

УДК.391.1

## ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

### *Корифеи теории цифровой связи*

Уважаемый читатель! 2008 год для теории цифровой связи можно считать трижды юбилейным. Действительно, 75 лет минуло с 1933 г., когда В.А.Котельников опубликовал фундаментальную теорему, получившую впоследствии его имя; 60 лет назад Клод Шеннон опубликовал свою работу, заложившую основы теории информации; и ровно 50 лет назад А.Г. Зюко сформировал базу современной теории эффективности цифровых телекоммуникационных систем. Эти юбилейные даты послужили поводом для решения редколлегии журнала опубликовать серию очерков, объединенных рубрикой «Корифеи теории цифровой связи» посвященную этим известным ученым. Очерки поручено подготовить члену редколлегии проф. Банкету В.Л. В № 2 журнала «Цифровые технологии» за 2007 год была опубликована статья об академике В.А.Котельникове и его «Теореме отсчетов», в № 3 журнала «Цифровые технологии» за 2008 год была опубликована статья о о Клоде Шенноне; в данном журнале читателю предлагается очерк о проф. А.Г.Зюко.

### А.Г.ЗЮКО ЗАВЕРШАЕТ ФОРМИРОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ

БАНКЕТ В.Л.

### A.G.ZUKO IS COMPLETING OF THE STATISTICAL DIGITAL TELECOMMUNICATION THEORY

V.L.BANKET

*Аннотация.* Изложена ретроспектива становления статистической теории цифровой связи.

*Abstract.* The retrospective review of the Statistical Digital Telecommunication Theory Development is given.

«Статистическая теория связи позволила поставить и решить целый ряд задач, которые до сих пор не решались или считались трудно разрешимыми. Основные проблемы техники связи (помехоустойчивость и эффективность)получили в этой теории наиболее полное решение».....

А.Г. Зюко, монография «Помехоустойчивость и эффективность систем связи»

Жизнь современного общества немислима без широкого использования разнообразных средств передачи информации по каналам телекоммуникаций. В начальный период своего развития теория передачи сообщений базировалась на детерминистском подходе, когда реальные процессы моделировались регулярными, т.е. однозначно определенными функциями. Однако применение вероятностных методов позволило найти более эффективные решения многих актуальных задач техники связи. Теория связи стала развиваться как *статистическая теория*, основу которой составили *теория помехоустойчивости и теория информации*. Как теория помехоустойчивости, так и теория информации относятся к тем областям человеческого знания, когда можно указать точную дату их рождения.

Теория помехоустойчивости обязана своим появлением диссертационной работе В.А. Котельникова "Теория потенциальной помехоустойчивости", блестяще защищенной на заседании Ученого совета Московского энергетического института в 1947 г. и опубликованной позже в виде монографии [1]. В ней была сформулирована и решена задача статистического синтеза оптимальных приемных устройств, определена предельная помехоустойчивость, которая может быть достигнута, но не может быть превзойдена. В дальнейшем теория помехоустойчивости легла в основу построения ряда новых методов передачи сигналов и послужила толчком для их внедрения и развития.

Год спустя в двух номерах известного американского журнала "*Bell System Tech. Journal*" была представлена основополагающая работа К. Шеннона "Математическая теория связи" [2]. В век возрастающей дифференциации человеческих знаний авторы этих работ продемонстрировали поучительные примеры удачного сочетания глубокой математической мысли и понимания конкретных проблем техники связи. Идеи К. Шеннона и В.А. Котельникова быстро завоевали признание и по праву составили основополагающий вклад в развитие статистической теории связи. И хотя ряд проблем окончательно не был решен, энергия многих исследователей в сфере телекоммуникаций была направлена в нужное русло.

В те годы многим были видны методологические различия теории помехоустойчивости и теории информации. Хотя объект исследования был один (канал с помехами), В.А. Котельников предлагал повышение помехоустойчивости систем связи на основе учета статистических свойств помех и теории статистических решений. Предложения К.Шеннона базировались на целенаправленном преобразовании передаваемых сообщений (кодировании). Первым, кто предпринял попытку объединения подходов Котельникова и Шеннона, был скромный молодой ученый А. Г.Зюко, в первой публикации которого были определены простые, понятные многим (и инженерам в том числе) показатели эффективности систем связи. Зюко определил понятие эффективность как степень использования основных ресурсов, отводимых в системах для передачи информации с заданными скоростью и верностью:

–*информационная эффективность* – степень использования пропускной способности канала;

–*энергетическая эффективность* – степень использования энергетического ресурса системы;

–*частотная эффективность* – степень использования полосы частот канала.

При всей кажущейся простоте этих показателей они объединяли в себе фундаментальные количественные характеристики процессов передачи информации по каналам с помехами, которые могли быть легко определены на основе теории информации и теории помехоустойчивости. При таком подходе оказалось возможным определить предельные значения эффективности, которые устанавливали границы совершенствования телекоммуникационных систем.

Обеспечение связи в глубоком космосе было первым конкретным случаем, когда инженеры воспользовались результатами теории эффективности. Космический канал хорошо описывался моделью канала с аддитивным белым шумом, и для такого канала в теории эффективности А.Зюко был готовый результат: энергетическая эффективность любого метода передачи не превышает величины  $1/\ln 2$ , что, по существу, позволяет определить предельную дальность космической связи). Эффективные, но сложные в реализации методы помехоустойчивого кодирования первоначально применялись в дорогостоящих космических проектах (1 дБ энергетического выигрыша за счет помехоустойчивого кодирования в те годы был эквивалентен снижению стоимости проекта примерно в 1 млн. дол. США).

К концу XIX столетия усилиями ученых и разработчиков были освоены методы корректирующего кодирования, обеспечивающие в каналах с постоянными параметрами *энергетический выигрыш* (5..6) дБ, что позволяло снизить диаметр спутниковой антенны в (1,5..2) раза либо довести скорость передачи данных по стандартному каналу тональной частоты до 28,8 кбит/с. Вместе с тем, до предела энергетической эффективности оставался *не-*

реализованный запас в (5.7) дБ. Достижения микроэлектроники инициировали попытки реализовать потенциально возможный выигрыш, невзирая на рост сложности декодирования. Недавно, были предложены *турбо-коды*, характеристики которых были столь впечатляющими, что реакцией сообщества специалистов по кодированию был абсолютный скептицизм. В основу построения алгоритмов декодирования положены идеи итеративного декодирования, неоднократно обсуждаемые в 80-е годы, но не реализованные тогда ввиду их сложности. Чем ближе к пределам, тем ошутимее факт: *практическая работа точно на пределе информационной эффективности невозможна*, ибо, в соответствии с теорией информации, время задержки, необходимое для обработки сообщений, стремится в этом случае к бесконечности и процесс передачи информации в этих условиях теряет смысл. Турбокодирование является примером конструктивного решения проблемы помехоустойчивого кодирования, сформулированной 60 лет назад. Будущее развитие техники связи покажет, где грань, перед которой следует остановиться и продвижение за которую практически нецелесообразно.

За истекшие 60 лет в рамках статистических подходов и теории эффективности возникли и получили должное развитие теоретические положения, методы и теории, широко используемые в настоящее время в сфере телекоммуникаций. Среди них, к примеру, следующие:

- Вероятностные модели сигналов, помех и каналов связи;
- Методы обеспечения надежной связи при передаче информации по ненадежным каналам;
- Теория сигналов, кодов и сигнально-кодовых конструкций для каналов различных типов;
- Методы кодирования источников и совместного кодирования источников и каналов;
- Теория и практические применения широкополосных сигналов;

**Андрей Глебович Зюко** (1918-1989) окончил Московский электротехнический институт связи (1947). В кандидатской диссертации (1952) применил положения теории информации к решению задач теории связи. Выступил с докладом на научной конференции НТОР и Э им. А.С. Попова, в котором ввел понятие информационной эффективности и дал сравнительную оценку систем связи по этому показателю. За использование термина «энтропия» подвергся критике и обвинениям в «идеологических грехах», но, благодаря поддержке акад. А. Харкевича тезисы доклада были опубликованы [3]. По окончании аспирантуры работал в Новосибирском электротехническом институте связи. Выпустил монографию «Помехоустойчивость и эффективность систем связи» [4]. Защитил диссертационную работу на соискание ученой степени доктора наук по этой тематике (1964). С 1965 г. работал в Одесском электротехническом институте связи им. А. С. Попова, заведя кафедрой теории электросвязи. В течение короткого периода сформировал кафедру, на которой гармонически сочетались прикладные знания с современной теорией. Создан новый курс «Теория передачи сигналов», на основе которого издан учебник (1972). Монография и учебник неоднократно переиздавались. Под руководством А. Г. Зюко на кафедре был развернут цикл научно-исследовательских работ и организована отраслевая научно-исследовательская лаборатория (1970). Основное направление – разработка новых методов передачи информации в спутниковых системах связи и вещания. На этой основе была сформирована научная школа, получившая признание в среде специалистов. Итоги этих работ обобщены в коллективной монографии под редакцией А. Г. Зюко «Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации» [5].

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ДОКУМЕНТОВ**

1. *Котельников В.А.* Теория потенциальной помехоустойчивости. – М.: ГЭИ, 1956. –151 с.
2. *Шеннон К.* Работы по теории информации и кибернетике: Пер. с англ./ Под ред. Р.Л. Добрушина и О.Б. Лупанова. – М.: ИИЛ, 1963. – 827 с.
3. *Зюко А.Г.* К определению общетехнических характеристик систем связи // Сб. трудов НТОР и Э им. А.С. Попова. – 1958. – Вып. 2.–С.5.
4. *Зюко А.Г.* Помехоустойчивость и эффективность систем связи.– М:Связьиздат,1963.– 320 с.
5. *Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации/ А.Г.Зюко,А.И.Фалько,И.П.Панфилов,В.Л.Банкет,П.В.Иващенко;Подред.А.Г.Зюко– М.:Радио и связь,1985 – 272с.*
6. *Статистическая теория связи и ее практические приложения./ Под ред. Б.Р. Левина. -М.: Связь, 1979. - 288с.*