость и не любил длинных речей.

Во время летних школьных каникул он много путешествовал: побывал во Франции, Швеции, Германии и Великобритании. В этих странах он посещал художественные галереи и библиотеки. Работая учителем, он продолжал упорно изучать математику и естественные науки. Эрланг был членом Датского математического общества.

На собраниях этого общества он познакомился с главным инженером Копенгагенской телефонной компании, который в 1908 г. пригласил Эрланга на работу. В начале своей работы в компании А.К. Эрланг не имел сотрудников и должен был сам выполнять все измерения статистики телефонных потоков. Его часто можно было видеть на улицах Копенгагена в сопровождении рабочего, несшего лестницу, которая использовалась для того, чтобы спуститься вниз в телефонные люки. Сначала Эрланг работал в этой компании как научный сотрудник, а позже стал руководителем лаборатории. В работе А.К. Эрланг сразу же начал применять теорию вероятностей к проблемам телефонного трафика. В 1909 г. он опубликовал свою первую научную статью «Теория вероятностей и телефонные разговоры», в которой было показано, что случайные телефонные вызовы распределены по закону Пуассона.

Научные статьи Эрланг публиковал регулярно. Его наиболее важная статья «Решение некоторых проблем теории вероятностей, важных для проектирования автоматических телефонных станций» вышла в 1917 г. В ней содержались формулы для определения вероятности потери вызова и среднего времени ожидания соединения, которые являются в теории телефонного трафика теперь общеизвестными. Эти формулы широко использовались во всем мире при проектировании автоматических телефонных станций.

Среди ученых интерес к научным работам Эрланга был очень большим. Известен случай, когда один из специалистов Белл-лаборатории в США специально выучил датский язык, для того чтобы читать статьи Эрланга в оригинале. Наиболее важные из этих статей были переведены на английский, французский и немецкий языки. Они написаны очень кратко и трудны для понимания. Положение усугублялось тем, что Эрланг часто опускал доказательства своих результатов, представлявших значительный практический интерес.

Все свое время и энергию А.К. Эрланг отдавал исследованиям. Он никогда не был женат и имел обыкновение работать далеко за полночь. В его обширной библиотеке было много книг по математике, астрономии и физике. Он также интересовался исто-

рией, философией и поэзией. Друзья считали его эрудированным человеком, знакомым со многими областями науки и культуры. Он щедро делился своими знаниями с окружающими его людьми и был очень добрым и благородным человеком. Часто он, не афишируя, помогал нуждающимся людям.

В Копенгагенской телефонной компании Эрланг проработал почти 20 лет. У него никогда не было времени заниматься своим здоровьем, но в январе 1929 г., когда у него началось воспаление брюшной полости, он был вынужден лечь в больницу. К сожалению, медицина уже не могла ему помочь.

Агнер Краруп Эрланг скончался 3 февраля 1929 г.

Интерес к его работам не прекратился и после его смерти. В 1943 г. по предложению известного шведского ученого в области теории массового обслуживания К. Пальма был объявлен конкурс на название единицы телефонной нагрузки. За большие заслуги в создании и развитии теории телетрафика имя Эрланга было увековечено в названии этой единицы. С 1944 г. этот термин использовался в Скандинавских странах, а в конце Второй мировой войны на собрании Международного союза электросвязи он был принят в качестве международного.

Научные работы Эрланга и теория телетрафика

В каждом человеческом начинании именно великие личности придают работе смысл, направление и цель. Как уже отмечалось, А.К. Эрланг был первым, кто приступил к исследованию проблем телефонных сетей и установил закономерности, которые применимы к многим проблемам, связанным с массовым обслуживанием.

Изучая работу автоматических телефонных станций, он установил, что если λ — среднее число вызовов, поступающих в единицу времени, то вероятность поступления n вызовов за время t определяется законом Пуассона $(\lambda t)^n \exp(-\lambda t)/n!$, где λt — математическое ожидание числа вызовов за время t . Это распределение было проверено на практике для периодов интенсивной нагрузки. Аналогично, если μ — средняя продолжительность разговора, то распределение вероятностей длительности телефонного разговора определяется выражением $\exp(-\mu t)$.

Эрланг изучал три вида обслуживания абонентов телефонной сети в системе коммутации N каналов, имеющих на АТС.

Первый вид обслуживания (полнодоступный пучок линий, система с потерями) обеспечивает доступ любого из абонентов (число абонентов намного превышает значение N) к любому из свободных в данный момент каналов связи. Если в момент поступившего вызова свободных каналов нет, то происходит потеря вызова.

Второй вид обслуживания (полнодоступный пучок линий, система с ожиданиями) также обеспечивает доступ любого из абонентов к любому из свободных в данный момент каналов связи. Если в момент поступившего вызова свободных каналов нет, то потери вызова не происходит, а абонент ставится в очередь, и через некоторое время устанавливается соединение, и ему предоставляется канал связи.

Третий вид обслуживания (неполнодоступный пучок линий, система с потерями) обеспечивает доступ любого из абонентов только к ограниченному числу $D < N$ имеющихся линий в том случае, если хотя бы одна из этих D линий свободна в момент поступления вызова. В противном случае вызов теряется.

Ключевой вклад А.К. Эрланга в современную теорию стохастических процессов состоит в идее стохастического равновесия, которое означает, что вероятность пребывания системы в определенном состоянии (в случае телетрафика — число занятых в пучке линий) не зависит от момента времени, в который рассматривается система.

Используя эти предпосылки, А.К. Эрланг развил теорию телетрафика для трех указанных выше видов обслуживания и получил формулы для вероятностей потери вызова и распределения времени ожидания при равновесном состоянии системы. Такие формулы он получил для системы с ожиданием при постоянном времени обслуживания в случае одного, двух и трех каналов, а также при произвольном числе каналов при экспоненциальном времени обслуживания.

Исследования Эрланга по теории телетрафика получили международное признание. В литературе установленные Эрлангом формулы для трех видов обслуживания называют в его честь 1-й, 2-й и 3-й формулами Эрланга. Эти формулы были официально рекомендованы Британским министерством связи для использования при проектировании АТС. Эрланг был принят в число членов Британского института инженеров-электриков.

Хотя модель Эрланга проста, математическое описание работы современных сложных телефонных сетей все еще основывается на этой модели.

Теория телетрафика является, с одной стороны, одним из разделов теории связи, а с другой — одним из крупных и интенсивно развивающихся разделов теории массового обслуживания. Ее развитие как раздела теории связи обусловлено быстрыми темпами развития сетей связи, что делает важной проблему повышения эффективности ее использования путем управления потоками сообщений, передаваемых по каналам сетей.

За рубежом ценный вклад в обобщение и развитие теории телетрафика внесли Г. О'Делл, К. Пальм, К. Якобеус, К. Ли и другие, которые изучали случаи конечного числа абонентов, подключенных к АТС, ограниченного времени подключения абонентов к каналу связи и разрабатывали методы расчета многозвенных коммутационных систем.

В СССР первые работы по теории телетрафика были выполнены академиком М.С. Юрьевым в 1925 г. В последующие годы важные научные исследования с привлечением метода статистического моделирования на ЭВМ для решения данных проблем были проведены учеными Г.П. Башариным, Б.С. Лившицем, А.Д. Харкевичем, М.А. Шнепсом и др.

В области связи сегодня результаты Эрланга широко используются не только для проектирования АТС, но и сотовых, транкинговых и спутниковых систем подвижной связи, а также систем фиксированной спутниковой связи VSAT.

Кроме теории телетрафика, Эрланга интересовали также проблемы вычисления таблиц математических функций. У него были обширные познания в истории математических таблиц с древних времен. Эрланг установил новые принципы вычисления некоторых форм математических таблиц, в частности таблиц логарифмов.

Заключение

Достижения Эрланга следует отнести к разряду крупнейших. Он открыл новый обширный научный материк, осваивать который начали сотни последователей. Развитие его работ привело к созданию теории массового обслуживания, давшей специалистам инструмент для решения огромного числа социальных проблем, связанных с обслуживанием людей, с поточным производством различной продукции, а также других прикладных задач.

Совсем недолгую жизнь — всего 51 год — прожил А.К. Эрланг. Однако человек оставляет после себя то, с чем связывается его имя.

Эта мысль весьма четко выражена в книге Милтона Стейнберга «Основы иудаизма»: *«Человек преодолевает смерть многими, иногда совершенно естественными способами. Он может быть бессмертен биологически, в своих детях; благодаря силе своей мысли, оставляя по себе память; благодаря силе своего влияния, когда его личность продолжает вести за собой последователей; его бессмертие может быть идеальным, если он полностью отождествляет себя с вечными ценностями духа...»*

А.К. Эрланг действительно обеспечил себе бессмертие. Никто из ученых, работающих в области массового обслуживания, не может избежать его влияния. На благоприятной почве, которая была подготовлена трудами Эрланга, были выполнены сотни новых научных исследований и решены тысячи важнейших для жизни людей практических задач.