

НОРБЕРТ ВИНЕР – ОСНОВОПОЛОЖНИК КИБЕРНЕТИКИ И ЕГО РОЛЬ В СОЗДАНИИ ТЕОРИИ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ТЕХНИКИ (К 130-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

А. К. Цыцулин, Е. М. Лыкова

АО «НИИ телевидения», Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Рассмотрено влияние идей основоположника кибернетики на развитие теории телевизионной техники. Показано важное для развития теории телевидения значение выдвинутых Н. Винером принципов: обратной связи, развёртки как преобразования многомерных сигналов в одномерный сигнал, оптимальной линейной фильтрации, статистического синтеза системы связи с учётом двух источников шума, связанных с дискретной структурой электричества и света. Показаны применения обратной связи внутри телевизионной системы и использования этих систем в контурах управления более крупными системами. Отмечена роль многомерной развёртки для создания спектрозональных систем дистанционного зондирования Земли. Подчеркнута роль фильтра Винера в видеотрактах с коррекцией линейных искажений. Выявлена роль предсказания Винера о решающем ограничении качества видеoinформации из-за фотонного шума и охарактеризованы исторические аспекты широкого влияния выдвинутых Н. Винером идей на теорию и практику телевизионных систем.

Ключевые слова: обратная связь, развёртка, телевизионная камера, статистический синтез, качество информации.

Для цитирования: Цыцулин, А. К., & Лыкова, Е. М. (2025). Норберт Винер – основоположник кибернетики и его роль в создании теории телевизионной техники (к 130-летию со дня рождения). *Ученые записки НовГУ*, 1(56), 147–160. [https://doi.org/10.34680/2411-7951.2025.1\(56\).147-160](https://doi.org/10.34680/2411-7951.2025.1(56).147-160)

Норберт Винер (1894–1964) справедливо считается пророком информационной эры, развития науки и техники в направлении управления. Он возродил термин «кибернетика» (1948) [Винер, 1983, с. 56], введённый в 1830 г. А.-М. Ампером (1775–1836), и не просто возродил термин Ампера, введённый в ходе осмысления управления государством, но расширил сферу его применения, распространив его на живые организмы и технические устройства. Новая парадигма, введённая и интенсивно пропагандируемая Н. Винером, выдвинула на главную роль понятие информации (*содержания, полученного из внешнего мира в процессе нашего приспособления к нему*) [Винер, 2003, с. 19].

Для освоения исследователями новой информационной парадигмы важно помнить мнение Н. Винера, что теория управления является частью теории информации [Винер, 2003, с. 18], и что автоматические вычислительные машины – это тоже форма систем связи [Винер, 2003, с. 593]. При этом на роль ядра теории управления Н. Винер выдвинул принцип обратной связи, которая «регулирует линию поведения, представляет ... то, что с одной стороны, известно как условный рефлекс, с другой – как познание» [Винер, 2003, с. 36]. Поэтому Н. Винер не отрывал управление от других информационных категорий и считал его срединным звеном между созданием информации с помощью органов чувств (физиологических или технических) и поведением. Н. Винер считал, что построил свою кибернетику, опираясь, в первую очередь, на статистическую теорию Дж. У. Гиббса (1839–1903), но

можно проследить происхождение его идей от философии Р. Декарта (1596–1650), включавшего в состав «орудий познания» разум, фантазию, чувство и память. Сегодня эта совокупность может трактоваться как объединение логической обработки информации и формирования управления на основе прогноза, т. е. экстраполяции наблюдений состояния окружающей среды. В физиологии предтечами кибернетики Винера были исследования и концепции связки чувств с поведением И. М. Сеченова (1829–1905) и И. П. Павлова (1849–1936).

С точки зрения кибернетической концепции последовательность действий, реализуемых в организме или технической системе, выглядит так: рождение информации органами чувств – логическая обработка наблюдений – прогноз состояния внешнего мира – управление – целенаправленное поведение.

Делая акцент на связке управления и поведения, Н. Винер уделял внимание и формированию информации с помощью органов чувств, в том числе зрения, и обсуждал создание «*машин с глазами и ушами*» [Винер, 1968, с. 312]. Очевидно, что в рукотворных системах глаза машины – это телевизионная техника, влиянию идей Винера на которую посвящена данная статья.

Воздавая должное таланту Норберта Винера в его математических исследованиях и кибернетических прогнозах, активности в продвижении новой информационной парадигмы, рассмотрим, как взгляды Н. Винера, изложенные в работах в его работах, соотносятся с развитием техники телевидения – какие прогнозы удались, какие не имели должного основания, какие имели кратковременное, а какие стратегическое значение.

Центральная идея кибернетики – принцип обратной связи

«Термин “обратная связь” применяется <...> для обозначения того, что поведение объекта управляется величиной ошибки в положении объекта по отношению к некоторой специфической цели» [Винер, 1968, с. 299]. Концепция обратной связи – ядра кибернетики – переплелась с телевидением, породив две ветви [Полоник, 1971, с. 27]: телевизионные системы как датчик в *автоматической* системе (наведения, стабилизации, ориентации; «очувствлённые» роботы), и автоматика внутри телевизионной системы – автоматическая регулировка усиления (АРУ), автоматическая регулировка времени накопления (АРВН), автоматическая регулировка чувствительности (АРЧ), стабилизация температуры инфракрасных и малокадровых (преимущественно астрономических и космических) фотоприёмных матриц.

Можно считать, что именно Н. Винер прогнозировал создание *телевизионных автоматов* управления зенитным огнём и телевизионных головок самонаведения ракет, когда писал [Винер, 1968 с. 300]: «Предположим, что построена машина для поражения движущейся светящейся цели; траектория, описываемая машиной, регулируется направлением и силой света от цели...». Здесь же он обсуждал поведенческие аспекты управления ракетами и «умными» снарядами, связанные с устойчивостью работы обратной связи в плане недостаточности и избыточности управляющих сигналов.

Реализация идей Винера в части создания таких телевизионных автоматов – «машин с глазами» – обширна. Из этого множества следует выделить книгу [Катыс, 1971] космонавта и профессора МИРЭА Г. П. Катыса (1926–2017), посвящённую американскому опыту построения информационных систем, в том числе систем управления обитаемых и автоматических космических аппаратов с предисловием вице-президента АН СССР, директора Института проблем управления АН СССР Б. Н. Петрова (1913–1980), отмечающим приоритет советских космических автоматических систем. Непосредственно создание «машины для поражения движущейся светящейся цели» посвящены многие работы, в историческом аспекте важные из которых [Михалков, 1962; Лазарев, 1966].

Научное направление телевизионной автоматики, охватывающее две области – внешних и внутренних контуров обратной связи [Полоник, 1971], формализует приложение автоматического регулирования к телевизионным системам [Михалков, 1967], в частности, к контролю сближения и автоматической стыковки космических аппаратов [Брацлавец и др., 1973, с. 34; Умбиталиев, Цыцулин, 2017, с. 263].

Норберт Винер уделял внимание обратной связи, которая была известна в механике со времён Дж Уатта (1736–1819), а в радиотехнике впервые была применена ещё в эпоху механического телевидения в виде АРУ (Г. Уилер (1903–1996), 1925; К. Купфмюллер (1897–1977), 1928; Г. П. Тартаковский (1923–2006) – обобщение работ по АРУ [Тартаковский, 1957]). Применение обратной связи в эпоху электронного телевидения позволило реализовать АРЧ путём управления временем накопления сигнала изображения и напряжениями на электродах электронно-лучевых передающих трубок [Зворыкин, Мортон, 1956].

В твердотельном телевидении, заметно позже провозглашения принципа обратной связи как ключевого принципа кибернетики, АРЧ в фотоприёмных матрицах для обеспечения широкого диапазона изменения освещённости наблюдаемых сцен получила массовое применение в телекамерах в виде АРВН [Cvetkovic et al., 2010].

Принцип развёртки изображения

Телевизионная развёртка имеет глубокие корни. Так, Р. Декарт отмечал, что «слабость памяти нужно возместить неким последовательным движением мысли», его последователь Г. В. Лейбниц (1646–1716) писал, что «разум не может мыслить сразу о многих вещах».

Эту идею принципиальной необходимости развёртки акцентировал К. Шеннон (1916–2001), писавший [Шеннон, 1963, с. 44], что метод отображения точек квадрата в точки на линии («*принадлежащий математику Г. Кантору*» (1845–1918)) позволяет, хотя и с неизбежными разрывами, построить изображение в телевидении – с разделением сигнала на строки и кадры.

Основы теории информации создавались одновременно двумя математиками – Н. Винером и К. Шенноном, и осмысление телевизионной развёртки Норбертом Винером в том же 1948 г. совершенно созвучно словам К. Шеннона: «И как область на обычной двумерной плоскости покрывается в телевидении процессом развёртки, позволяющим представить целое множество выборочных точек, распределённых

более или менее равномерно по области, точно так же и любую область в групповом пространстве, включая само пространство, можно представить с помощью процесса групповой развёртки» [Винер, 1983, с. 213].

Последние слова этой цитаты являются предвидением методов развёртки в цветном, многоспектральном, гиперспектральном, объёмном телевидении, где развёртка принимаемого светового потока осуществляется не только по пространству и по времени, но и по длине волны света [Быховский, 2006]. Такая многоканальная развертка по разным аргументам должна осуществляться с учетом ограниченной плотности потока фотонов и поддерживать постоянство количества света в многомерной ячейке накопления по площади, времени и длине волны. При этом отмечается [Быховский, 2006, с. 300], что Н. Винер в статье [Винер, 1969, с. 111–150] «обобщил свою теорию на многомерный случай, когда несколько линейных комбинаций N-сигналов передаются по M каналам связи, в каждом из которых действуют шумы».

Богатая ассоциативная память, необходимая для учёного, позволила Норберту Винеру отметить: «На меня произвели большое впечатление первые успехи телевидения и принцип развёртки, позволяющий выразить функцию двух или более переменных через одну переменную времени... такая техника развёртки составляла существенную часть любого механизма для анализа дифференциальных уравнений в частных производных. Мне сразу было ясно, что методы развёртки означают огромное сжатие большого количества информации, рассеянной по нескольким переменным, в информацию, содержащуюся в одной переменной времени... идея цифровой вычислительной машины и её отношения к развёртке уже созревала в моем уме [Винер, 1969, с. 10].»

Н. Винер даже полагал, что «процесс развёртки, применяемый в телевидении... принесёт технике больше пользы именно созданием таких новых процессов, чем само по себе, как особая отрасль» [Винер, 1968, с. 45]. Эту мысль можно критиковать, но можно и считать пророческой – в том смысле, что в настоящее время, через три четверти века после её написания, не менее, чем в телевидении, развёртка применяется в компьютерной технике.

Имеются серьёзные перекрёстные связи идеи Н. Винера о развёртке с пониманием физиологии человеческого мозга. Так, он писал [Винер, 1968, с. 71]: «Идея развёртки, позволяющей производить сравнение между исследуемой фигурой и данной стандартной фигурой фиксированного, но совсем другого размера, уже предлагалась мною... это схема четвёртого слоя зрительной коры головного мозга... МакКаллок и Питтс разработали теорию, связывающую анатомию и физиологию зрительной коры, в которой операция развёртки... играет большую роль. Процесс последовательного перебора занимает определённый период времени, соответствующий так называемому "времени развёртки" в обычном телевидении». Научное направление, объединяющее методы физиологии и телевидения, в настоящее время тяготеет к ориентации на нейронные сети, и породило *нейроиконику*, посвящённую обработке изображений в естественных и искусственных нейронных сетях [Шелепин, 2017].

При всей своей прозорливости в отношении телевидения Норберт Винер порой допускал субъективные суждения. Так, он не обратил внимание на ключевую роль принципа *накопления* сигналов изображения в фотоприёмниках, которое, в частности, обсуждалось в послесловии С. И. Катаева (1904–1991) к русскому переводу книги В. К. Зворыкина (1888–1982) [Зворыкин, Мортон, 1956, с. 770–771]. Поэтому вместо накопления сигналов писал об их умножении: «В организмах правилом является не временное, а пространственное умножение; временные достижения бедны — самые быстрые нервные волокна могут проводить только около тысячи импульсов в секунду; пространственное же умножение обильно и изумительно в своей компактности» [Винер, 1968, с. 304].

Следующие далее слова Н. Винера нуждаются в особом комментарии. Он пишет: «*Это различие хорошо иллюстрируется сравнением телевизора и глаза*». Действительно, употреблённые Н. Винером слова «*television receiver*» чаще всего имеют смысл и переводятся как «телевизор», однако последующий текст, обсуждающий сетчатку глаза, выявляет необходимость перевода этого словосочетания как «телевизионная камера». Переводчики дают текст так: «*телевизор можно рассматривать как одоколбочковую сетчатку*», но очевидно, что экран телевизора излучает свет, воспринимаемый зрением, а сетчатка в этом рассмотрении — чувствительный элемент телевизионной камеры. А то, что Н. Винер пишет об «одноколбочковой» сетчатке, отражает лишь то, что он своё рассуждение в 1948 г. строит на основе принципов механического телевидения, использующего диск П. Нипкова (1860–1940) в совокупности с одноэлементным фотоприёмником. Механическое «одноколбочковое» телевидение, широко использовавшееся в 1920-е годы, после 1933 года — демонстрации В. К. Зворыкиным полностью электронной телевизионной системы — в телевизионном вещании ушло в историю.

Далее Н. Винер почему-то пишет: «*образы формируются развёрткой, т. е. регулярным последовательным детектированием сигнала со скоростью около 20 миллионов в секунду*». Дело в том, что в механическом телевидении типичным было число элементов разложения 40×30 при 12 кадрах в секунду, что соответствует скорости передачи примерно 15 тысяч отсчётов в секунду — более, чем в тысячу раз меньше значения, указанного Н. Винером. Но на основе своего рассуждения Н. Винер приходит к выводу: «*Вместо единственной колбочки телевизора мы находим в человеческом глазу около шести с половиной миллионов колбочек и около ста пятнадцати миллионов палочек*». [Винер, 1968, с. 304]. Хотя он и не заметил перехода от механического телевидения к электронному, и его вывод о неприемлемости развёртки в биологических системах получен из плохо обоснованных посылок, можно сказать, что его стремление к обоснованию полезности и наличия высокой чёткости зрения в современном телевидении нашло отражение в создании систем высокой и сверхвысокой чёткости.

Ещё одно не вполне корректное суждение Н. Винера о телевидении относится также к механической развёртке [Винер, 2003, с. 370]: «*О телевидении начали говорить ещё в прошлом столетии, так что сама по себе эта идея не представляла ничего нового, однако в двадцатые годы телевизионные установки только начинали превращаться из примитивных устройств, использующих селеновые элементы, в практичные и*

быстродействующие фотоэлектрические аппараты». Эта мысль отражает исторический переход в рамках механической развёртки в 1920-е годы на основе диска Нипкова от селеновых одноэлементных фотоприёмников к фотоэлементам А. Г. Столетова (1839–1896), усовершенствованных в 1936 г. Л. А. Кубецким (1906–1959) с переходом к фотоэлектрическому умножителю. По быстродействию эти два типа одноэлементных фотоприёмников были соизмеримы, а упоминаемые Винером «*быстродействующие фотоэлектрические аппараты*» – это, на самом деле, только электронно-лучевые трубки с многоэлементным накоплением, и первым из практически реализованных стал иконоскоп Зворыкина (1933).

Статистический синтез: фильтрация сигналов из шумов

Сглаживание результатов наблюдений, восходящее к обоснованию аналитических зависимостей движения планет И. Кеплером (1571–1630), получило серьёзное математическое обоснование в работах «короля математиков» К. Ф. Гаусса (1777–1855). В его работах уже содержались главные компоненты *статистического анализа* неизвестных зависимостей – метод наименьших среднеквадратических отклонений и аппроксимация функции распределения ошибок «колокольной» кривой, впоследствии названной гауссовским распределением. Этот метод обработки наблюдений быстро стал главным, и выдающийся математик и физик А. Пуанкаре (1854–1912) хотя и отмечал, что «*метод наименьших квадратов является законным не во всех случаях*», считал, что лучшее, что можно сделать при обработке наблюдений – это применить метод Гаусса. Вторя ему, Н. Винер писал «наиболее естественной величиной, с которой мы начали, является средний квадрат ошибки прогнозирования» [Винер, 2003, с. 568]; подробный комментарий к выбору критерия среднеквадратической ошибки дан в работе [Шеннон, 1963]. Важный шаг в приложении метода наименьших квадратов к *анализу* сигналов сделал А. Н. Колмогоров, обобщив его на анализ не только случайных помех, но и случайных сигналов [Колмогоров, 1941].

Важным вкладом Н. Винера в статистическую теорию является переход от анализа к *синтезу оптимальных* систем обработки смеси случайных сигналов и шумов. Этот шаг, сделанный им в секретном отчёте (1942) и, изложенный в 1949 г. в виде книги [Wiener, 1949], не просто содержит ранее полученные А. Н. Колмогоровым оценки минимально возможной ошибки оценивания, но формализует оптимальный линейный *фильтр*. Он формализован в виде интегрального уравнения Винера–Хопфа, и изложен на более понятном инженерам языке частотных характеристик Бодэ и Шенноном [Шеннон, 1963]. Поэтому линейная фильтрация по критерию минимума среднеквадратической ошибки носит имена Колмогорова–Винера, но фильтр, с помощью которого она достигается – это фильтр Винера. Важно, что вместе с фильтром Д. О. Норта для выделения из шумов сигналов известной формы (1943) фильтр Винера, как отмечал сам Н. Винер [Винер, 2003, с. 377], стал «исток» того, что «в настоящее время теория связи почти вся является статистической».

Вместе с тем в телевидении статистическая *теория синтеза* с её основами, заложенными А. Н. Колмогоровым, Н. Винером и Д. О. Нортом, долго не применялась.

В частности, это связано с тем, что создатель электронного телевидения В. К. Зворыкин излагал основы телевидения исключительно на языке физических эффектов и методов.

Эта тенденция построения телевизионных систем без учёта результатов Н. Винера продержалась достаточно долго [Брауде, 1967].

Но наступило время смены парадигмы, было осознано, что телевидение – это связь, передача *информации*, и пора брать на вооружение методы теории информации [Лебедев, Цуккерман, 1965; Брацлавец и др., 1973]. Но телевизионная система – многозвенная, и её модель сложнее, чем рассмотренная Н. Винером схема приёма зашумлённого сигнала [Wiener, 1949]. Поэтому попытки прямого применения этой модели при построении *теории* телевидения наткнулись на препятствие [Лебедев, Цуккерман, 1965, с. 304]: «так как фильтр Винера подавляет высокочастотные компоненты спектра, по-видимому, линейная фильтрация в случае телевизионных сообщений вообще не может привести к существенному улучшению верности воспроизведения». На практике же была иная ситуация: во-первых, ко времени выхода книги уже очень много лет в каждой телекамере применялась апертурная коррекция, компенсирующая подавление высоких частот при считывании сигнала с фотоприёмника. Во-вторых, как отмечено и в книге *«высокие частоты подвергаются предварительному усилению относительно низких частот на передающей стороне»* [Лебедев, Цуккерман, 1965, с. 304]. Поэтому для корректного приложения теории к практике необходимо было ввести в модель фильтр, искажающий полезный сигнал до воздействия на него шума. Этот шаг сделан Дж. Костасом [Костас, 1952]. Дж. Костас сделал существенно больше, чем простое введение фильтра до воздействия шума – он поставил и решил задачу борьбы с шумом в два этапа, до воздействия шума и после его воздействия. Конечно, это задача имеет смысл при наличии некоторого ограничения, и Костас выбрал ограничение мощности сигнала на выходе кодирующего фильтра, принятое в качестве простейшего примера К. Шенноном [Шеннон, 1963]. Решение поставленной задачи кодирования сигналов по критерию минимума среднеквадратической ошибки в гауссовском канале с помощью линейной фильтрации, естественно, приводит к тому, что оптимальный декодирующий фильтр является фильтром Винера, который формализуется одинаково для случаев доступности или недоступности оптимизации первого, кодирующего фильтра [Цыбаков, 1962, с. 375].

Приложение теории линейной фильтрации и кодирования к практике телевидения связано с разрешением противоречия: теория Н. Винера [Wiener, 1949] построена для стационарных случайных сигналов с *известными* статистиками. Конечно, это был важный, необходимый шаг, но *«довольно быстро исследователи поняли, что полная априорная определённость <в том числе стационарность> является экзотикой применительно к практическим задачам»* [Репин, Тартаковский, 1977 с. 304]. Потребовался следующий шаг – адаптация информационных систем. В телевизионной технике – это адаптация системы и к сцене, наблюдаемой телекамерой, и к свойствам канала связи [Бордуков, 1971]. Если для радиоканалов (и для многих аспектов радиолокации), имеющих дело с одномерными сигналами, методология адаптации [Репин, Тартаковский, 1977] вполне логично применима, то для телекамер

потребовалась формализация как мер нестационарности сюжета, так и методов адаптации и к освещённости сцены, и к динамическим свойствам наблюдаемых сцен.

Трудности приложения результатов Норберта Винера [Wiener, 1949], к теоретическому и инженерному синтезу информационных систем были не только из-за неадекватности моделей реальным телевизионным системам. Были отмеченные выше продолжительные дискуссии о применимости критерия минимума среднеквадратической ошибки, опирающиеся не только на авторитетные мнения А. Пуанкаре и К. Шеннона [Шеннон, 1963], но и на имеющиеся нелинейности фотоприёмников, приёмных телевизионных трубок и зрения (напр., [Лебедев, Цуккерман, 1965]).

Важным пунктом преткновения на пути более широкого приложений теорий Н. Винера по линейной фильтрации [Wiener, 1949] и теории информации [Винер, 1968] оказалось то, что достигаемый минимум среднеквадратической ошибки в линейном кодировании Костаса [Костас, 1952] не обеспечивал информационного согласования, т. е. равенства скорости создания информации и пропускной способности канала связи [Цыбаков, 1962]. Действительно, средний квадрат ошибки не универсален, и его, говоря словами Н. Винера, «естественность» в модели линейной фильтрации [Wiener, 1949] обусловлена согласованностью с априорной информацией в виде гауссовского распределения сигналов и шумов без какого-либо ограничения. А ограничение мощности, принятое Дж. Костасом по примеру К. Шеннона, оказалось чужеродным для информационного согласования источника и канала связи (равенства энтропии и пропускной способности). Потребовалось введение понятия *сопряжённых триад* – априорной информации, критерия качества и ограничения [Зубакин и др., 2008, с. 9–27; Цыцулин и др., 2014, с. 39]. Приведение такого гауссовского канала к сопряжённой триаде потребовало смены ограничения – вместо использованного К. Шенноном ограничения мощности, взятого им для примера, для достижения информационного равновесия в гауссовском канале по модели Дж. Костаса оказалось достаточным использовать ограничение широкополосности кодирующего фильтра. Так теория фильтрации Н. Винера в совокупности с теорией кодирования К. Шеннона стала предтечей *уравнения связи*. Говоря словами К. Шеннона, его работы и работы Н. Винера позволили значительно глубже понять проявление шума и важность статистических свойств сигналов. Аналогично уравнение связи позволило глубже понять роль сопряжения априорной информации, критерия качества и ограничения для достижения оптимальности системы не только для минимизации среднеквадратической ошибки, но и для информационного равновесия.

Учёт входного фотонного шума в работах Н. Винера – предтеча принципа доминантной информации

Отмеченная выше неполнота модели, принятой Н. Винером в работе [Wiener, 1949], имеет для телевизионной техники ещё один важный аспект – реальные световые сигналы всегда сопровождаются фотонным шумом. В соответствии с широтой взглядов не только в математике, но и в физике, Норберт Винер предсказал необходимость учёта не только шума канала (называемого им фоновым), но и входного шума [Винер, 2003, с. 47.]: «Фоновый шум может показаться неизбежным, так как он

зависит от дискретного характера токонесущих электронов, и всё же он имеет определённую мощность разрушающей информации». Здесь переводчик должен был написать «разрушающую информацию», Н. Винер имел в виду только разрушение, потерю полезной информации – никакой другой информации в то время не знали. Далее Н. Винер продолжает начатое выше рассуждение: «Следовательно, цепь требует известного объёма коммуникативной мощности». Этот вычурный термин переводчиком употреблён вместо корректного понятия «мощности, передаваемой передатчиком в канал связи»). И далее следует чёткий, имеющий огромное прогностическое значение, вывод Н. Винера: «Гораздо более принципиальное значение имеет тот факт, что сам свет имеет атомарное строение».

На этот вывод практически не было обращено внимание научной и технической общественности (в первую очередь в области телевидения; бурное развитие оптической связи было ещё впереди), т. к. изначально главным источником шумов в телевизионной камере считался шум усилителя. Шум фотонов в телекамере, проявляющийся в том, что шум на светлых участках изображения больше, чем на тёмных, был обнаружен чуть позже обнаружен в телекамерах с усилителями яркости при малых освещённостях («ночное видение») [Роуз, 1977] и в малокадровых телекамерах благодаря оптимизации входного звена усилителя и полосы частот [Фантиков, 1971, с. 87–98]. Благодаря росту чувствительности фотоприёмников при переходе к твердотельным матрицам в настоящее время то, что шум в «белом» больше шума в «чёрном» даже без использования усилителей яркости, стало обыденным явлением.

Мысль Норберта Винера о роли входного шума крайне важна: она «отменяет» стремление создателей канала связи к нулевой ошибке передачи – ведь если ошибка в сигнале неизбежна (ненулевая ошибка на выходе фильтра Винера [Wiener, 1949; Шеннон, 1963]), то не имеет смысла ценой огромных затрат памяти и времени сводить часть ошибок – из-за шума канала – к нулю.

Введение входного шума в модель системы связи показало [Добрушин, Цыбаков, 1963, с. 21–42], что при гауссовских сигналах первым звеном кодирующего устройства должен быть фильтр Винера. При этом с пропускной способностью канала должна согласовываться энтропия оптимальной оценки сигнала, формируемой фильтром Винера.

Таким образом, учёт входного шума привёл к гораздо более существенным последствиям для теории связи и, в частности, телевидения. Ведь без его учёта ключевым тезисом для обработки зашумлённых сигналов считалось утверждение (иногда называемое теоремой Винера), что никакая обработка не может увеличить количества информации, и всё, что можно сделать – это постараться донести её потенциальное значение, определяемое формулами Н. Винера и К. Шеннона, до получателя, превратив неравенство в этой теореме в равенство. Эта парадоксальная ситуация делает бессмысленной обработку зашумлённых сигналов с точки зрения теории информации, осмысленную с точки зрения энергетического показателя среднеквадратической ошибки. Ещё более неприятная ситуация возникает из-за того, что для передачи конечного количества полезной информации требуется передача

бесконечного количества информации, содержащейся в смеси полезного сигнала и шума – и в оптимальной оценке, формируемой фильтром Винера.

Разрешение этого парадокса осуществляется с помощью принципа доминантной информации [Хромов, 2011, с. 6–31], ядром которого является аксиома априорного равноправия воздействий на входе системы. Это означает, что необходимо учитывать по крайней мере два вида взаимной информации – доминантной и шумовой. И теорема Винера о невозможности увеличения количества информации о зашумлённом сигнале справедлива: только надо распространить её и на шумовую информацию, перейдя к системе неравенств. Тогда и станет ясным, что цель обработки зашумлённого сигнала с точки зрения теории информации состоит в разном подавлении доминантной и шумовой: доминантную нужно постараться максимально донести получателю, шумовую – подавить. Формализуется такая операция достаточно просто с помощью критерия минимума информационного риска, состоящего из потери доминантной информации и просочившейся шумовой информации. С помощью этого критерия можно охарактеризовать качество информации [Цыцулин и др., 2014], донесённой до получателя, что и выводит информацию из положения скалярной величины, которой, по утверждению А. Н. Колмогорова, она не является.

Совокупность идеи Н. Винера о роли фотонного шума [Винер, 2003] и экспериментов [Фантиков, 1971, с. 50–56; Роуз, 1977] послужили отправной точкой для перехода к новой модели системы связи, для которой потребовалась новая аксиоматика и которая помогла сформулировать новые законы теории информации [Хромов, 2011; Умбиталиев, Цыцулин, 2017]. Законы, а не теоремы, так как рассуждения *математика* Н. Винера о *физической* причине входного (фотонного) шума включают принцип доминантной информации в арсенал не только математических, но и физических теорий.

Не останавливаясь на всепроникающей роли кибернетики, надо констатировать, что пророчества и предчувствия Норберта Винера имеют широкие приложения к технике телевидения, причём имеют различную прогностическую мощь. К наиболее важным для телевизионной техники его идеям относятся:

- внедрение идеи статистического синтеза в теорию связи и теорию управления, методологическая подготовка создания теории оптимального линейного кодирования в гауссовском канале как основы, в частности, теории телевидения;
- синтез оптимальных линейных фильтров для выделения случайных сигналов на фоне шумов на основе их статистических свойств по критерию минимума среднеквадратической ошибки, что послужило основой построения, в частности, оптимальных устройств апертурной коррекции видеосигнала, применяемой в каждой телевизионной камере;
- подчёркивание фундаментальной роли развёртки и углубление математических основ теории обработки многомерных сигналов, отмеченной Шенноном как принадлежность преобразования многомерных сигналов в одномерные к топологии, что в конечном счёте привело к формализации синтеза оптимальных многоспектральных телевизионных систем;

- обращение внимания создателей телевизионных систем на фундаментальную роль входного фотонного шума, учёт которого привёл к принципу доминантной информации, опирающемуся на наличие взаимной информации между выходным сигналом системы и входными воздействиями полезного сигнала и шума, формализующего законы взаимообмена между полезной и шумовой информацией, и приближающему построенную Н. Винером и К. Шенноном теорию передачи информации к тому, что Винер считал, что информация – это «содержание полученного из внешнего мира в процессе нашего приспособления к нему» [Винер, 2003], максимально защищённому от воздействия как шума канала, так и входного шума.

В целом эти тезисы, полезные для теории телевизионной техники, можно охарактеризовать словами самого Норберта Винера [Винер, 2003, с. 596]: «Изобретатель, как практик, должен иметь практическое чутьё, подсказывающее ему, что в течение многих лет его основным достижением будет не изобретение какого-либо устройства, а содействие рождению нового круга идей, касающихся широкого класса технических устройств прошлого, настоящего и будущего».

Литература и источники

- Бордуков, Г. С. (1971). Телевизионные системы с перестраиваемыми параметрами. *Техника кино и телевидения*, 4, 50–56.
- Брауде, Г. В. (1967). *Коррекция телевизионных и импульсных сигналов*. Москва: Связь.
- Брацлавец, П. Ф., Росселевич, И. А., & Хромов, Л. И. (1973). *Космическое телевидение: некоторые вопросы теории и практики построения систем космического телевидения*. Москва: Связь.
- Быховский, М. А. (2006). *Пионеры информационного века: история развития теории связи*. Москва: Техносфера.
- Винер, Н. (1968). *Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине* (И. В. Соловьёв, Г. Н. Поваров, пер.). Москва: Наука.
- Винер, Н. (1969). *Моё отношение к кибернетике: её прошлое и будущее* (Г. Н. Поваров, пер.). Москва: Советское радио.
- Винер, Н. (2003). *Творец и будущее* (Е. Г. Панфилов, пер.). Москва: АСТ.
- Добрушин, Р. Л., & Цыбаков, Б. С. (1963). Передача информации с дополнительным шумом. *Проблемы передачи информации*, 14, 21–42.
- Зворыкин, В. К., & Мортон, Д. А. (1956). *Телевидение: вопросы электроники в передаче цветного и монохромного изображений*. Москва: Изд-во иностранной литературы.
- Зубакин, И. А., Фахми, Ш. С., & Цыцулин, А. К. (2008). Решения уравнения связи. *Вопросы радиоэлектроники. Серия. Техника телевидения*, 2, 3–22.
- Катыс, Г. П. (1971). *Информационные системы исследовательских аппаратов*. Москва: Энергия.
- Колмогоров, А. Н. (1941). Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей. *Известия АН СССР. Серия математическая*, 5(1), 3–14.
- Лазарев, Л. П. (1966). *Инфракрасные и световые приборы самонаведения и наведения летательных аппаратов*. Москва: Машиностроение.
- Лебедев, Д. С., & Цуккерман, И. И. (1965). *Телевидение и теория информации*. Москва; Ленинград: Энергия.
- Михалков, К. В. (1962). Телевизионная техника на космических снарядах. *Системы промышленного телевидения* (с. 205–237). Москва; Ленинград: Госэнергоиздат.
- Михалков, К. В. (1967). *Основы телевизионной автоматики*. Ленинград: Энергия.
- Полоник, В. С. (1971). Развитие методов телевизионно-вычислительной автоматики. *Автоматический контроль с помощью средств телевизионной вычислительной техники*. Москва: Издательство стандартов.

- Репин, В. Г., & Тартаковский, Г. П. (1977). *Статистический синтез при априорной неопределённости и адаптация информационных систем*. Москва: Мир.
- Роуз, А. (1977). *Зрение человека и электронное зрение* (А. А. Гиппиус, пер.). Москва: Мир.
- Тартаковский, Г. П. (1957). *Динамика систем автоматической регулировки усиления*. Москва; Ленинград: Госэнергоиздат.
- Умбиталиев, А. А., & Цыцулин, А. К. (Ред.). (2017). *Теория и практика космического телевидения*. Санкт-Петербург: НИИ телевидения.
- Фантиков, О. И. (1971). Построение маломощных видеоусилителей для узкополосных телевизионных видиконных систем. *Вопросы радиоэлектроники. Серия. Техника телевидения*, 3, 87–95.
- Хромов, Л. И. (2011). Основания космической видеоинформатики. *Вопросы радиоэлектроники. Серия. Техника телевидения*, 1, 6–31.
- Цыбаков, Б. С. (1962). Линейное кодирование сообщений. *Радиотехника и электроника*, 7(1), 375–385.
- Цыцулин, А. К., Адамов, Д. Ю., Манцветов, А. А., & Зубакин, И. А. (2014). *Твердотельные телекамеры: накопление качества информации*. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ».
- Шелепин, Ю. Е. (2017). *Введение в нейроинику*. Санкт-Петербург: Троицкий мост.
- Шеннон, К. (1963). *Работы по теории информации и кибернетике* (пер.). Москва: Иностранная литература.
- Cvetkovic, S., Jellema, H., & de With, P. H. N. (2010). Automatic level control for video cameras towards HDR techniques. *EURASIP. Journal on Image and Video Processing*, 1, 1–30.
- Wiener, N. (1949). *Extrapolation, interpolation, and smoothing of stationary time series: with engineering applications*. Cambridge (MA): The MIT Press.

Статья публикуется впервые
Поступила в редакцию 31.10.2024
Принята к публикации 20.12.2024

Об авторах

Цыцулин Александр Константинович – доктор технических наук, профессор, АО «НИИ телевидения», Санкт-Петербург, Россия.
ORCID: 0009-0008-1065-6798; e-mail: tsysulin@niitv.ru

Лыкова Евгения Михайловна – заведующая музеем, АО «НИИ телевидения», Санкт-Петербург, Россия.
ORCID: 0009-0001-6243-9313; e-mail: museum@niitv.ru

NOBERT WIENER – THE FOUNDER OF CYBERNETICS AND HIS ROLE IN THE CREATION OF THE THEORY OF TELEVISION ENGINEERING (TO THE 130TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH)

Aleksandr K. Tsytsulin, Evgenia M. Lykova
JSC "Research Institute of Television", St. Petersburg, Russia

Abstract. In the paper, the influence of the ideas of the founder of cybernetics on the development of the theory of television technology is considered. The authors show the importance for the development of television theory of the principles put forward by Norbert Wiener, including feedback, scanning as a transformation of multidimensional signals into a one-dimensional signal, optimal linear filtering, statistical synthesis of the communication system taking into account two noise sources associated with the discrete structure of electricity and light. The applications of feedback inside the television system and the use of these systems in control loops of larger systems are demonstrated. The role of multidimensional scanning for the creation of spectrozonal systems for remote sensing of the Earth is noted. The role of the Wiener filter in video paths with correction of linear distortions is emphasized. The paper reveals the role of Wiener's prediction about the decisive limitation of the quality of video information due to photon noise. The historical aspects of the wide influence of the ideas put forward by Mr. Wiener on the theory and practice of television systems are characterized.

Keywords: feedback, scanning, television camera, statistical synthesis, information quality.

For citation: Tsytsulin, A. K., & Lykova, E. M. (2025). Nobert Wiener – the founder of cybernetics and his role in the creation of the theory of television engineering (to the 130th anniversary of the birth). *Memoirs of NovSU*, 1(56), 147–160. [https://doi.org/10.34680/2411-7951.2025.1\(56\).147-160](https://doi.org/10.34680/2411-7951.2025.1(56).147-160)

References

- Bordukov, G. S. (1971). Television systems with tunable parameters. *Film and television technology*, 4, 50–56. (In Russian).
- Bratslavets, P. F., Rosselevich, I. A., & Khromov, L. I. (1973). *Some issues of theory and practice of constructing space television systems*. Moscow: Svyaz Publ. (In Russian).
- Braude, G. V. (1967). *Correction of television and pulse signals*. Moscow: Svyaz Publ. (In Russian).
- Bykhovskii, M. A. (2006). *Pioneers of the information age: history of the development of communication theory*. Moscow: Tehnosfera Publ. (In Russian).
- Cvetkovic, S., Jellema, H., & de With, P. H. N. (2010). Automatic level control for video cameras towards HDR techniques. *EURASIP. Journal on Image and Video Processing*, 1, 1–30.
- Dobrushin, R. L., & Tsybakov, B. S. (1963). Information transmission with additional noise. *Problems of information transmission*, 14, 21–42. (In Russian).
- Fantikov, O. I. (1971). Construction of low-noise video amplifiers for narrow-band television video systems. *Radio electronics issues. Series. Television technology*, 3, 87–95. (In Russian).
- Katys, G. P. (1971). *Information systems of research vehicles*. Moscow: Energiya Publ. (In Russian).
- Khromov, L. I. (2011). The foundations of space video informatics. *Radio electronics issues. Series. Television technology*, 1, 6–31. (In Russian).
- Kolmogorov, A. N. (1941). Interpolation and extrapolation of stationary random sequences. *Izvestiya of the USSR Academy of Sciences. Mathematical series*, 5(1), 3–14. (In Russian).
- Lazarev, L. P. (1966). *Infrared and light devices for homing and guidance of aircraft*. Moscow: Mashinostroyeniye Publ. (In Russian).
- Lebedev, D. S., & Cukerman, I. I. (1965). *Television and information theory*. Moscow; Leningrad: Gosenergoizdat Publ. (In Russian).
- Mikhalkov, K. V. (1962). Television equipment on space shells. *Industrial television systems* (pp. 205–237). Moscow; Leningrad: Gosenergoizdat Publ. (In Russian).
- Mikhalkov, K. V. (1967). *Fundamentals of television automation*. Leningrad: Energiya Publ. (In Russian).
- Polonik, V. S. (1971). Development of methods of television and computer automation. *Automatic control by means of television computing equipment*. Moscow: Publishing House of Standards (In Russian).
- Repin, V. G., & Tartakovsky, G. P. (1977). *Statistical synthesis under a priori uncertainty and adaptation of information systems*. Moscow: Mir Publ. (In Russian).
- Rose, A. (1977). *Vision: human and electronic* (A. A. Gippius, Trans.). Moscow: Mir Publ. (In Russian).
- Shelepin, Yu. E. (2017). *Introduction to neuroiconics*. St. Petersburg: Troitskii most Publ. (In Russian).
- Shannon, K. (1963). *Works on information theory and cybernetics* (trans.). Moscow: Inostrannaya literatura Publ. (In Russian).
- Tartakovsky, G. P. (1957). *Dynamics of automatic gain control systems*. Moscow; Leningrad: Gosenergoizdat Publ. (In Russian).
- Tsybakov, B. S. (1962). Linear Message Coding. *Radio engineering and electronics*, 7, 375–385. (In Russian).
- Tsytsulin, A. K., Adamov, D. Yu., Mantsvetov, A. A., & Zubakin, I. A. (2014). *Solid-state cameras: accumulating information quality*. St. Petersburg: St. Petersburg Electrotechnical University “LETI” Publ. (In Russian).
- Umbitaliev, A. A., & Tsytsulin, A. K. (Eds.). (2017). *Theory and practice of space television*. St. Petersburg: NII televideniya Publ. (In Russian).
- Wiener, N. (1949). *Extrapolation, interpolation, and smoothing of stationary time series: with engineering applications*. Cambridge (MA): The MIT Press.
- Wiener, N. (1968). *Cybernetics, or Control and communication in the animal and the machine* (I. V. Solovyov, G. N. Povarov, trans.). Moscow: Nauka Publ. (In Russian).

- Wiener, N. (1969). *My attitude to cybernetics: its past and future* (G. N. Povarov, Trans.). Moscow: Sovetskoe radio Publ. (In Russian).
- Wiener, N. (2003). *The creator and the future* (E. G. Panfilov, Trans.). Moscow: AST Publ. (In Russian).
- Zubakin, I. A., Fahmi, Sh. S., & Tsytulin, A. K. (2008). Solutions of the coupling equation. *Radio electronics issues. Series. Television technology*, 2, 3–22. (In Russian).
- Zvorykin, V. K., & Morton, D. A. (1956). *Television: electronic issues in the transmission of color and monochrome images* (trans.). Moscow: Inostrannaya literatura Publ. (In Russian).

First Published
Received 31.10.2024
Accepted 20.12.2024

About the authors

Tsytulin Aleksandr Konstantinovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, JSC “Research Institute of Television”, St. Petersburg, Russia.

ORCID: 0009-0008-1065-6798; e-mail: tsytulin@niitv.ru

Lykova Evgenia Mikhailovna – Head of the Museum, JSC “Research Institute of Television”, St. Petersburg, Russia.

ORCID: 0009-0001-6243-9313; e-mail: museum@niitv.ru