



АНАТОЛИЙ УШАКОВ,

д. т. н, проф. каф. систем управления и информатики,
университет «ИТМО»

КЛОД ШЕННОН — СОЗДАТЕЛЬ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ (к 100-летию со дня рождения)

Многие поколения технических специалистов второй половины XX века, даже достаточно далекие от теории автоматического управления и кибернетики, выйдя из стен вузов, на всю жизнь запомнили названия «авторских» научно-технических достижений: функции Ляпунова, марковские процессы, частота и критерий Найквиста, винеровский процесс, фильтр Калмана. Среди таких достижений почетное место занимают теоремы Шеннона. В 2016 г. исполняется сто лет со дня рождения их автора — ученого и инженера Клода Шеннона.

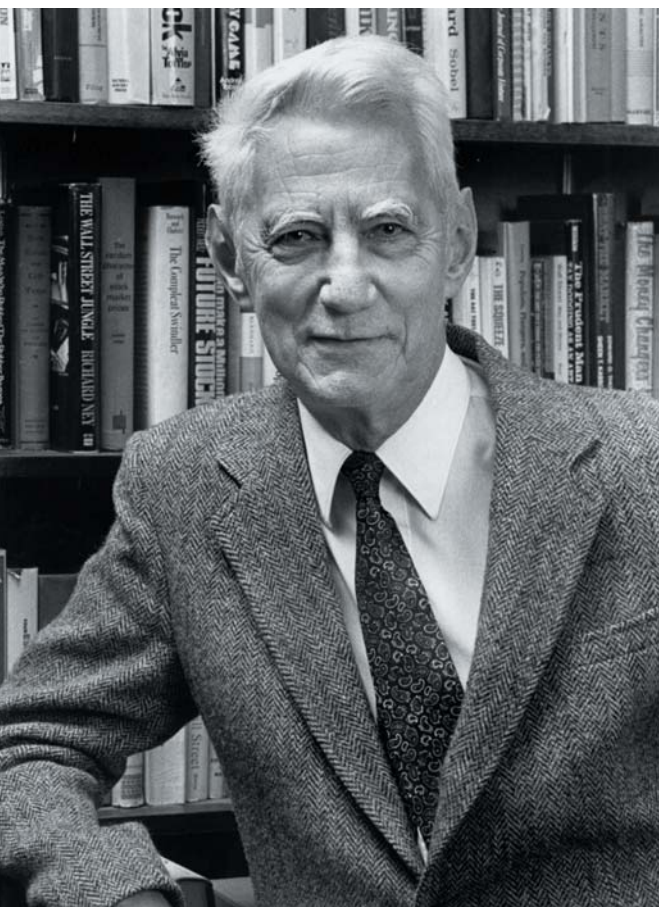


РИС. 1. ▲ Клод Шеннон (1916–2001)

*«Кто владеет информацией,
тот владеет миром»
У. Черчилль*

Клод Элвуд Шеннон (Claude Elwood Shannon) (рис. 1) родился 30 апреля 1916 г. в городе Петоцки, расположенном на берегу озера Мичиган штата Мичиган (США), в семье юриста и преподавателя иностранных языков. Его старшая сестра Кэтрин увлекалась математикой и со временем стала профессором, а отец Шеннона совмещал работу адвоката с радиолобительством. Дальним родственником будущего инженера был прославившийся на весь мир изобретатель Томас Эдисон, имевший 1093 патента.

Шеннон закончил общеобразовательную среднюю школу в 1932 г. в возрасте шестнадцати лет, одновременно получив дополнительное образование на дому. Отец покупал ему конструкторы и радиолобительские наборы и всячески содействовал техническому творчеству сына, а сестра привлекала его к углубленным занятиям математикой. Шеннон любил оба эти мира — технику и математику.

В 1932 г. Шеннон поступил в Мичиганский университет, который окончил в 1936 г., получив степень бакалавра по двум специальностям:

математика и электротехника. Во время обучения он нашел в библиотеке университета две работы Джорджа Буля (George Boole) — «Математический анализ логики» и «Логическое исчисление», написанные в 1847 и 1848 годах соответственно. Шеннон тщательно их изучил, и это, по-видимому, определило его дальнейшие научные интересы.

После окончания университета Клод Шеннон устроился на работу в лабораторию электротехники Массачусетского технологического института (МТИ) ассистентом-исследователем, где работал над задачами модернизации дифференциального анализатора Ванневару Буша (Vannevar Bush), вице-президента МТИ, — аналогового «компьютера». С этого времени Ванневар Буш стал научным наставником Клода Шеннона. Изучая сложные, узкоспециализированные релейные и переключаемые электросхемы устройства управления дифференциальным анализатором, Шеннон понял, что концепции Джорджа Буля могут получить в этой области достойное применение.

В конце 1936 г. Шеннон поступает в магистратуру, а уже в 1937 г. он пишет реферат диссертации на соискание степени магистра и на его основе готовит статью «Символьный анализ реле

и переключательных схем», которая была опубликована в 1938 г. в издании Американского института инженеров-электриков (АИЕЕ). Эта работа привлекла к себе внимание научного электротехнического сообщества, и в 1939 г. Американским обществом гражданских инженеров (American Society of Civil Engineers) Шеннону была присуждена за нее Премия имени Альфреда Нобеля.

Еще не защитив магистерской диссертации, Шеннон по совету Буша решил работать над докторской по математике в МТИ, касающейся задач генетики. По мнению Буша, генетика могла стать удачной проблемной областью приложения знаний Шеннона. Докторская диссертация Шеннона, получившая название «Алгебра для теоретической генетики», была завершена весной 1940 г. и посвящена проблемам геновой комбинаторики. Шеннон получил докторскую степень по математике и в это же время защитил диссертацию на тему «Символьный анализ реле и переключательных схем», став магистром электротехники.

Докторская диссертация Шеннона не получила большой поддержки у генетиков и по этой причине никогда не была опубликована. Однако диссертация на степень магистра оказалась прорывной в коммутационной и цифровой технике. В последней главе диссертации было приведено много примеров успешного применения разработанного Шенноном логического исчисления к анализу и синтезу конкретных релейных и переключательных схем: селекторных схем, замка с электрическим секретом, двоичных сумматоров. Все они наглядно демонстрируют совершенный Шенноном научный прорыв и огромную практическую пользу от формализма логического исчисления. Так родилась цифровая логика.

Весной 1941 г. Клод Шеннон становится сотрудником математического отделения научно-исследовательского центра Bell Laboratories (рис. 2). Следует сказать несколько слов об атмосфере, в которую попал 25-летний Клод Шеннон, — ее создавали Гарри Найквист (Harry Nyquist), Хенрик Боде (Hendrik Bode), Ральф Хартли (Ralph Hartley), Джон Тьюки (John Tukey) и другие сотрудники Bell Laboratories. Все они уже имели

определенные результаты в разработке теории информации, которые Шеннон со временем разовьет до уровня большой науки.

В это время в Европе уже шла война, и Шеннон проводил исследования, которые широко финансировало правительство США. Работа, которую Шеннон выполнял в Bell Laboratories, была связана с криптографией, что привело его к необходимости заняться математической теорией криптографии и со временем позволило проводить анализ зашифрованных текстов информационно-теоретическими методами (рис. 3).

В 1945 г. Шеннон завершил большой секретный научный отчет на тему «Математическая теория криптографии» («Communication Theory of Secrecy Systems»).

В это время Клод Шеннон был уже близок к тому, чтобы выступить перед научной общественностью с новыми базовыми концепциями по теории информации. И в 1948 г. он опубликовал свой эпохальный труд «Математическая теория связи» [1]. Математическая теория связи Шеннона предполагала трехкомпонентную структуру, составленную из источника информации, приемника информации и «транспортной среды» — канала связи, характеризующегося пропускной способностью и способностью искажать информацию при передаче. Возник определенный круг проблем: как количественно оценить информацию, как ее эффективно упаковывать, как оценить допустимую скорость вывода информации из источника в канал связи с фиксированной пропускной способностью, чтобы гарантировать безошибочную передачу информации, и, наконец, как решить последнюю задачу при наличии помех в канале связи? На все эти вопросы Клод Шеннон дал человечеству исчерпывающие ответы своими теоремами.

Следует сказать, что коллеги по «цеху» помогли Шеннону с терминологией. Так, термин для минимальной единицы количества информации — «бит» — предложил Джон Тьюки, а термин для оценки среднего количества информации на символ источника — «энтропия» — Джон фон Нейман (John von Neumann). Свою основополагающую работу Клод Шеннон изложил в виде двадцати трех теорем. Не все

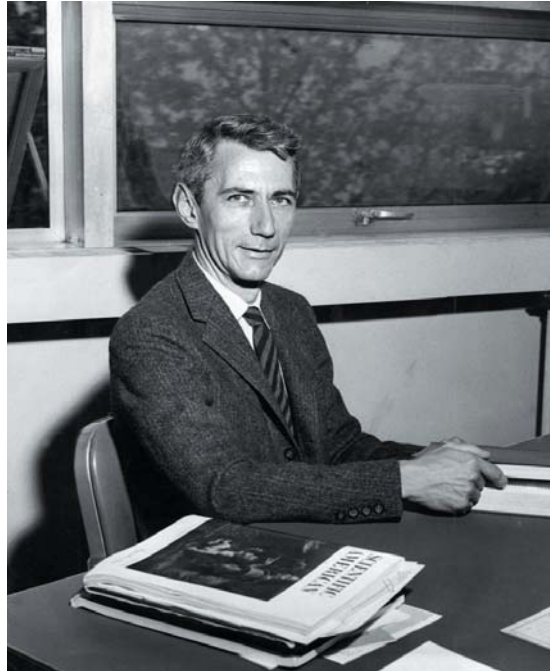


РИС. 2. ▲
Клод Шеннон в Bell Labs
(середина 1940-х гг.)

теоремы равноценны, часть из них носит вспомогательный характер или посвящена частным случаям теории информации и ее передачи по дискретным и непрерывным каналам связи, но шесть теорем являются концептуальными и составляют каркас здания теории информации, созданной Клодом Шенноном.

РИС. 3. ▼
У шифровальной машины

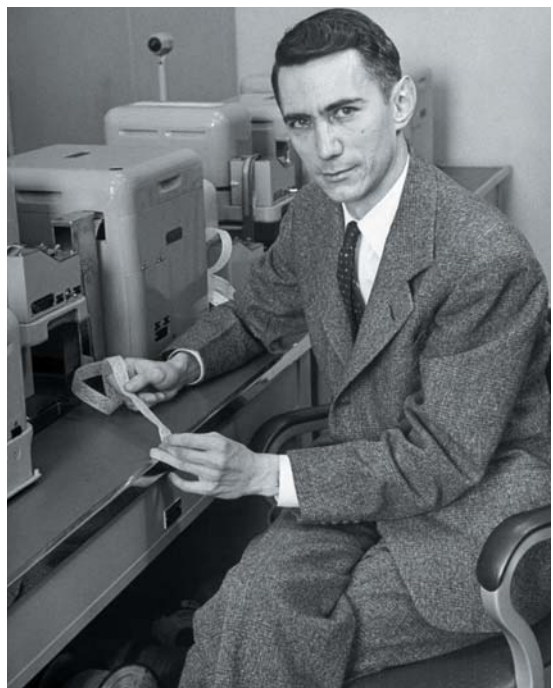
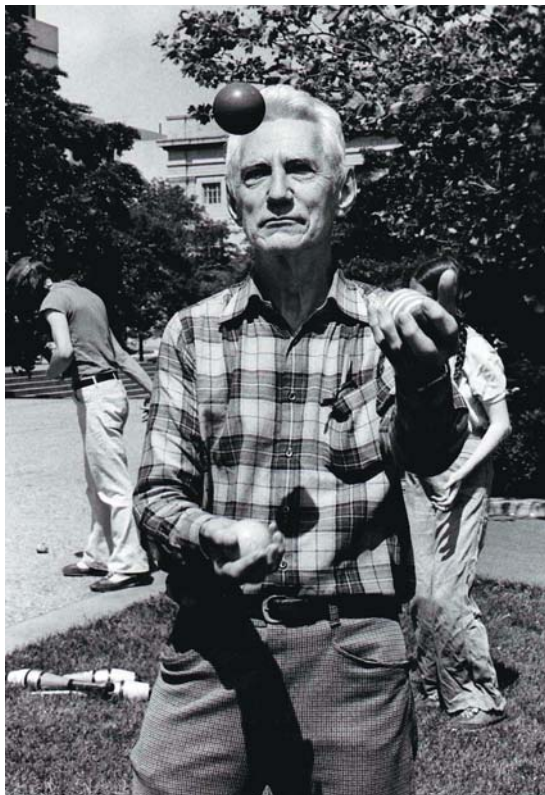




РИС. 4. ▲
Лабиринт Шеннона

1. Первая из этих шести теорем связана с количественной оценкой информации, генерируемой источником информации, в рамках стохастического подхода на основе меры в виде энтропии с указанием ее свойств.
2. Вторая теорема посвящена проблеме рациональной упаковки символов, генерируемых

РИС. 5. ▼
Клод Шеннон — жонглер



источником, при их первичном кодировании. Она породила процедуру эффективного кодирования и необходимость введения в структуру системы передачи информации «кодера источника».

3. Третья теорема касается проблемы согласования потока информации из источника информации с пропускной способностью канала связи в условиях отсутствия помех, гарантирующего отсутствие искажения информации при передаче.
4. Четвертая теорема решает ту же задачу, что и предыдущая, но в условиях наличия в двоичном канале связи помех, действия которых на передаваемую кодовую посылку сообщения способствуют вероятности искажения произвольного бита кода. Теорема содержит условие замедления передачи, гарантирующее заданную вероятность безошибочной доставки кодовой посылки получателю. Данная теорема является методологической основой помехозащитного кодирования, которая привела к необходимости введения в структуру системы передачи «кодера канала».
5. Пятая теорема посвящена оценке пропускной способности непрерывного канала связи, характеризующегося некоторой частотной полосой пропускания и заданными мощностями полезного сигнала и сигнала помехи в канале

связи. Теорема определяет так называемую границу Шеннона.

6. Последняя из теорем, именуемая теоремой Найквиста — Шеннона-Котельникова, посвящена проблеме безошибочного восстановления непрерывного сигнала по его дискретным по времени отсчетам, которая позволяет сформулировать требование к величине временного интервала дискретности, определяемого шириной частотного спектра непрерывного сигнала, и сформировать базисные функции, именуемые функциями отсчета.

Следует сказать, что изначально у многих математиков мира вызвала сомнения доказательная база этих теорем. Но со временем научная общественность убедилась в корректности всех постулатов, найдя им математические подтверждения. В нашей стране этому делу отдали свои силы Хинчин А.Я. [10] и Колмогоров А.Н. [12,13].

В 1956 г. знаменитый Клод Шеннон покидает стены Bell Laboratories, не порывая с ней связей, и становится полным профессором сразу двух факультетов Массачусетского технологического института: математического и электротехнического.

У Клода Шеннона всегда было много интересов, совершенно не связанных с его профессиональной деятельностью. Выдающийся инженерный талант Шеннона проявлялся в создании всевозможных машин и механизмов, среди которых механическая мышь «Тезей», решающая лабиринтную задачу (рис. 4), вычислительная машина с операциями над римскими цифрами, а также вычислительные машины и программы для игры в шахматы.

В 1966 г. в возрасте 50 лет Клод Шеннон удаляется от преподавательской деятельности и практически полностью посвящает себя своим хобби. Он создает одноколесный велосипед с двумя седлами, складной нож с сотнейлезвий, роботов, собирающих кубик Рубика, и робота, жонглирующего шарами. Кроме того, Шеннон и сам продолжает оттачивать мастерство жонглирования, доведя количество шаров до четырех (рис. 5). Свидетели его молодости в Bell Laboratories вспоминали, как он разъезжал по коридорам фирмы на одноколесном велосипеде, при этом жонглируя мячами.

К сожалению, у Клода Шеннона не было тесных контактов с советскими учеными. Тем не менее ему удалось посетить СССР в 1965 г. по приглашению Научно-технического общества радиотехники, электроники и связи (НТОРЭС) имени А.С. Попова. Одним из инициаторов этого приглашения был многократный чемпион мира по шахматам Михаил Ботвинник, доктор технических наук, профессор, который также был электротехником и интересовался шахматным программированием. Между Михаилом Ботвинником и Клодом Шенноном состоялась оживленная дискуссия о проблемах компьютеризации шахматного искусства. Участники пришли к выводу, что это очень интересно для программирования и перспективно для шахмат. После дискуссии Шеннон попросил Ботвинника сыграть с ним в шахматы и по ходу игры даже имел небольшое преимущество (ладью за коня и пешку), но все же проиграл на 42-м ходу.

Последние годы жизни Клод Шеннон тяжело болел. Он скончался в феврале 2001 г. в массачусетском доме престарелых от болезни Альцгеймера на 85-м году жизни.

Клод Шеннон оставил богатое прикладное и философское наследие. Им создана общая теория устройств дискретной автоматики и вычислительной техники, технология эффективного использования возможностей канальной среды. Все современные архиваторы, используемые в компьютерном мире, опираются на теорему Шеннона об эффективном кодировании. Основу его философского наследия составляют две идеи. Первая: целью всякого управления должно быть уменьшение энтропии как меры неопределенности и беспорядка в системной среде. Управление, которое не решает этой задачи, является избыточным, т. е. ненужным. Вторая состоит в том, что все в этом мире в каком-то смысле есть «канал связи». Каналом связи является и человек, и коллектив, и целая функциональная среда, и промышленность, и транспортная структура, и страна в целом. И если не согласовывать технические, информационные, гуманитарные, правительственные решения с пропускной способностью канальной среды, на которую они рассчитаны, то хороших результатов не жди. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Shannon C. E. A Mathematical Theory of Communication. Bell Systems Technical Journal. July and Oct. 1948 // Claude Elwood Shannon. Collected Papers. N. Y., 1993. P. 8-111.
2. Shannon C. E. Communication in the presence of noise. Proc.IRE. 1949. V. 37. № 10.
3. Shannon C. E. Communication Theory of Secrecy Systems. Bell Systems Technical Journal. July and Oct. 1948 // Claude Elwood Shannon. Collected Papers. N. Y., 1993. P. 112-195.
4. Автоматы. Сборник статей под ред. К. Э. Шеннона, Дж. Маккарти / Пер. с англ. М.: Из-во Ин. лит. 1956.
5. Robert M. Fano Transmission of information: A statistical theory of communication. Published Jointly by the M.I.T., PRESS and JOHN WILEY & SONS, INC. New York, London. 1961.
6. www.research.att.com/~njas/doc/ces5.html.
7. Колмогоров А. Н. Предисловие // Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон; пер. с англ. под ред. Р.Л. Добрушина и О.Б. Лупанова; предисл. А. Н. Колмогорова. М., 1963.
8. Левин В. И. К.Э. Шеннон и современная наука // Вестник ТГТУ. 2008. Том 14. №3.
9. Винер Н. Я. — математик / Пер. с англ. М.: Наука. 1966.
10. Хинчин А. Я. Об основных теоремах теории информации. УМН 11:1 (67) 1956.
11. Колмогоров А. Н. Теория передачи информации. // Сессия Академии Наук СССР по научным проблемам автоматизации производства. 15–20 окт. 1956 г. Пленарное заседание. М.: Изд-во АН СССР, 1957.
12. Колмогоров А. Н. Теория информации и теория алгоритмов. М.: Наука, 1987.