НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ МГТУ ИМ. Н. Э. БАУМАНА
НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ
Эл № ФС77 - 48211. ISSN 1994-0408
приложение

Клод Э́лвуд Ше́ннон (100-летие со дня рождения)

 # 8, август 2016
DOI: 10.7463/0816.0846091

Самохин В. П.[1,*] **Тихомирова Е.А.**[1]

УДК 929

[1]МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
[*]svp@bmstu.ru

«Клод Шеннон является исключительным примером соединения глубины отвлеченной математической мысли с широким и в то же время совершенно конкретным пониманием больших проблем техники. В отличие от Норберта Винера Шеннон не занимался пропагандой этой новой науки. Но он создал основы теории информации и в значительной мере предопределил своими работами развитие общей теории дискретных автоматов, которые составляют две большие главы кибернетики, занимающие в ней едва ли не центральное положение», – академик А.Н. Колмогоров. [1]



на Киотской лекции (1985)

Интересы Клода Шеннона не ограничивались 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, множество которых собрал у себя дома. По воспоминаниям Дэвида Слепяна, крупного американского ученого, работавшего вместе с ним в Белл-лаборатории, в обеденный перерыв в холле лаборатории часто можно было видеть Шеннона, ↘ разъезжающим и жонглирующим на одноколесном велосипеде (уницикле). Он любил шахматы и разработал основы создания компьютерных систем для игр. [2]



Детские и юношеские годы. Клод Э́лвуд Ше́ннон (англ. *Claude Elwood Shannon*) родился 30 апреля 1916 года в больнице курортного городка Питоцки, расположенного на восточном побережье озера Мичиган, и вырос в региональном центре Гейлорд северной части штата Мичиган США ↙ (англ. *Petoskey, Gaylord*), где был родительский дом Шеннонов. Его дед по отцовской линии был фермером и изобретателем, а отец, Клод старший (1862 – 1934) ↙, потомок первых поселенцев штата Нью-Джерси, был предпринимателем и работал помощником судьи. Он женился на Мейбл Вольф (англ. *Mabel Wolf*; 1890-1945), которая была учительницей языка и в течение ряда лет – директором Гейлордской средней школы, которую Клод закончил в 1932 году.





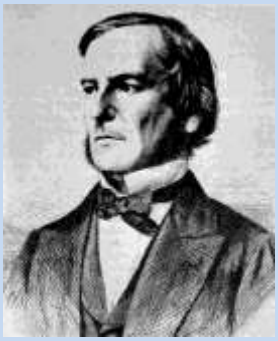
Обучаясь в школе Клод проявил склонности к механике и электротехнике. Его любимыми предметами были естественные науки и математика. Дома он конструировал модели самолетов, радиоуправляемой лодки и беспроводного телеграфа на расстояние полумили для связи с другом. В школьные годы Клод Шеннон любил играть с радиоконструктором, электрическим устройством для подсчета голосов избирателей, которые подарил отец, и на альте. ↘ Склонный к рискованным затеям, например, к езде на одноколёсных велосипедах (англ. *unicycles*) собственной конструкции и жонглированию, он считал это своим призванием, но встретился с порицаниями этого в семье. В результате Шеннон вырос ушедшим в себя. Он очень любил решать математические головоломки, задаваемые ему старшей сестрой Кэтрин (1910 – 2009), ставшей профессором математики. Одним из увлечений Клода была криптография. [3] Подрастая, Шеннон подрабатывал курьером в компании Western Union. Героем его детства был Томас Эдисон [4], который, как он позже узнал, был его дальним родственником. Оба они были потомками знаменитого пилигрима Джона Огден (англ. *John Ogden*; 1609 – 1682).



В 1932 году Клод поступил в Мичиганский университет, который закончила его сестра, где увлёкся математикой Джорджа Буля, радиотехникой и публикациями Ральфа Хартли (англ. *Ralph Hartley*) о передаче информации с помощью различных каналов связи. [5]

Университет Клод Шеннон закончил в 1936 году с дипломами бакалавра по электротехнике и математике, заслужив членство в американском обществе Tau Beta Pi выдающихся инженеров (англ. *Mechanical Engineering Honor Society*), и стал научным сотрудником отдела электротехники Массачусетского технологического института.

Джордж Буль (англ. *George Boole*; 1815 – 1864) – английский основоположник математической логики как самостоятельной дисциплины, родился и вырос в семье небогатого ремесленника, увлечённого наукой. С шестнадцати лет Джордж Буль начал работать помощником учителя в частной школе и, так или иначе, продолжал преподавание на разных должностях в течение всей жизни.



Идеи применения символического метода к логике впервые были высказаны Булем в статье «Математический анализ логики» (1847) и получили развитие в обширном трактате «Исследование законов мышления, на которых основываются математические теории логики и вероятностей» (1854). Буль не считал логику разделом математики, но находил глубокую аналогию между символическим методом алгебры и символическим методом представления логических форм и силлогизмов. Было опубликовано порядка 50 статей и несколько монографий Джорджа Буля. ↗



Буль был женат на Мэри Эверест, племяннице знаменитого географа и геодезиста Джорджа Эвереста, имя которого было присвоено высочайшей вершине мира. Мэри занималась наукой и много времени уделяла популяризации вклада мужа в математическую логику. Четыре их дочери снискали известность как учёные (геометр Алисия и химик Люси) или члены семей математиков (Мэри, жена Хинтона, и Маргарет, мать Дж. Тейлора), а пятая, Лилиан Войнич, прославилась как автор ↗ революционно-романтического романа «Овод».

Из воспоминаний Норберта Винера: «В 1933–1934 учебном году на математической кафедре Массачусетского технологического института (МТИ; англ. *Massachusetts Institute of Technology*) появилась группа талантливых студентов. Самым интересным из них был, конечно, Клод Шеннон. Уже тогда он высказал идею, с самого начала обнаружившую глубокую оригинальность его мышления и оказавшуюся впоследствии крайне важной для исследований в области релейно-контактных схем, вычислительных машин и возникшей отсюда теории информации... все то время, пока Шеннон был студентом, я с ним почти не встречался. Зато в последующие годы пути, по которым мы шли в науке, если и не совпадали полностью, то пролегали очень близко и наши научные связи значительно расширились и углубились. [6]



В МТИ под руководством Вэнивара Буша Клод Шеннон ➔ участвовал в разработке дифференциального анализатора, «... *самого умного компьютера своего времени*» [5], и совершенствовал теорию переключающих схем на ос-

нове концепции Джорджа Буля. Результатом этих работ стала магистерская диссертация по анализу коммутационных схем, которую в 1937 году защитил Шеннон.

Вэни́вар Буш (англ. *Vannevar Bush*; 1890 – 1974) – выдающийся американский ученый, инженер и организатор научных исследований, выпускник (1916), доцент (1919), профессор (1923) Массачусетскиго технологического института (МТИ).



Начиная с 1927 года В. Буш занимался созданием устройства, способного решать дифференциальные уравнения. Под его руководством был сконструирован дифференциальный анализатор, который, в отличие от чисто механических разработок, имел и электронную часть. Ответвлением этой работы, проводившейся в МТИ, стало начало разработки теории проектирования цифровых схем Клодом Шенноном, одним из аспирантов Буша.

В мае 1938 года Буш принял престижную должность президента Института Карнеги в Вашингтоне (англ. *Carnegie Institution of Washington*: CIW), а 23 августа 1938 года он был назначен на должность в Национальный консультативный комитет по воздухоплаванию (англ. *National Advisory Committee for Aeronautics*: NACA). С 1940 года Буш – председатель Национального исследовательского комитета по вопросам обороны США, а в 1941 году стал научным советником президента Рузвельта, возглавив Бюро научных исследований и развития, занимавшееся координацией усилий в целях военной обороны, в том числе разработкой ядерного оружия (Манхэттенского проекта).

В 1945 году в журнале "The Atlantic Monthly" В. Буш опубликовал статью «Как мы можем мыслить» (англ. "*As We May Think*"), в которой впервые высказал идею системы, «*... выдающей нужную информацию с достаточной скоростью и гибкостью, в которой человек сможет хранить свои книги, записи и контакты*».

В 1955 году В. Буш, покинув CIW, вернулся в Массачусетс, где в 1957 году стал президентом МИТ. По 1962 год он оставался членом Совета директоров компании American Telephone and Telegraph (AT&T).

Награды и премии: медаль Эдисона (1943), медаль Национальной академии наук (1945), орден Британской империи (1948), Премия Уильяма Проктера (англ. *William Procter Prize*) за научные достижения (1954), французский орден офицера Почетного легиона (1955) Национальная научная медаль США (1963), премия Национальной академии инженеров (1966) и другие.

Из воспоминаний Норберта Винера: «Буш обладал не только прекрасной головой, но и руками, которые, казалось, тоже способны мыслить. Недаром он был одним из самых блестящих инженеров-прибористов, которых когда-либо знала Америка.<...> Он разработал первые дифференциальные анализаторы, которые в дальнейшем получили название аналоговых вычислительных машин, создал первую гипертекстовую систему Метех, основал Национальный фонд науки США, взрастил целую плеяду выдающихся ученых, достаточно назвать только одного из его учеников – Клод Шеннон. [6]

Вскоре была опубликована статья Шеннона под названием: "A symbolic analysis of relay and switching circuits". В ней доказано, что анализ символическим методом может быть использован для решения многих проблем с помощью Булевой алгебры. Он предложил использовать такой анализ для реализации заданной логической функции и представил несколько схем, в том числе

4-разрядного полного сумматора. "*Просто случилось так, что никто другой не был знаком с этими обеими областями одновременно!*" – так скромно Шеннон объяснил причину своих достижений.

Позже выяснилось, что Виктор Иванович Шестаков (1907 – 1987), советский теоретик-электротехник, выпускник МГУ, предложил интерпретацию логики булевой алгебры на релейно-контактных схемах в середине 1930-х годов, т.е. гораздо раньше Шеннона, и в 1938 году защитил кандидатскую диссертацию на эту тему. Но В.И. Шестаков опубликовал соответствующие статьи только в 1941 году.

В 1939 году эта работа Шеннона была удостоена престижной Премии Альфреда Нобеля, присуждаемой с 1931 года Американским обществом гражданских инженеров (англ. *American Society of Civil Engineers*) за исключительные заслуги специалисту не старше тридцати пяти лет.

Летом 1940 года на океанографической исследовательской станции Cold Springs острова Long Island Шеннон завершил свою диссертационную работу, озаглавленную «Алгебра для теоретической генетики». Его диссертация Ph.D, защищённая под таким названием (англ. "An algebra for theoretical genetics" доказала полезность алгебры Буля для сравнительного выявления природных закономерностей, например, периодического закона Д.И. Менделеева.



Из воспоминаний Норберта Винера: «... Электрические сети с большим числом выключателей крайне важны для автоматических телефонных станций; неудивительно поэтому, что талант Шеннона оказался максимально соответствующим задачам, решаемым в лаборатории телефонной компании Белла. В качестве сотрудника этой лаборатории Шеннон добивался одной победы за другой. Его интересы охватывали одновременно вопрос о нахождении числовой меры количества информации, конструирование электрической мыши, способной научиться находить кратчайший путь в лабиринте, методы игры в шахматы на электрических вычислительных машинах, задачи кодирования и декодирования сообщений и вообще все проблемы, составляющие содержание современной теории информации. При всем том он все время оставался верен своей первой любви в науке – любви к задачам о дискретных устройствах, вроде обычных выключателей, которые он явно предпочитал вопросам о непрерывно меняющихся величинах типа силы тока, текущего по проводу.

Именно эта склонность к дискретному сделала Шеннона одним из крупнейших ученых нашего века, века электронных вычислительных машин и заводов-автоматов. В частности, именно благодаря его трудам владение методами математической логики – этой наиболее абстрактной из всех математических дисциплин – стало совершенно необходимым для участия в многообразной научной работе в области техники связи, проводимой в лаборатории телефонной компании Белла». [6]

В 1940 году в МТИ Шеннону была присвоена степень доктора наук в области математики, и он стал сотрудником Национального института перспективных исследований (НИПИ) в Принстоне, штат Нью-Джерси (англ. *National Research Fellow at the Institute for Advanced Study in Princeton, New Jersey*). В Принстоне Шеннон имел возможности обсуждения своих идей с влиятельными учеными и математиками Германом Вейлем и Джоном фон Нейманом (англ. *John von Neumann*; 1903 – 1957).

Норма, первая жена Клода Шеннона, угощала чаем Альберта Эйнштейна, который говорил, что она «*... замужем за блестящим, просто блестящим» человеком*». [7]

Во время Второй мировой войны Шеннон подключился к работам по системам управления огнем и криптографии в рамках контракта по разделу D-2 Национального исследовательского комитета обороны (англ. *National Defense Research Committee; NDRC*). С 1941 по 1956 год он плодотворно работал в качестве одного из научных математиков под руководством Хендрика Боде (англ. *Hendrik W. Bode*) в группе знаменитой Bell Telephone Laboratories (Bell Labs) [8], подразделении корпорации (AT&T). В военное время появились специфические задачи, в частности, анализ целей и управление огнём по вражеским самолетам. При этом использовалась линейная экстраполяция движения целей и фильтрация их координатных данных в условиях помех по Колмогорову-Винеру (англ. *Wiener's smoothing*), с которым встречался Шеннон. Результаты этой работы оказались особенно актуальными в связи с массированными бомбардировками Англии. Шеннона интересовали также возможности защиты передаваемой информации от "несанкционированного чтения". Тогда Клод разрабатывал системы криптографии, в том числе для правительственной связи и конференций между Президентом США Рузвельтом и Премьер-министром Великобритании Черчиллем.

В течение нескольких месяцев 1943 года Шеннон взаимодействовал с ведущим британским математиком Аланом Тьюрингом (англ. *Alan Turing*; 1912 – 1954), ↘ который в Вашингтоне обменивался с криптоаналитической службой ВМС США методами, используемыми в Великобритании для вскрытия шифров Enigma, используемых фашистскими подводными лодками в северной части Атлантического океана. Они «*... потратили много времени, обсуждая, как работает мозг, и может быть что-нибудь сделано с машинами, для наделения их человеческим мозгом*». В дальнейшем мысль о создании искусственного интеллекта не покидала Шеннона.



В 1945 году, когда война подходила к концу, NDRC выпустил итоговый технический отчет. В нём находилось эссе под названием «Сглаживание и прогнозирование данных в системах управления огнём» (англ. *Data Smoothing and Prediction in Fire-Control Systems*), написанное Шенноном в соавторстве с Ральфом Блэкменом (англ. *Ralph B. Blackman*) и Хендриком Боде.

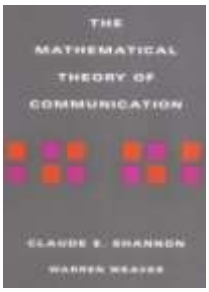
Хендрик Уэйд Боде (англ. *Hendrik Wade Bode*; 1905 – 1982) – американский инженер, изобретатель и ученый голландского происхождения, пионер теории управления и электронной связи, осуществивший революцию по содержанию и методологии исследований в избранных им областях.



Боде внес важный вклад в области разработки и прогнозирования эффективности систем ПВО во время II мировой войны и продолжил такие исследования при разработках ракетных вооружений. Он также внес существенный вклад в теорию систем автоматического управления (САУ), предложив методы математических приближений для анализа устойчивости линейных систем с помощью построений диаграмм Боде (кусочно-линейных аппроксимаций логарифмических амплитудно-частотных характеристик) САУ и оценок запасов их устойчивости по амплитуде и фазе. Боде награждён Медалью Эдисона [2] и другими престижными наградами.

В 1948 году издательством «Иностранная литература» был опубликован перевод монографии Х.В. Боде «Теория цепей и проектирование усилителей с обратной связью» (англ. *Network Analysis and Feedback Amplifier Design*, 1946) объёмом 40 печ. л., послужившая началом широкого применения методов Боде в СССР.

В конце войны, Шеннон подготовил секретный меморандум «Математическая теория криптографии». Его рассекреченная версия была опубликована в Bell System Technical Journal (BSTJ) в 1949 году под названием «Теория связи в секретных системах» (англ. "Communication Theory of Secrecy Systems") и послужила началом обширных исследований в теории кодирования и передачи информации. Здесь Шеннон доказал существование криптостойких шифров и исследовал необходимые для этого условия. Он также сформулировал основные требования, предъявляемые к надёжным шифрам, а также методы создания криптостойких систем шифрования на основе простых операций. Эта публикация содержит многое из работы Шеннона "A Mathematical Theory of Communication", опубликованной в журналах BSTJ за июль и октябрь 1948 года и сделавшей Клода Шеннона всемирно известным. В ней изложены идеи, ставшие основой теории и техники обработки, передачи и хранения информации, и введено понятие информации, содержащейся в передаваемом сообщении. В качестве меры информации передаваемого сообщения M использована логарифмическая функция $I = \log_2(M)$, которую предложил в 1928 году Ральф Хартли. Эта фундаментальная работа стала самой знаменитой в творчестве Шеннона. В ней применён вероятностный подход Норберта Винера (см. Приложение 1) в теории связи и изложены первые результаты совместной работы Шеннона, Оливера и Пирса по использованию импульсно-кодовой модуляции.



Ральф Винтон Хартли (англ. *Ralph Vinton Lyon Hartley*; 1888 – 1970) – американский учёный-радиотехник; предложил схему генератора колебаний, получившую у радистов название "индуктивной трёхточки", и преобразование Хартли. Он стал пионером в области информационной теории, введя понятие «информации» как случайной переменной, и был первым, кто ввёл логарифмическую меру информации, которая теперь называется «Мерой Хартли».



Хартли награждён премиями за отличия в области науки и состоял в Исследовательской Корпорации по продвижению науки (англ. *Research Corporation for Science Advancement*; RCSA), Ему принадлежат более 70 патентов.

Бернард Оливер (англ. *Bernard More Oliver*); 1916 – 1995) – американский учёный и инженер. Его работы охватывали широкие области прикладной физики, включая телевидение и компьютерные технологии.

Карьеру Оливер начал в Bell Labs, и его первые работы были в области телевидения. Во время II мировой войны он занимался развитием радаров и работал над импульсно-кодовой модуляцией с Шенноном. Проработав 12 лет в Bell Labs, Оливер перешёл в создаваемую компанию Hewlett-Packard (HP), где основал и возглавил лабораторию. В 1957 году он стал вице-президентом по исследованиям и членом совета директоров HP.

Под руководством Оливера были разработаны и выпущены в свет первые микрокалькуляторы. В 1965 году Оливер был избран президентом Институт инженеров электротехники и электроники (англ. IEEE).



Проработав 28 лет в компании HP, Оливер до самой смерти оставался в ней ценным консультантом. В честь учёного назван вновь открытый в 1960 году астероид Оливер, он награждён Медалью Ламме (1977), Национальной научной медалью США (1986) и введён в Национальный зал славы изобретателей (2004).

Джон Робинсон Пирс (англ. *John R. Pierce*; 1910 – 2002) – американский инженер и писатель. Его работы охватывали широкие области инженерных наук и прикладной физики, от радиосвязи, микроволнового излучения и психоакустики до написания компьютерной музыки и научно-фантастических произведений.

Выпускник Калифорнийского технологического института (КТИ), Пирс с 1936 года плодотворно работал в Bell Labs. К основным работам Пирса в Bell Labs относятся изобретение электронного умножителя, исследования в области электронных ламп, магнетронов и отражательных клистронов, участие в разработке импульсно-кодовой модуляции (совместно с К. Шенноном и Б. Оливером).



В 1970 году Пирс был избран на должность профессора электротехники КТИ, где вскоре был назначен главным инженером Лаборатории реактивного движения НАСА, находящейся под управлением КТИ и сыгравшей большую роль в разработке первого коммерческого спутника связи «Телстар».

В 1980 году Пирс перешёл на научно-педагогическую работу в Центр компьютерных исследований в музыке и акустике (англ. *Center for Computer Research in Music and Acoustics*) Стэнфордского университета. Помимо технических книг и статей, он публиковал публицистические очерки и стихотворения.

Заслуги Пирса отмечены медалями Баллантина (1960), Эдисона (1963), Национальной научной медалью США (1963), Медалью почёта IEEE (1975), Премией Японии (1985) и другими наградами. В 2003 году Джон Пирс посмертно был введён в Национальный Зал славы изобретателей.

Джон Пирс занимал в Bell Labs особую должность – собирал самые лучшие идеи и заставлял авторов их реализовывать. Пирс выступал в роли подстрекателя, мотиватора и наставника. Возможно, самым трудным из его подопечных оказался Клод Шеннон. Один из их диалогов стал притчей во языцех. «*Ты должен с этим что-то сделать*», – говорил Пирс Шеннону. «*Должен*? – отвечал Шеннон. – *Что значит "должен"*?», приходивший на работу и уходивший с неё, когда хотел. Ему это позволялось, поскольку его публикации оказались настолько ценными, что любые претензии к нему компании AT&T выглядели мелочными придирками.

Попытавшись применить теорию информации для изучения поведения людей, Шеннону столкнулся с несколькими сюрпризами. Одним из них стало то, что действия людей можно предсказывать с высокой точностью. Например, он выяснил, что все естественные языки имеют множество избыточных и предсказуемых элементов. Слушая собеседника, мы предугадываем, что он скажет, и с большим вниманием относимся ко всему неожиданному. [7]

Из воспоминаний Норберта Винера: «Я подошел к теории информации с позиций изучения электрических систем, проводящих непрерывный ток или что-нибудь такое, что по крайней мере можно интерпретировать как непрерывный ток. В то же время Клод Шеннон из лаборатории телефонной компании Белла параллельно разрабатывал близкую и во многом эквивалентную теорию с точки зрения теории электрических переключательных схем. Эта работа представляла собой непосредственное развитие его предыдущих работ, посвященных использованию алгебры логики для решения задач теории релейных схем...

... Шеннон любит дискретное и сторонится непрерывного. Он рассматривает дискретные сообщения как последовательность во времени утвердительных и отрицательных ответов, и каждый выбор между «да» или «нет» считает элементом информации. В то же время я, занимаясь теорией непрерывной фильтрации и исходя из точек зрения, казавшихся вначале совершенно отличными от точки зрения Шеннона, пришел к весьма близкому определению единицы количества информации.

Введя определение понятия количества информации по Шеннону-Винеру (ибо оно в равной мере принадлежит нам обоим), мы совершили радикальный переворот в этой области. В течение многих лет предполагалось, что пропускная способность линии связи за единицу времени определяется шириной полосы частот, используемой этой линией.

Считалось, что по линии с шириной полосы частот в 200 Гц можно передать за одно и то же время в два раза больше информации, чем по линии с полосой пропускания в 100 Гц. При этом игнорировался тот факт, что при передаче в отсутствие шумов любая полоса частот окажется достаточной для того, чтобы можно было передать любую информацию за одну секунду. Одно значение мгновенного напряжения, измеренное с точностью до одной десятитриллионной, могло бы передать всю информацию, содержащуюся в Британской энциклопедии, если бы только шумы в наших цепях не ограничивали возможную точность измерения пределами порядка одной десятитысячной.

Первое время после изобретения телефона лишь очень немногие линии были загружены до предела пропускной способности. Однако с развитием телефонии и появлением новых способов связи, таких, как радио и телевидение, возникла необходимость в более полном использовании имеющихся возможностей передачи сообщений. Стало ясно, что уровень шумов в линиях или воздушном канале связи является еще одним важным фактором, требующим пристального внимания. Весь эфир заполнен возмущениями, которые радисты называют атмосферными помехами, и ни один проводник не может переносить электричество порциями,

меньшими чем заряд электрона. Пульсации, связанные с нерегулярностью потока электронов, получили название дробового эффекта, и их учет играет важную роль при проектировании современных систем связи.

Лишь совсем незадолго до второй мировой войны нагрузка линий связи возросла настолько, что неизбежные шумы стали серьезным препятствием на пути еще большего повышения их загруженности. При этом статистический подход к теории связи, который я в какой-то мере предугадал в своих старых работах по обобщенному гармоническому анализу и которому мы вместе с Шенноном придали столь большое значение в наших работах периода начала войны, вскоре после войны стал основным методом исследования.

Наша работа, посвященная теории обратной связи в приложении к системам управления зенитным огнем и нервной системе человека, привела к еще одному перевороту, который, как и первый, получил повсеместное признание за последние несколько лет. <...> я рассматривал автоматические вычислительные машины как одну из систем связи, так как основное внимание здесь уделяется передаче сигналов, а не мощностей». [6]

Шеннон ознакомился с публикациями Гарри Найквиста и общался с ним в Bell Labs, где тот работал с 1934 по 1954 год, вплоть до ухода на пенсию. Они установили, что обратимая дискретизация аналогового сигнала возможна, если использовать частоту дискретизации, превышающую наибольшую из частот компонент, по крайней мере, вдвое. Результат их сотрудничества известен как «Теорема отсчётов Найквиста-Шеннона» (англ. *Nyquist-Shannon sampling theorem*). В русскоязычной литературе такое утверждение называется теоремой В.А. Котельникова, доказанной им в 1933 году.

Гарри Найквист (англ. *Harry Nyquist*; 1889 – 1976) – один из пионеров теории информации, швед по национальности, эмигрировавший в США в 1906 году. Защитив в 1917 году диссертацию PhD в Йельском университете, он работал с 1917 по 1954 год, вплоть до ухода на пенсию, в отделе исследований компании AT&T (с 1934 года этот отдел стал частью Bell Labs).



Найквист провёл важные исследования по теории теплового шума («шум Джонсона-Найквиста»), устойчивости обратной связи в усилителях, телеграфии, факсимильной передачи, телевидения и других телекоммуникационных проблем.

Ранние работы Найквиста, опубликованные в статьях «Certain factors affecting telegraph speed» (BSTJ 3, 1924) и «Certain Topics in Telegraph Transmission Theory» (A.I.E.E. Trans., 1928). заложили основы для последующих успехов Клода Шеннона.

В 1960 году Найквист был награждён золотыми медалями Института радиоинженеров (англ. *IRE Medal of Honor*) за «фундаментальный вклад в количественное понимание теплового шума, передачи данных и отрицательной обратной связи» и Стюарта Баллантина Института Франклина (англ. *Stuart Ballantine Medal*) за «теоретический анализ и практический вклад в области коммуникационных систем в последние 40 лет», а в 1969 – премией Американской национальной академии инженеров (англ. *National Academy of Engineering*).

Шеннон воспользовался идеей Хартли применить логарифмическую шкалу, но в своей формуле связал ее с вероятностным подходом. Математическое выражение этого совпало с формулой для энтропии – понятия, введенного австрийским физиком Людвигом Больцманом (нем. *Ludwig Eduard*

Boltzmann; 1844 – 1906) еще в XIX веке. Этот термин был закреплён Шенноном за средним количеством информации, приходящейся на один двоичный знак для данного источника сообщений.

Для уменьшения избыточности информации Шеннон и профессор МТИ **Роберт Фано** (англ. *Robert Fano*; 1917 – 2016) предложили метод, известный ныне как алгоритм Шеннона-Фано. При этом Шеннон отметил, что избыточность информации в виде защитного кодирования можно обратить на борьбу с ее искажениями, например, методом Ричарда Хэмминга.

Ричард Хэмминг (англ. *Richard Wesley Hamming*; 1915 – 1998) – американский математик, работы которого в сфере теории информации оказали существенное влияние на компьютерные науки и телекоммуникации. Защитив в 1942 году диссертацию PhD в Иллинойском университете, принял участие в Манхэттенском проекте, где занимался программированием одного из первых цифровых компьютеров.



В период с 1946 по 1976 год Хэмминг работал в Bell Labs, где сотрудничал с Клодом Шенноном. В 1968 году Хэмминг стал почетным членом Института инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) и был награждён премией Тьюринга Ассоциации компьютерных технологий. В 1976 году он переехал в Монтеррей и возглавил там научные исследования в области вычислительной техники в Высшем военно-морском училище. Основной вклад – код и расстояние Хэмминга.

В 1948 году К. Шеннон, Б. Оливер и Дж. Пирс опубликовали результаты первого научного исследования возможностей использования импульсно-кодовой модуляции для передачи информационных сигналов. "Коммуникационные системы использующие импульсно-кодовую модуляцию" были защищены патентами США, заявленными Дж. Пирсом в 1945 году (№ 2,437,707), затем Б. Оливером и К. Шенноном в 1946 году (№ 2,801,281). В 1949 году была опубликована статья Шеннона «Теорема о раскраске рёбер графа» (англ. "*A theorem on coloring the lines of a network*"), которая в 1962 году привлекла внимание студента-дипломника В.П. Иванникова, будущего академика РАН.

В своих работах 1948...1949 годов Шеннон определил количество информации через энтропию, а за единицу информации принял "бит". Позже Шеннон рассказывал, что использовать энтропию ему посоветовал профессор НИПИ Джон фон Нейман, который мотивировал свой совет тем, что «*... мало кто из математиков и инженеров знает об энтропии, и это обеспечит Шеннону преимущество в неизбежных спорах*».

В 1949 году Клод Шеннон был награждён Премией Морриса Либманна (англ. *Morris N. Liebmann Memorial Award*), которая с 1919 года вручалась Институтом радиоинженеров (англ. *Institute of Radio Engineers*, ныне IEEE) за важный вклад в радиосвязь.

Иванников Виктор Петрович – директор Института системного программирования (ИСП) РАН со времени образования ИСП в январе 1994 года. С 1996 года - заведующий кафедрой системного программирования МФТИ. С мая 2008 года – академик Российской академии наук. В мае 2009 года был избран на пост президента Российской ассоциации свободного программного обеспечения, является членом международных научных сообществ ACM, IEEE Computer Society и главой Российского отделения IEEE Computer Society.



В.П. Иванников родился 27 февраля 1940 года в городе Ступино Московской области. В 1963 году он закончил Радиотехнический факультет МФТИ (группа 713), защитив с отличной оценкой дипломную работу «Раскрашивание рёбер графа минимальным числом красок» в Институте точной механики и вычислительной техники им. С.А. Лебедева АН СССР, где он работал с 1962 по 1980 год, пройдя путь от техника ЭВМ БЭСМ-2 до одного из ведущих специалистов, докторов физико-математических наук, лауреатов Государственной премии.

В 1980-х годах В.П. Иванников, работая в Институте проблем кибернетики АН СССР и НИИ «Дельта» Минэлектронпрома СССР, руководил созданием и внедрением систем автоматизации проектирования и программного обеспечения суперЭВМ.

С 1991 по 1994 год В.П. Иванников заведовал отделением Института проблем кибернетики РАН. С 1979 по настоящее время он успешно совмещает научную и педагогическую работу, пройдя путь от старшего преподавателя до профессора кафедры АСВК МГУ. Область научных интересов: системное программирование, архитектура вычислительных машин, операционные системы. Ему принадлежит существенная роль в создании вычислительных комплексов, обеспечивающих обработку информации в режиме реального времени для центров управления полётами космических аппаратов.

Джон фон Не́йман (англ. *John von Neumann*; 1903 – 1957), при рождении **Я́нош Ла́йош Нейман** (нем. *Johann von Neumann*) – выдающийся венгеро-американский математик еврейского происхождения, сделавший важный вклад в квантовую физику, квантовую логику, функциональный анализ, теорию множеств, информатику и другие отрасли науки. Он известен как человек, с именем которого связывают архитектуру современных компьютеров (архитектура фон Неймана) и применение теории операторов (алгебра фон Неймана), а также как участник Манхэттенского проекта, создатель теории игр и концепции клеточных автоматов.



Фон Нейман получил степень доктора философии по математике (с элементами экспериментальной физики и химии) в университете Будапешта в 23 года и с 1926 по 1930 год работал приват-доцентом в Берлине. Он был одним из первых приглашённых на работу в Принстонский НИПИ, где с 1933 года и до самой смерти занимал профессорскую должность.

Фон Нейман выполнил фундаментальные исследования, связанные с математической логикой, алгеброй операторов, статистической физикой, и был одним из создателей Метода Монте-Карло численного решения математических задач, основанного на моделировании случайных величин (от названия города в княжестве Монако, знаменитого игорными домами, рулетка в которых является одним из простейших генераторов случайных величин).

Джон фон Нейман был членом Национальной академии США, Италии и Нидерландов, почетным доктором многих университетов США и других стран.

В 1949 году Клод Шеннон женился на Мэри Элизабет (Бетти) Мур ↘ (англ. *Mary Elizabeth Moore*), сотруднице группы СВЧ Джона Пирса, занимавшейся в Bell Labs математическими расчетами. Они обзавелись трёхэтажным домом, когда-то принадлежащим семейству Томаса Джефферсона, третьего президента США, с видом на озеро Мистик, где и поселились в Винчестере (англ. *Winchester*), штат Массачусетс. Старший из их детей, Роберт (1952 – 1998), был специалистом по вычислительной технике, средний, Эндрю (1954 г.р.), стал музыкантом, а младшая, Маргарита (1959 г.р.), – геологом.



Тогда же Шеннон направил Американскому институту инженеров доклад, посвященный проблеме создания искусственного интеллекта. Соответствующая статья «Составление программ для игры в шахматы на вычислительной машине» была опубликована в 1950 году.

Шеннон рассматривал две стратегии поиска машиной лучшего хода с учётом относительной ценности шахматных фигур (1 балл за пешку, 3 балла за коня или слона, 5 баллов за ладью и 9 баллов за ферзя).

Одна из них – полный перебор фиксированной глубины (метод «грубой силы»). Уровень шахматной игры при такой стратегии с перебором на три хода вперёд Шеннон считал очень низким (вероятность победы у чемпиона мира Михаила Ботвинника порядка 10^{-75}). Другая стратегия – вычисление оценочной функции с учётом преимуществ и недостатков позиций, которые могут сказаться через большее количество ходов и использование шахматных знаний (типовых позиций) для отсечения малоперспективных вариантов.

Однако четких рекомендаций для второй стратегии он не дал. Причина, по мнению М. Ботвинника, в том, что «*Шеннон познакомился с шахматами в возрасте 28 лет, и шахматным специалистом он не был*».

В том же году Клод Шеннон с супругой посетили Англию, где в Манчестерском университете проходила конференция по теории информации. К этой конференции была приурочена публикация статьи А. Тьюринга «*Вычислительные машины и разум*» в журнале Mind Оксфордского университета. Они посетили лабораторию Тьюринга в Университете, обсудили проблемы искусственного интеллекта и тест Тьюринга: «*Машина станет разумной тогда, когда будет способна поддерживать разговор с обычным человеком, и тот не сможет понять, что говорит с машиной*». Тьюринг с интересом отнёсся к шахматной программе Шеннона и его работе по самообучающимся механизмам.

В 1951 году Шеннон опубликовал статью «Предсказание и энтропия печатного английского текста" (англ. "*Prediction and Entropy of Printed English*"), в которой предложен метод оценки энтропии и избыточности букв английского текста, определены верхние и нижние границы энтропии по статистике печатного английского текста и изучены возможности его предсказания, т.е. насколько точно может быть предсказана очередная буква, если известны предыдущие N букв текста.

Интерес Шеннона к языкам вдохновил Джона Пирса написать (под псевдонимом Дж. Коплинг) о нём статью для журнала "Поразительная научная фантастика" (англ. *Astounding Science Fiction*), в которой он изложил идеи Шеннона относительно компьютерной музыки. Впоследствии теоретики музыки предположили, что слушатель постоянно предугадывает несколько следующих нот на основании нескольких предыдущих. Восприятие музыки в значительной степени зависит от того, насколько она соответствует или не соответствует нашим ожиданиям. [7]

Тогда Шеннон завершал создание электромеханической мышки Тесей, которая могла "находить" выход из лабиринта. Это был один из первых экспериментов по искусственному интеллекту. Подробное сообщение о презентации этого эксперимента Шеннона было опубликовано в 1952 году.



Клод Шеннон и его электромеханическая мышка Тесей, обучающаяся ↘ методом проб и ошибок при перемещениях в поисках выхода из лабиринта из 25 квадратов, в одном из первых экспериментов в области искусственного интеллекта (1950 год).

Запоминая результаты сделанных ходов во встроенной памяти пути, мышь Тесей приобретала способность самостоятельно находить кратчайший выход из любого места учебного лабиринта.

Позже Институт инженеров электротехники и электроники (англ. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*; IEEE) учредил международный конкурс "Микромышь", в котором до сих пор принимают участие тысячи студентов технических вузов.



Тогда же Шеннон создал калькулятор Throbac с интерфейсом ↘ в римских цифрах, и "Окончательную машину" (англ. "*Ultimate Machine*"), описанную в романе А. Кларка «Голос над морем». Ученый-фантаст Артур Кларк не раз бывал в доме Шеннона, и его потрясла "Ultimate Machine". ↘



«Выглядело всё очень просто, – писал Кларк. –... Когда вы поворачиваете выключатель, раздается сердитое, вполне осмысленное ворчание. Крышка поднимается, и из коробки высовывается рука. Она поворачивает выключатель в обратную сторону и снова убирается внутрь коробки, после чего крышка медленно закрывается и ворчание затихает.

Психологический эффект этого мистического зрелища, если вы к нему не подготовлены, потрясающе силен. Мрачное впечатление остается от машины, которая выключает сама себя».

Давид Слепян, крупный американский ученый, работавший с Шенноном в Bell Labs, вспоминал: «*Многие из нас приносили ланчи из дома и совмещали поглощение еды с математическими играми, используя доску на стене. Но не Шеннон – он продолжал работать за закрытой дверью. Однако стоило вам зайти – и вас встречали вполне терпеливо, с готовностью помочь. Суть задачи он схватывал моментально. Он был настоящим гением, единственным из моих знакомых, к кому я могу применить такое определение*». Но некото-

рые коллеги в Bell Labs считали, что ему не хватало строгости истинного исследователя. Шеннон был вспыльчивый гений, не всегда терпимый к неготовым следовать его линии мысли. Но, как правило, он был застенчивым и спокойным человеком, с причудливым чувством юмора.

Размышляя о возможности создания интеллектуальных машин, Шеннон соорудил уницикл ↙ с колесом чуть более метра в диаметре [9] и "разминался" на нём по коридорам Bell Labs, жонглируя при этом тремя шариками, или расхаживая на ходулях между кабинетами. Можно было подумать, что Шеннон из научного гения превращается в клоуна-иллюзиониста. Однако он исследовал – на свой манер – глубокие проблемы. Одна из них формулировалась так: насколько сложной должна быть машина, чтобы перехитрить человека? Как выразился его коллега Дэвид Слепян: «*В интеллектуальном плане он был лучшим в мире мошенником*». [7]



Машина для предсказаний. Среди немногих сотрудников Bell Labs, которых привечал Шеннон, был выпускник Калифорнийского технологического института, Дейв Хагельбарджер (англ. *Dave Hagelbarger*). Они часто обедали вместе и развлекались с хитроумной аппаратурой.

Идея "машины для чтения мыслей" посетила Дейва Хагельбарджера со страниц научно-фантастического журнала Astounding Science Fiction в ноябре 1950 года с грибовидным ↘ облаком на обложке. Автор статьи в нём Дж. Коплинг (псевдоним Пирса) полагал, что компьютер можно научить сочинять музыку, анализируя статистические закономерности уже написанных произведений и составляя подобные новые композиции. Он обратил внимание, что добиться случайности не так просто. «*Попросите, например, какого-нибудь человека составить случайную последовательность чисел*, – писал Коплинг. – *Статистические исследования таких последовательностей показали, что они не случайные*; ***человек не способен составить случайную последовательность чисел, никак не связанных между собой***».



Стратегия машины для предсказаний Хагельбарджера была основана на двух допущениях:

(а) Выбор человека не случаен. На последовательность ходов в игре влияет опыт и эмоции. Например, некоторые люди, выиграв два раза подряд, боятся «спугнуть удачу» и повторяют действия. Другие, наоборот, не хотят «искушать судьбу» и изменяют решение. Но машина в обоих случаях их поймает.

(б) Чтобы запутать соперника, машина будет пытаться предсказать его действия только в случае своего выигрыша, а при проигрыше будет делать случайный выбор.

Записав результаты 9795 игр, Хагельбарджер выяснил, что его машина выиграла 5218 раз – то есть в 53,3 процентах случаев. Преимущество машины оказалось невелико, но результат статистически значимым.

Машина для предсказаний, как назвал ее Хагельбарджер, выступала в роли спарринг-партнера и должна была предсказывать действия соперника. Человек выбирал «+» или «–» и вслух объявлял об этом. Затем нажимал кнопку, и машина выдавала предсказание, зажигая одну из двух лампочек.

Шеннону понравилась машина Хагельбарджера, и он решил сконструировать собственную. Её устройство представляло собой коробку из оргстекла размерами приблизительно 30×30 см с непрозрачным верхом, напоминающим лицо: две лампочки вместо глаз, кнопка вместо носа и красный тумблер в черной щели рта. Играть с машиной Шеннона было очень просто: игрок переводил красный тумблер в левое или правое положение и нажимал кнопку, на что машина реагировала зажиганием соответственно левой или правой лампочки, если угадывала положение тумблера, или наоборот, если её прогноз был ошибочным. В длинной последовательности партий с одним и тем же человеком машина Шеннона угадывала в 65% случаев.



В 1950-х годах через Bell Labs прошла череда блестящих и честолюбивых исследователей, претендовавших на выдающийся интеллект и считавшим своим долгом бросить Шеннону вызов. Напряжение нагнеталось тем, что переиграть машину Шеннона мог только сам Шеннон. Между тем, алгоритм работы его машины был довольно прост: подтверждались два последних, следующих подряд правильных предсказания. В противном случае выбор его машины был случаен – с непрерывно вращающегося колеса встроенной контактной рулетки.



https://www.iu3.bmstu.ru/open/cs1.mp4

Шеннон и Хагельбарджер решили "стравить" свои машины друг с другом. Они сконструировали "посредника", генерировавшего одинаковые случайные последовательности для обоих устройств. «*Все три машины соединили*, – рассказывал Шеннон, – и *оставили работать на несколько часов, что сопровождалось пари на небольшие суммы и громкими криками одобрения*». К радости Шеннона, его машина победила с результатом 55:45 (в процентах), хотя и была значительно проще. [7]

Тем временем американские математики не недооценивали работы Шеннона, считая их недостаточно строгими. Начало их признанию положил советский академик А.Н. Колмогоров (1903 – 1987), один из крупнейших математиков XX века, некоторые работы которого были вдохновлены достижениями Шеннона.



«*Значение работ Шеннона для чистой математики не сразу было достаточно оценено. Мне вспоминается*, – написал Колмогоров, – *что еще на международном съезде математиков в Амстердаме (1954 год) мои американские коллеги, специалисты по теории вероятностей, считали интерес к работам Шеннона не-*

сколько преувеличенным, так как это более техника, чем математика... Правда, строгое математическое обоснование своих идей Шеннон в сколько-либо трудных случаях предоставил своим продолжателям. Однако его математическая интуиция изумительно точна». [1]

Вместе с тем, вероятностная теория информации Шеннона нашла распространение не только в радиосвязи. Термины теории информации получили применение в наукообразных публикациях, всё чаще появляющихся с целью добиться финансирования их приложений. Шеннон не захотел оставаться в компании "*Bandwagon* от науки" (*повозки с оркестром,* ↘ *в которой разъезжают по США, празднуя как бы победу*). Его интересы сместились в область вычислительных машин и, до некоторой степени, человеческого разума. «*Мы надеемся*, – написал он, – *что исследования в области игровых машин позволят понять, как работает человеческий мозг*».



В 1955 году Институт Франклина наградил Шеннона Медалью ↘ имени Стюарта Баллантина, выдающегося американского радиоинженера и изобретателя «За достижения в области компьютерных и когнитивных наук». Такую награду американцы называют малой Нобелевской премией.

Стать Нобелевским лауреатом Шведской академии наук Шеннон не мог, так как достижения теории информации были вне сферы охвата этой самой престижной научной наградой).



В 1956 году Вэни́вар Буш, намереваясь возвращаться в Массачусетский технологический институт (МТИ) и привлекая Шеннона в "Альма-матер", заинтересовал его грантом Исследовательской корпорации по продвижению науки (англ. *Research Corporation for Science Advancement*; RCSA), одного из старейших фондов США. Этот грант мог использоваться для «... *вовлечения и удержания студентов в науке*». Предложение Буша было Шенноном принято.

Расставаясь с Bell Labs, Шеннон опубликовал заметку «Bandwagon», в которой предупреждал: «... *значение теории информации, возможно, преувеличено и раздуто до пределов, превышающих её реальные достижения. <...> основные положения теории информации касаются очень специфического направления исследования, которое совершенно необязательно должно оказаться плодотворным в психологии , экономике и других социальных науках*». (см. Приложение 2)

Научно-педагогическая работа. В 1957 году В. Буш стал президентом МТИ, а Клод Шеннон с 1958 по 1978 год – профессором и научным сотрудником Исследовательской лаборатории электроники этого института, тогда постоянного места работы Норберта Винера и Роберта Фано. Чем же занимался тогда Шеннон, прославившийся не только даром выдающегося теоретика, но и талантами мастеровитого инженера-конструктора?



До 1972 года он оставался консультантом Bell Labs и работал в основном в домашних условиях. Свой дом в Винчестере Шеннон превратил в нечто среднее между библиотекой, мастерской и музеем, где накапливались устройства и аппараты его собственного изготовления. Студенты были частыми и всегда желанными гостями Шеннонов. В их числе был Марвин Мински (англ. *Marvin Lee Minsky*) и другие, в будущем известные ученые, работавшие в области искусственного интеллекта.

В подвале дома была оборудована мастерская, где Шеннон проводил большую часть своего времени, делая электрические и механические машины, например, фуникулер от дома до берега озера Мистик. В доме было много музыкальных инструментов, в том числе пять фортепиано. Он любил поэзию и пробовал писать сам, джазовые композиции в стиле диксиленд и играть на кларнете.

Ряд чрезвычайно важных работ Шеннона был направлен на исследование возможностей создания логических машин, способных решать интеллектуальные задачи. Эти исследования продолжали работу, начатую Тьюрингом и фон Нейманом. Шеннон считал такое направление чрезвычайно важным и писал в 1953 году: «*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*».

В 1962 году Шеннон опубликовал статью «Двусторонние каналы связи», где предложил общий абстрактно-математический метод нахождения области значений пропускной способности двустороннего канала связи. Многие из работ Шеннона были переведены на иностранные языки.

В 1963 году Шеннон получил три экземпляра книги [1] с его научными работами на русском языке. Шеннон одним из первых занялся разработкой играющих машин, и в частности машин для игры в шахматы. [2]

В 1960 году Михаил Ботвинник, заинтересовавшийся проблемой алгоритмизации шахматной игры, прочел в Университете им. Гумбольдта в Берлине (нем. *Humboldt-Universität zu Berlin*) лекцию «Люди и машины за шахматной доской». С ее публикацией познакомился Клод Шеннон. Весной 1965 года он с женой Бетти приехал в Москву по приглашению на инженерную конференцию, где встретился с Ботвинником. При встрече «*... мы обсудили проблему создания искусственного шахматиста. В заключение Шеннон предложил сыграть партию, а по ее окончании* (через 42 хода!) *попросил какой-нибудь сувенир. Я тут же восстановил текст партии и вручил своему партнеру на память*» – вспоминал Ботвинник.

Шеннон был проинформирован о том, что может получить лицензионные платежи за издание в СССР его книги [1] в размере нескольких тысяч рублей, что тогда соответствовало примерно такой же сумме долларов, которые могли бы быть потрачены только в России. Заинтересовавшие Клода в Москве книги были только на русском языке, шуба у Бетти уже была, мебель было трудно транспортировать... В итоге они купили набор из восьми музыкальных инструментов, от фагота до балалайки.

В работе 1967 года «Нижние границы вероятности ошибки для кодирования в дискретных каналах без памяти», написанной Клодом Шенноном в соавторстве с Робертом Галлагером и Элвином Берлекэмпом (англ. *Robert Gallager and Elwyn Berlekamp*) уточняются нижние границы для минимальной вероятности ошибки, которые могут быть достигнуты в дискретных каналах без памяти при наличии шумов. Эта работа считается последней в творчестве Шеннона по теории информации. Научные исследования он продолжал и далее, однако далеко не все его труды были опубликованы, так как он не считал их достаточно важными.

Деятельность Клода Шеннона сделала его в 1960-х годах почётным доктором Мичиганского, Принстонского, Эдинбургского и Питтсбургского университетов. В 1962 году он был награждён Медалью Почёта Университета Уильяма Райса (англ. *William Rice University*), за которой в 1963 году последовали премия «Гиббсовская лекция» (англ. *Josiah Gibbs Lectureship*), вручаемая Американским математическим обществом за значительные работы в прикладной математике, а в 1966 году –



Медаль почёта Института инженеров электротехники и ↘ электроники (IEEE) и Национальная медаль технологии и ← инновации, которой Клод Шеннон был награждён президентом США Линдоном Джонсоном.



Вся наша жизнь – игра... В дальнейшем интересы Шеннона сосредоточились на игровых автоматах. «*Я всегда следовал своим интересам, не думая ни о том, во что они мне обойдутся, ни об их ценности для мира. Я потратил уйму времени на совершенно бесполезные вещи*», – признавался Шеннон.

Он не заботился о деньгах и даже не переводил свою зарплату на банковский счёт, пока это не предложила его жена. Но Шеннон стал очень богатым человеком, когда стал думать о финансах, т.е. оказался в этом столь же блестящим, как и во всём, о чём задумывался.

Весной 1959 года на работу в МТИ пригласили профессора математики Эдварда Торпа (англ. *Edward Thorp*), теоретика игры в блэкджек, одной из самых популярных в казино карточных игр, восходящую звезду менеджмента хедж-фондами, одного из основателей алгоритмической торговли. В МТИ Торп завершил обработку результатов собственных испытаний в казино и написал статью "Выигрышная стратегия для Blackjack" (англ. “A Winning Strategy for Blackjack”) для её приоритетной публикации в солидном журнале. Таким журналом считался "The Proceedings of the National Academy of Sciences", но в нём публиковались статьи, рекомендованные только своими академиками, а единственным математиком из них в МТИ с 1956 года был Клод Шеннон. 21 очко по правилам Blackjack ↗



Из воспоминаний Эдварда Торпа: «Я договорился о встрече с Шенноном в ноябре 1959 года. Секретарь предупредила меня, чтобы я не ожидал большего, чем несколько минут, так как Шеннон не тратил время на предметы или людей, которые его не интересовали. <...> я прибыл в офис Шеннона и увидел там худощавого человека среднего роста и телосложения, с добродушными глазами и изгибом бровей, говорящими о плутовском, проницательном юморе их хозяина.

Я кратко рассказал Шеннону историю экспериментов игры в Blackjack и показал ему свою статью. Шеннон был впечатлен достигнутыми результатами, отметив в заключение, что я по-видимому, сделал большой теоретический прорыв по этому вопросу. Мы изменили название статьи на более респектабельное «Благоприятная стратегия "игры в 21"» (англ. “A Favorable Strategy for Twenty-One”) и договорились о её публикации. Потом он спросил: "Вы работаете над чем-нибудь еще в игорной зоне?" Я решил открыть другую тайну и рассказал ему о своей мечте обыграть в казино и рулетку. Идеи о таком проекте пролегла между нами. Мы провели вместе несколько захватывающих часов и расстались в глубоких сумерках с планами встретиться по рулетке снова...

... Шеннон жил в большом деревянном доме с видом на озеро Мистик. Шеннон считал свой дом удовлетворяющим гипотезе о возрастании энтропии, т.е. о стремлении Вселенной к полному хаосу. Этот «рай для изобретателя» был завален электронными и механическими устройствами, везде царил страшный беспорядок. Шеннон был помешан на аппаратах, подражающих человеческому поведению. С особым интересом он мастерил роботов-жонглеров и устройства, подбрасывающие монетку.

Шеннон был практикующим унициклистом, состоящим в «Unicycling Society» ↘, и удивлял своих гостей тем, что катался на нём по стальному тросу, натянутому во дворе между двумя пнями. Еще большее удивление вызвала дочь Шеннона Маргарита, которую он звал Пегги, прыгающая на уницикле через скакалку. В его гараже хранились экзотические унициклы, в том числе двухместная (!) модель.

В подвале дома хранились сотни электронных, электрических и механических компонентов, таких как транзисторы, переключатели, моторы, шкивы, шестерни, трансформаторы и т.д. Шеннон был бесконечным источником игровой изобретательности и развлечений, игрушки были везде. Он научил меня жонглировать и ходить по воде озера в изготовленной Шенноном для этого огромной паре пенополистироловой обуви». [10]



Итогом игрового сотрудничества стал носимый компьютер размером с пачку сигарет, содержащий двенадцать транзисторов, предсказывающий вероятность выигрыша в рулетку на основе быстрых замеров частоты оборотов колеса рулетки и скорости вброса шарика рукою крупье. Летом 1961 года Торп и Шеннон с жёнами Вивиан и Бетти встретились в казино Лас-Вегаса, где провели с положительными результатами натурные испытания этого компьютера. Вскоре Эдвард Торп покинул МТИ, а Клод Шеннон разработал разнообразные модели биржевой игры на курсах акций и опробовал их (по его словам - успешно) на собственных акциях.

В 1972 году IEEE учредил Премию Шеннона, присуждаемую за исключительный вклад в теорию информации, считающуюся и сегодня самой престижной наградой в своей области.

Первыми лауреатами этой премии стали Клод Шеннон, Дэвид Слепян и Роберт Фано. Из наших соотечественников такой премией награждены в 1978 году профессор Марк Пинскер (1925 – 2003), руководитель лаборатории Института проблем передачи информации имени А.А. Харкевича, и в текущем году профессор Александр Холево, сотрудник Математического института имени В.А. Стеклова и Российского квантового центра.

В 1970-е годы по разработке Шеннона изготовили робот-муляж с лицом В. Дукенфилда (англ. *William Claude Dukenfield*, *or* W.C. Fields; 1880 – 1946), знаменитого американского комика, актёра, фокусника и писателя. Этот робот жонглировал вводимыми сверху шариками, отскакивающими от мембраны расположенного под ним барабана. Его работа отвечала формуле Шеннона:



(F + D)H = (V + D)N, где F – время свободного полета шарика, D – время его нахождения в руке, V – время, пока руки свободны, N – число шаров, H – количество рук.

«*Я представляю то время, когда мы будем для роботов, что собаки для людей, и я болею за машины*», – говорил Шеннон.



В 1974 году венгерский скульптор и преподаватель архитектуры Эрнё Рубик изобрёл головоломку – «Кубик Рубика». Эта головоломка понравилась Шеннону, и он придумал для неё манипулятор,

позволяющий быстро восстанавливать нарушенное совмещение цветов граней кубика. Кроме того Шеннон решил сконструировать мобильную диораму с часовым механизмом и муляжами трёх цирковых артистов, жонглирующих кольцами, шариками и булавами.

Реализация намерений Шеннона затормозилась после смерти Вэнивара Буша, президента МТИ. Новое руководство университета не разделяло увлечений Шеннона "*совершенно бесполезными вещами <...> потому, что* (по его словам) *их весело сделать"*. Ему предложили сотворить нечто более полезное и вернуться на путь теории информации, на что Шеннон отвечал: «*Большинство великих математика сделали свои лучшие работы, когда они были молоды*».

В 1975 году Шеннон был избран членом Королевской академии наук и искусств Нидерландов (нидерл. *Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen*). Через три года он стал Почётным доктором наук Оксфордского университета, был награждён Премией имени Жозефа Жаккара (фр. *Joseph Marie Jacquard*; 1752 – 1834) и премией Гарольда Пендера (англ. *Harold Pender*) – высшей наградой факультета инженерного дела и прикладной науки Пенсильванского университета.

На пенсию Шеннон ушёл в 1978 году. Он закончил диораму с муляжами трёх артистов, ↙



https://www.iu3.bmstu.ru/open/cs2.mp4

жонглирующих кольцами, мячами и булавами, приводимой в движение "кулуарным" часовым механизмом. Персонажами диорамы были выбраны самые знаменитые жонглёры тех лет: Сергей Игнатов, который впервые продемонстрировал жонглирование 11 кольцами в 1978 году, румын Митис Virgoaga (на диораме в центре) и итальянец Энрико Растелли. [5] Шеннон построил и несколько других жонглирующих машин.

«*Проникновение в суть способности человека жонглировать послужит основой для создания сложных роботизированных систем*» – считал Шеннон. Жонглирование происходит в условиях обычной жизни, как и вождение автомобиля на оживленной улице, поимка мяча в ветреный день или ходьба в суматохе. Все эти задачи требуют точного прогнозирования развивающихся событий.

В начале 1980 года Шеннон начал подготовку статьи «Научные аспекты жонглирования» для журнала Scientific American, от чего его часто отвлекали события в мире шахмат, например, встреча пионеров компьютерных шахмат в венском отеле «За́хер» (нем. *Hotel Sacher*) ⬇ для подготовки Третьего чемпионата мира шахматных программ. Среди них был Дэйв Слейт, специалист по программному обеспечению компьютерных



шахмат (его программа выиграла «Чемпионат мира 1977» по компьютерным шахматам) и коллега Шеннона по работе в Bell Labs Кен Томпсон, известный своим вкладом в создание операционная системы Unix и базы данных эндшпилей шахматных партий.

С 25 по 29 сентября 1980 года в австрийском городе Брукнер, под эгидой основанной в 1977 году ассоциации International Computer Chess Association (ICCA), состоялся Третий чемпионат мира по компьютерным шахматам. Чемпионат проходил в рамках ежегодного Брукнеровского фестиваля Ars Electronica с семинарами по электронным искусствам, в том числе по компьютерной музыке и шахматным микрокомпьютерам. Специальными гостями чемпионата были президент Международной шахматной федерации (ФИДЕ), гроссмейстер Ф. Олафссон (исл. *Friðrik Ólafsson*) и Клод Шеннон. ↖



В 1981 году Шеннон продемонстрировал свои робототехнические достижения на Международной выставке в немецком городе Падерборне (нем. *Paderborn*). Его мини-диорама с тремя жонглёрами вошла в число самых красивых и популярных экспонатов выставки, ↗ На основе экспонатов Шеннона этой выставки по её завершении была развёрнута соответствующая экспозиция в Берлинском музее связи.



Доступен текст и фрагменты фонограммы обширного интервью с Клодом Шенноном, которое удалось провести сотруднику IEEE Роберту Прайсу (англ. *Robert Price*) 29 июля 1982 года. Оно сконцентрировано на карьере Шеннона в 1940-х годах, особенно на его рабочих отношениях с Норбертом Винером и на интеллектуальной генеалогии информационного моделирования. Интервью содержит подробности отношений Шеннона и Тьюринга в Bell Labs и в Англии, а также с Хартли, которого он считает гораздо больше ступенькой для себя, чем был Норберт Винер, «*... очень интересный человек, во всех отношениях. <...> Но когда я разговаривал с Норбертом, <...> я никогда не получал ощущение, что он понял, о чем я говорил*». [11]



В 1983 году Шеннон был награждён золотой Медалью Джона Фрица (англ. *John Fritz Medal*) Американской ассоциации инженерных обществ (англ. *American Association of Engineering Societies*), вручаемой с 1902 года ежегодно за выдающиеся достижения в науке или промышленности в любой области теоретической или прикладной науки. В 1968 году такой медалью был награждён русский и американский авиаконструктор Игорь Иванович Сикорский (1889 – 1972).



В 1984 году Клод Шеннон стал Почётным доктором наук Университета Карнеги–Меллон в Питтсбурге, а в 1985 году он был награждён золотой медалью Общества инженеров ↘ звукотехников (англ. *Audio Engineering Society,* AES) и стал её первым номинантом по фундаментальной науке.



В июне 1985 года Шеннон с супругой Бетти посетили Международный симпозиум по теории информации (англ. *IEEE International Symposium on Information Theory*) в английском городе Брайтоне (англ. *Brighton*). Заметив в процессе своего выступления про искусственный интеллект засыпающих слушателей, Шеннон неожиданно извлёк из карманов три мячика и стал жонглировать ими... [5] До всех дошло, что перед ними тот самый Клод Шеннон, о котором в мире стали забывать! Выступление Шеннона завершилось множеством его автографов.



В 1985 году фондом Казуо Инамори в Японии была учреждена Премия Kyoto Prize, ↘ высшая награда за "... *выдающийся вклад в науку, цивилизацию и духовность человечества*". Она считается самой престижной наградой, доступной в областях, которые не удостаиваются Нобелевской премии. Первым лауреатом Премии Kyoto Prize в номинации фундаментальных наук стал Клод Шеннон. В ноябре 1985 года, завершая своё выступление в японском городе Киото на церемонии вручения этой премии, Клод Шеннон сказал: «*Трудно предсказать будущее, но это мое ощущение, что к 2001 году нашей эры мы будем иметь машины, которые смогут ходить, видеть и думать, как это делаем мы*». (англ. *It is difficult to predict the future, but it is my feeling that by 2001 AD we will have machines which can walk as well, see as well, and think as well as we do*»). [5]



В 1987 году Клод Шеннон стал Почётным доктором наук частного исследовательского Университета Тафтса, штат Массачусетс.

В мае 1989 года Шеннон посетил Шестой чемпионат мира по компьютерным шахматам в Эдмонте (англ. *Edmonton*, Канада), где предсказал завершение господства человека над компьютером в течение ближайших 10 лет. Он оказался прав, хотя состоявшийся в сентябре того же года матч между шахматной программой «Дип Сот» и Гарри Каспаровым, закончился победой чемпиона мира. [12]



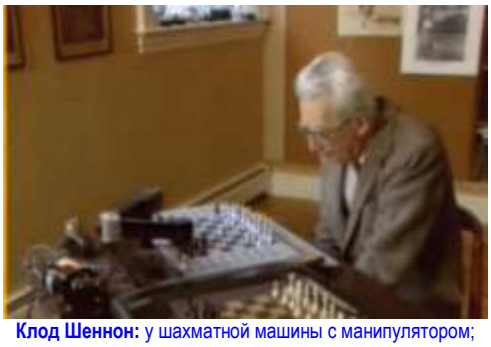
Кен Томпсон, Клод Шеннон и Дэйв Слэйт (Эдмонт, 1989)

«Осенним днем 1989 года корреспондент журнала "Scientific American" вошел в старинный дом с видом на озеро к северу от Бостона. Но встретивший его хозяин, 73-летний стройный старик с пышной седой гривой и озорной улыбкой, совсем не желал вспоминать "дела давно минувших дней" и обсуждать свои научные открытия 30-50-летней давности. Быть может, гость лучше посмотрит его игрушки? Не дожидаясь ответа и не слушая увещеваний жены Бетти, хозяин увлек изумленного журналиста в соседнюю комнату, где с гордостью 10-летнего мальчишки продемонстрировал свои сокровища: семь шахматных машин, цирковой шест с пружиной и бензиновым двигателем, складной нож с сотней лезвий, двухместный одноколесный велосипед, жонглирующий манекен, а также компьютер, вычисляющий в римской системе счисления. И не беда, что многие из этих творений хозяина давно сломаны и порядком запылены, - он счастлив». [13]

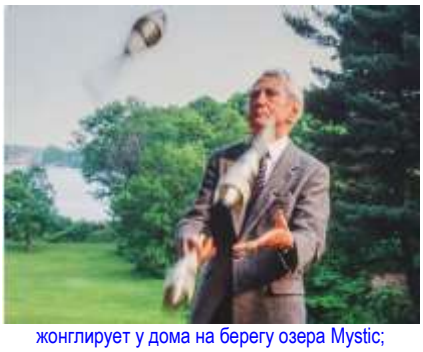
В 1990 году Шеннон был награждён диплом индонезийского университета ➔ Jember. В 1991 году он стал лауреатом Премии фонда Эдуарда Рейна (нем. *Eduard-Rhein-Stiftung*; частный немецкий фонд, специализирующийся на поддержке научных исследований, образования, культуры и искусства) за фундаментальные исследования и Почётным доктором наук Пенсильванского университета.

Последние годы жизни. В свои 74 года Клод Шеннон продолжал вести активный образ жизни, участвуя в шахматных событиях и следя за достижениями в области искусственного интеллекта. Одну из своих шахматных машин он оснастил электромеханическим манипулятором собственной конструкции, способным удалять и перемещать фигуры по шахматной доске. В память этой машины были

занесены избранные им шахматные партии, в том числе сувенирная с Ботвинником, что позволяло Шеннону тренировать возрастное, как он считал, ухудшение памяти. Его любимым отдыхом оставалось жонглирование, но, несмотря на глубину проникновения в суть задачи, он . так и не смог уверенно превысить своё достижение в этом ↘ – жонглирование тремя булавами.



Клод Шеннон: у шахматной машины с манипулятором;



жонглирует у дома на берегу озера Mystic;



"озадачивает" робота-жонглёра, вбрасывая шарики.

С особой гордостью Шеннон демонстрировал посетителям робота-жонглёра ↗, поясняя, что похожие аналоги других разработчиков способны жонглировать тремя шариками в течение лишь нескольких минут. Его же модель способна жонглировать четырьмя и даже пятью шариками, а с тремя шариками может заниматься этим хоть всю ночь, создавая убаюкивающие перестуки.

В начале 1993 года врачи обнаружили у Клода Шеннона симптомы болезни Альцгеймера с печальными прогнозами на будущее и рекомендовали госпитализировать его в расположенном поблизости медицинском центре по уходу за больными города Медфорд (англ. *Courtyard Nursing Care Center in Medford, Mass*). Тогда в доме Шеннонов проживали их сын Эндрю Мур, дочь Маргарита (Peggy), сестра Клода Кэтрин и две внучки. На семейном совете было принято решение прислушаться к рекомендациям медицины, с последующей продажей дома у озера Mystic и пожертвованием творческих продуктов и артефактов Клода Шеннона Музею МТИ. Многие из них до сих пор хранятся в запасниках этого музея, находящихся в городе Сомервиль (англ. *Somerville*). [7]

Болезнь делала свое дело. Когда в 1998 году комплекс из двух зданий AT&T в Нью-Джерси, где долгие годы в Bell Labs работал Шеннон, получил имя Shannon Laboratory, сам он вряд ли осознавал это, так как к тому времени уже мало кого узнавал. Тем не менее, в 2000 году Шеннон был награждён премией «Общества Маркони» за вклад в теорию информации, первым в только что открытой номинации «Прижизненные достижения».



В октябре 2000 года в присутствии жены Шеннона, Бетти ↘, Общество теории информации IEEE ↓ открыло в родном городе Шеннона его скульптурный портрет, изваянный из бронзы скульптором Евгением Daub по заказу IEEE. Эта бронзовая статуя подарена городу Gaylord и находится в парке Шеннона, построенном отцом Клода Шеннона. На бронзовом листе "бумаги" ↘ в левой руке изваяния выбита формула пропускной способности ***C*** канала с аддитивным шумом, которая по Шеннону пропорциональна ширине полосы пропускания ***W*** и двоичному логарифму отношения средней мощности принимаемого сигнала S к средней мощности шума N_0.





$$\frac{C}{W} = \log_2\left(1 + \frac{S}{N_0}\right).$$

О пропускной способности канала

Любой канал с шумом характеризуется максимальной скоростью передачи информации, названной «Пределом Шеннона». При передаче информации со скоростями, превышающими этот предел, происходят неизбежные искажения данных. Но если скорость ниже этого предела, то можно приближаться к нему с необходимой точностью, обеспечивая сколь угодно малую вероятность ошибки передачи информации в зашумленном канале.

После кончины Клода Шеннона, которая наступила в субботу 24 февраля 2001 года в Медфорде, его вдова Бетти и фотограф Артур Левбел (англ. *Arthur Lewbel*) в мае 2001 года сфотографировали обстановку помещений покидаемого дома у озера Mystic. [14]











Бетти Шеннон и "играющий" на кларнете скелет у винтовой лестницы дома, на чердаке которого хранились неопубликованные труды К. Шеннона

В 2001 году были открыты ещё пять скульптур Клода Шеннона работы Daub, которые установлены в различных местах Соединенных Штатов, связанных с его жизнью и деятельностью: Shannon Laboratory AT&T, Bell Labs, бывшую тогда подразделением корпорации Lucent Technologies, Калифорнийский университет в Сан-Диего (англ. *San Diego*), Мичиганский Университет и МТИ. [15]

Ни один ученый XX века не внес в теорию информации такого личного вклада, который хотя бы отдаленно был сопоставим со вкладом Клода Шеннона, которого без всяких преувеличений принято именовать отцом теории информации и научной криптографии. Полный список его трудов составляют 127 наименований [2], не все из которых опубликованы.

* * *

Пятнадцать минувших лет прошли под знаками возрастающего внимания благодарного человечества к памяти о Клоде Шенноне. В 2004 году его имя внесено в список Национального зала славы изобретателей (англ. National Inventors Hall of Fame, NIHF).

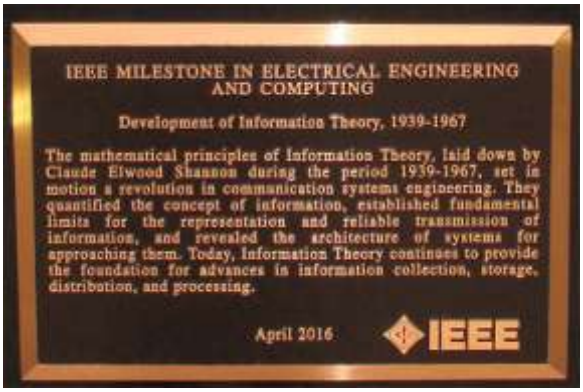


В 2009 году в Берлине вышла книга доцента Акселя Роча «Клод Шеннон: игрушки, жизнь и тайная история его теории информации. [9] 13 июня 2010 года в Берлинском музее связи состоялась церемония открытия выставки, посвящённой Шеннону. Выставку посетила его дочь Маргарита (Пегги), которой был вручен авторский экземпляр второго издания книги Акселя Роча.



В 2015 году Bell Labs, работающая тогда в квартале Ма́рри-Хи́лл (англ. Murray Hill) Манхэттена, стала дочерним подразделением Nokia Bell Labs знаменитой финской транснациональной компании Nokia, производителе телекоммуникационного оборудования для мобильных, фиксированных, широкополосных и IP-сетей. [16]

100-летие со дня рождения Клода Шеннона отмечается рядом памятных мероприятий в США и других странах. [17] В апреле в Bell Labs слева от его скульптуры работы Daub появилась памятная доска IEEE Milestone.



Математические принципы теории информации, изложенные Шенноном в 1939...1967 годах, стали революционными в инженерных системах связи. Они ввели понятие количества информации, установили основные пределы для представления и надежной передачи информации, а также приближённую архитектуру таких систем. Они и сегодня продолжают обеспечивать основу достижений в области сбора, хранения, распространения и обработки информации.



Наиболее значимым и интересным из проводимых с первой декады мая мероприятий стала состоявшаяся 7 мая 2016 года в Ма́рри-Хи́лл конференция, ↘ посвящённая памяти Клода Шеннона (англ. *Claude Shannon Centennial Conference*). Конференция, на которой среди множества участников было около



60 преподавателей и студентов, была организована Nokia Bell Labs и IEEE, открывшими памятник Шеннону в Ма́рри-Хи́лл. [18]







2 мая в Институте криптографии, связи и информатики Академии ФСБ России состоялась Межрегиональная олимпиада школьников по математике и криптографии «Клод Элвуд Шеннон. 100 лет со дня рождения».

1 июня в Московском колледже железнодорожного транспорта МИИТа состоялась студенческая конференция, посвященная столетию Клода Шеннона,

На 8 сентября в Математический институт им. В.А. Стеклова РАН запланирован семинар лауреата «Премии Шеннона», профессора А.С. Холево «К 100-летию Клода Э. Шеннона».

В очерке использованы иллюстрации [19], факты и кадры из фильма "Claude Shannon - Father of the Information Age" телестудии Калифорнийского университета (англ. University of California Television; UCTV).

Приложение 1

Но́рберт Ви́нер (англ. *Norbert Wiener*; 1894 – 1964)

Норберт Винер – американский учёный, выдающийся математик и философ, основоположник кибернетики и теории искусственного интеллекта. родился 28 ноября 18994 года в городе Колумбия, штат Массачусетс. Он был первым ребенком в еврейской семье Лео Винера и Берты Кан, эмигрантов из Польши.



Отец учёного, Лео Винер (1862 – 1939), родился в городе Белосток Российской империи, где учился в Минской и Варшавской гимназиях, затем поступил в Берлинский технологический институт, после окончания второго курса которого переехал в США, где в итоге стал профессором на кафедре славянских языков и литературы в Гарвардском университете. Родители матери Норберта, Берты Кан, были выходцами из Германии.

Норберт был вундеркиндом и никогда по-настоящему не учился в средней школе. В 11 лет он поступил в религиозный Колледж Тафтса, ныне университет (англ. Tufts University), который закончил с отличием через три года, получив степень бакалавра искусств.

В 18 лет Норберт Винер получил степени PhD по математической логике в Корнельском и Гарвардском университетах, а в девятнадцатилетнем возрасте он был приглашён на кафедру математики в Массачусетский технологический институт (МТИ).

В 1913 году молодой Винер, совершая путешествие по Европе, слушал лекции в Кембриджском и Гёттингенском университетах. Тогда будущему «отцу кибернетики» пришлось попробовать свои силы в роли журналиста университетской газеты и проработать пару месяцев инженером на заводе. После начала Первой мировой войны Винер возвращается в Америку. В 1915 году он пытался попасть на фронт, но не прошёл медкомиссию из-за плохого зрения.

В 1926 году Винер женился на Маргарет Энгерман (англ. *Engemann*). У них было две дочери.

В 1920...1930 годах Винер посещал Европу, где познакомился с Н. Бором, М. Борном, Ж. Адамаром и другими известными учёными. В теории радиационного равновесия звёзд появилось уравнение Винера-Хопфа. Он прочёл курс лекций в Пекинском университете.



Перед II мировой войной Винер стал профессором Гарвардского, Корнельского, Колумбийского и других университетов, легендарным заведующим кафедрой МТИ, ↘ написал сотни статей по теории вероятностей и статистике, рядам и интегралам Фурье, теории потенциала и теории чисел, по обобщённому гармоническому анализу.

Во время II мировой войны Винер создавал математический аппарат (детерминированные и стохастические модели) и разработал новую действенную вероятностную модель управления силами ПВО. Винер и его сотрудник Джулиан Байгелоу (англ. Julian Bigelow) разработали принцип "обратной связи", который был успешно применен при разработке оружия с радиолокационным наведением. В 1943 году вышла статья, мексиканского биолога Розенблюта, Винера и Байгелоу «Поведе-

ние, целенаправленность и телеология» (англ. Rosenbluelh A., Wiener N., Bigelow J. Behavior, Purpose and Teleology), представляющая собой набросок кибернетического метода.

«Кибернетика» Винера увидела свет в 1948 году. Полное название главной книги Винера – «Кибернетика: или управление и связь в животном и машине» (англ. *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*). С выходом в свет этой книги Винер "проснулся знаменитым". «*Появление книги*, – писал он, – *в мгновение ока превратило меня из ученого-труженика, пользующегося определенным авторитетом в своей специальной области, в нечто вроде фигуры общественного значения. Это было приятно, но имело и свои отрицательные стороны*».

Все годы после выхода этой книги Винер пропагандировал свои идеи. В 1950 году вышло продолжение «Кибернетики» – «Человеческое использование человеческих существ», в 1958 году – «Нелинейные задачи в теории случайных процессов», в 1961 году – второе издание «Кибернетики».

Заслуга Норберта Винера в том, что он впервые понял принципиальное значение информации в процессах управления. Говоря об управлении и связи в живых организмах и машинах, он, как и Шеннон, видел главное не просто в словах «управление» и «связь», а в их сочетании. Кибернетика – наука об информационном управлении, и Винера с полным правом можно считать творцом этой науки.



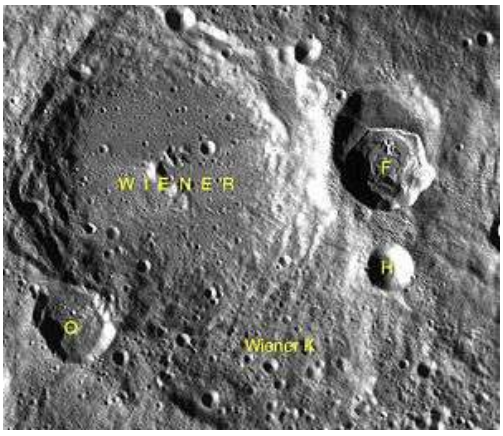
Норберт Винер и Клод Шеннон (1960) ↗

С 27 июня по 2 июля 1960 года, в Москве состоялся 1-й Международный конгресс ИФАК – Международной федерации по автоматическому управлению. В Москву приехали свыше 1200 ученых из 30 стран, что стало возможным только в условиях хрущевской "оттепели»", и это был первый шаг для прекращения изоляции советской науки. Это событие отразило интересы советской науки в области автоматического управления и кибернетики. 28 июня приглашенный на конгресс Норберт Винер прочитал в знаменитой Большой аудитории Политехнического музея лекцию «Волны головного мозга и самоорганизующиеся системы».

В последние годы пытливый ум Норберта Винера проник в биологию, нейрологию, электроэнцефалографию и генетику.

За несколько месяцев до смерти Норберт Винер был удостоен Национальной научной медали США, высшей награды для человека науки в США. На торжественном собрании, посвящённом этому событию, президент Джонсон произнёс: «*Ваш вклад в науку на удивление универсален, ваш взгляд всегда был абсолютно оригинальным, вы потрясающее воплощение симбиоза чистого математика и прикладного учёного*».

Винер – одни из немногих ученых, которые сами подробно написали о себе. Он опубликовал две замечательные книги о своей жизни и творчестве – «Бывший вундеркинд» (1951) и «Я – математик» (1956). В этих книгах он изложил также свои взгляды на развитие человечества, роль науки, ценность общения ученых.



Норберт Винер скончался 18 марта 1964 года в Стокгольме.
В его честь в 1970 году назван кратер на обратной стороне Луны. ➔

Приложение 2

БАНДВАГОН[1])

За последние несколько лет теория информации превратилась в своего рода бандвагон от науки. Появившись на свет в качестве специального метода в теории связи, она заняла выдающееся место как в популярной, так и в научной литературе. Это можно объяснить отчасти ее связью с такими модными областями науки и техники, как кибернетика, теория автоматов, теория вычислительных машин, а отчасти новизной ее тематики. В результате всего этого значение теории информации было, возможно, преувеличено и раздуто до пределов, превышающих ее реальные достижения. Ученые различных специальностей, привлеченные поднятым шумом и перспективами новых направлений исследования, используют идеи теории информации при решении своих частных задач. Так, теория информации нашла применение в биологии, психологии, лингвистике, теоретической физике, экономике, теории организации производства и во многих других областях науки и техники. Короче говоря, сейчас теория информации, как модный опьяняющий напиток, кружит голову всем вокруг.

Для всех, кто работает в области теории информации, такая широкая популярность несомненно приятна и стимулирует их работу, но такая популярность в то же время и настораживает. Сознавая, что теория информации является сильным средством решения проблем теории связи (и в этом отношении ее значение будет возрастать), нельзя забывать, что она не является панацеей для инженера-связиста и *тем более* для представителей всех других специальностей. Очень редко удается открыть одновременно

---

[1]) Shannon C., The Bandwagon, *Trans. IRE*, IT-2, № 1 (1956), 3. Слово бандвагон (bandwagon) в Америке означает политическую партию, добившуюся популярности и победившую на выборах, или просто группу лиц, программа которых находит широкую поддержку населения. Слово состоит из двух частей: «band» (оркестр, джаз) и «wagon» (повозка, карета) и, возможно, связано с существовавшим обычаем, по которому победивший на выборах кандидат проезжал по городу в открытой машине с джазом. Но, кроме того, слово «band» применяется в теории связи, где оно означает полосу пропускания частот, так что в этом заглавии есть некоторая игра слов.— *Прим. перев.*

несколько тайн природы одним и тем же ключом. 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.

Что можно сделать, чтобы внести в сложившуюся ситуацию ноту умеренности? Во-первых, представителям различных наук следует ясно понимать, что основные положения теории информации касаются очень специфического направления исследования, направления, которое совершенно не обязательно должно оказаться плодотворным в психологии, экономике и в других социальных науках. В самом деле, основу теории информации составляет одна из ветвей математики, т. е. строго дедуктивная система. Поэтому глубокое понимание математической стороны теории информации и ее практических приложений к вопросам общей теории связи является обязательным условием использования теории информации в других областях науки. Я лично полагаю, что многие положения теории информации могут оказаться очень полезными в этих науках; действительно, в ней уже достигнуты некоторые весьма значительные результаты. Однако поиск путей применения теории информации в других областях не сводится к тривиальному переносу терминов из одной области науки в другую. Этот поиск осуществляется в длительном процессе выдвижения новых гипотез и их экспериментальной проверки. Если, например, человек в определенной ситуации ведет себя подобно идеальному декодирующему устройству, то это является экспериментальным фактом, а не математическим выводом и, следовательно, требуется экспериментальная проверка такого поведения на широком фоне различных ситуаций.

Во-вторых, мы должны поддерживать образцовый порядок в своем собственном доме. На понятия теории информации очень большой, даже, может быть, слишком большой спрос. Поэтому мы сейчас должны обратить особое внимание на то, чтобы исследовательская работа в нашей области велась на самом высоком научном уровне, который только возможно обеспечить. Больше исследовать и меньше демонстрировать свои достижения, повысить требовательность к себе — вот что должно быть сейчас нашим лейтмотивом. Исследователям следует публиковать результаты только своих наиболее ценных работ и то лишь после серьезной критики как со своей стороны, так и со стороны своих коллег. Лучше иметь небольшое количество первоклассных статей, чем много слабо продуманных или недоработанных публикаций, которые не принесут чести их авторам и только отнимут время у читателей. Только последовательно придерживаясь строго научной линии, мы сможем достичь реальных успехов в теории связи и укрепить свои позиции.

Список литературы

1. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. Пер. с англ. под. ред. Р.Л. Добрушина и О.Б. Лупанова с пред. А.Н. Колмогорова. М.: Иностранная литература, 1963. – 829 с.
2. Sloane N.J.A. & Wyner A.D. Biography of Claude Elwood Shannon. In Claude Elwood Shannon 1916–2001: collected papers (ed. N.J.A. Sloane & A.D. Wyner). Piscataway, NJ: IEEE Press, 1993.– pp. xi–xvii. Режим доступа: http://rsbm.royalsocietypublishing.org/content/roybiogmem/55/257.full.pdf (дата обращения 16.08.2016).
3. Быховский М.А. Пионеры информационного века. История развития теории связи. Серия «История электросвязи и радиотехники». М.: ЗАО «РИЦ «Техносфера», 2006. – с. 189-198.
4. Самохин В.П. Памяти Томаса Эдисона// technomag.edu.ru: Наука и образование: электронное научно-техническое издание, 2011, вып. 12. Режим доступа: http://technomag.bmstu.ru/doc/282286.html (дата обращения 16.08.2016).
5. Shannon C.E. Development of communication and computing, and my hobby / Киотская лекция, 1985. Режим доступа: http://www.kyotoprize.org/wp/wp-content/uploads/2016/02/1kB_lct_EN.pdf. (дата обращения 16.08.2016).
6. Винер Н. Я – математик// Перевод на русский язык Ю.С. Родман и Н.А. Зубченко. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 336 с.
7. Паундстоун У. Камень ломает ножницы. Как перехитрить кого угодно: практическое руководство/ Уильям Паундстоун: пер. с англ. Ю. Гольдберга. – М.: Азбука Бизнес, Азбука-Аттикус, 2015. – 352 с.
8. Самохин В.П. Памяти Александра Белла// technomag.edu.ru: Наука и образование: электронное научно-техническое издание, 2012, вып. 2. Режим доступа: http://technomag.bmstu.ru/doc/347553.html. (дата обращения 16.08.2016).
9. Axel Roch. Claude E.Shannon: Spielzeug, Leben und die geheime Geschichte seiner Theorie der information//Berlin: gegenstalt Verlag, 2009. netzspannung.org: Электронная учебная платформа и онлайн-архив медиаарт.. Режим доступа: http://netzspannung.org/cat/servlet/CatServlet/$files/448684/shannon_preview.pdf (дата обращения 16.08.2016).
10. Axel Roch, Claude E. Shannon: Spielzeug, Leben und die geheime Geschichte seiner Theorie der Information, Berlin: gegenstalt Verlag, 2-е изд., 2010.
11. Edward O. Thorp. The Invention of the First Wearable Computer// cs.virginia.edu: Департамент Computer science Университета Вирджинии. Режим доступа: https://www.cs.virginia.edu/~evans/thorp.pdf (дата обращения 16.08.2016).

12. Oral-History: Claude E. Shannon http:// ethw.org: информационный ресурс The Engineering and Technology History Wiki. Режим доступа: ethw.org/Oral-History:Claude_E._Shannon (дата обращения 16.08.2016).
13. Marsland T.A. A Short History of Computer Chess// www.ualberta.ca: информационный ресурс Канадского университета Альберта. Режим доступа: https://webdocs.cs.ualberta.ca/~tony/OldPapers/ComputerChess-History.pdf (дата обращения 16.08.2016).
14. Серый Сергей. Клод Элвуд Шеннон// Минск: архив газеты «Компьютерные вести», № 21, 1998. Режим доступа: http://www.kv.by/archive/index1998211801.htm (дата обращения 16.08.2016).
15. Pictures from Claude Shannon's toy room. Photos by Arthur Lewbel and Betty Shannon// www2.bc.edu: Boston college personal web server sites. May, 2001. Режим доступа: https://www2.bc.edu/~lewbel/shanpics.html
16. Claude E. Shannon Statue Dedications// vhosts.eecs.umich.edu: Michigan ieee Processing Society web server site. Режим доступа: http://vhosts.eecs.umich.edu/shannonstatue/ (дата обращения 16.08.2016).
17. The Shannon Centenary// www.itsoc.org: информационный ресурс IEEE Information Theory Society. Режим доступа: http://www.itsoc.org/resources/Shannon-Centenary (дата обращения 16.08.2016).
18. Guizzo Erico. Bell Labs Looks at Claude Shannon’s Legacy and the Future of Information Age// spectrum.ieee.org: web server site. Режим доступа: http://spectrum.ieee.org/tech-talk/telecom/internet/bell-labs-looks-at-claude-shannon-legacy-future-of-information-age (дата обращения 16.08.2016).
19. Bell Labs Innovations albums// google.com/photos: web server site. Режим доступа: https://plus.google.com/photos/+BellLabsInnovations/albums/6280522105286247953 (дата обращения 16.08.2016).