

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

(ФГБОУ ВПО ПГУПС)

Кафедра «Электрическая связь»

# ТЕОРИЯ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ

ЛЕКЦИИ

к.т.н., доцент кафедры «Электрическая связь» Куценко Сергей Михайлович

С.-Петербург

2021

ТПС

**МОДУЛЬ 1. МЕТОДЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И АНАЛИЗА СИГНАЛОВ**

**РАЗДЕЛ 1. ВВЕДЕНИЕ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИГНАЛАХ**

(2 часа)

Первый семестр

Лекция 1

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ  
ДИСЦИПЛИНЫ

Перечень печатных и электронных изданий, используемых в образовательном процессе:

- Теория передачи сигналов на железнодорожном транспорте [Текст] : Учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Г. В. Горелов [и др.]. - М. : Транспорт, 1999. - 416 с.;
- Котов, В. К. Математические методы обработки сигналов в системах железнодорожной автоматики и связи [Текст] : учебное пособие / В. К. Котов, О. Д. Останькович, Д. Ю. Сидорович. - Санкт-Петербург : ПГУПС, 2013. - 53 с.;
- Котов, В. К. Определение параметров сигналов и устройств системы передачи информации [Текст] : учеб. пособие к курс. работе по дисциплине "Теория передачи сигналов" / В. К. Котов ; ФГБОУ ВО ПГУПС. - Санкт-Петербург : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. - 61 с.;

ПЕРЕЧЕНЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ  
ДИСЦИПЛИНЫ

- Мощерский, Ю.В. Теоретические основы радиотехники. Сигналы : учебное пособие для вузов / Ю. В. Мощенский, А.С. Нечаев. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 216 с. – URL : <https://e.lanbook.com/reader/book/177838/#32> — Режим доступа: для авториз. пользователей.
- Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы : учеб. пособие для вузов / И. С. Гоноровский . - 5-е изд., испр. . - М. : Дрофа, 2006. - 719 с.
- Исследование временных и частотных характеристик детерминированных сигналов [Текст] : метод. указания к лаб. работе № 1 по курсу "Теория передачи сигналов" / ПГУПС, каф. "Электр. связь" ; сост.: В. К. Котов, Д. Ю. Сидорович, Е. А. Тулугурова. - СПб. : ПГУПС, 2004. - 12 с.
- Исследование процессов дискретизации и восстановления непрерывных сигналов [Текст] : метод. указания к лаб. работе № 2 по курсу "Теория передачи сигналов" / ПГУПС, каф. "Электр. связь" ; сост.: В. К. Котов, Д. Ю. Сидорович, Е. А. Тулугурова. - СПб. : ПГУПС, 2004. - 8 с.

## ТПС

Целью преподавания дисциплины «Теория передачи сигналов» является получение студентами фундаментальной подготовки в области теории информации, теории сигналов, оптимального приема, теории помехоустойчивости, принципов построения систем передачи информации, используемых в современных системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- изучение методов временного и частотного представлений детерминированных и случайных непрерывных, импульсных и цифровых сигналов, помехоустойчивого кодирования и модуляции;
- решения задачи помехоустойчивого приема при обнаружении, различении, оценке параметров и фильтрации сигналов, принципов разделения каналов в системах передачи информации;
- получение навыков анализа и преобразования сигналов в устройствах модуляции, кодирования, приема сигналов в соответствии с характеристиками каналов, уровнем сигналов и помех, статистикой ошибок;
- изучение принципов построения и тенденций в развитии систем передачи информации, применяемых на железнодорожном транспорте;
- получение навыков оценки эффективности передачи информации в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи исходя из знаний допустимых параметров каналов, характеристик сигналов и помех.

## ТПС

В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать:

- общие закономерности построения современных систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи;
- основные показатели качества передачи сигналов по каналам систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи;
- основные принципы совершенствования показателей качества передачи информации;
- принципы преобразования сигналов в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи.

Уметь:

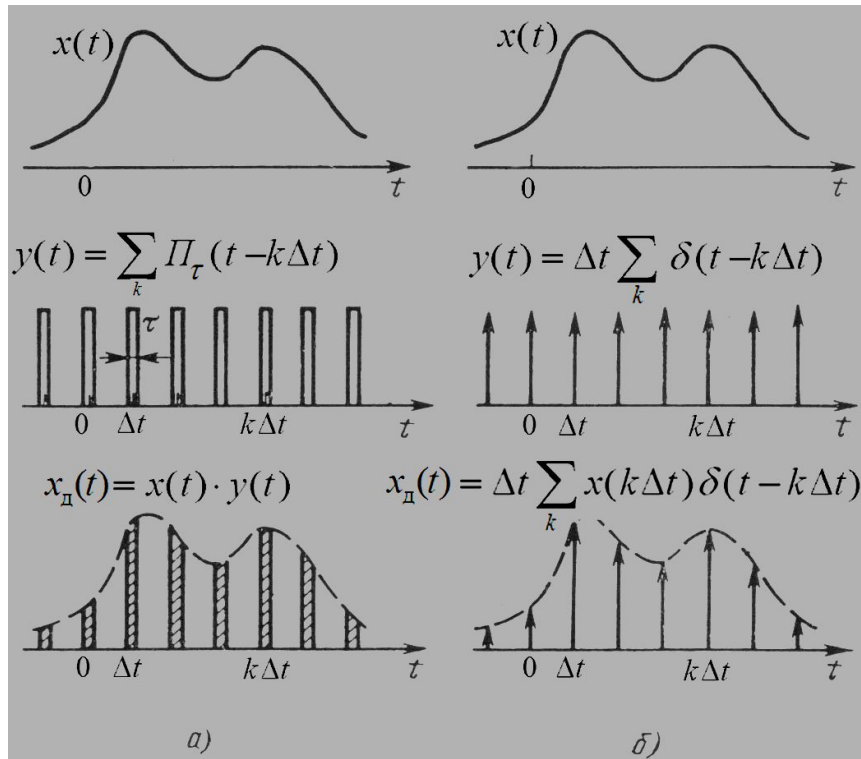
- использовать данные о сигналах и помехах при анализе и разработке различных систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи;
- применять основные методы анализа сигналов при работе с системами железнодорожной автоматики, телемеханики и связи;
- пользоваться современной научно-технической информацией по методам обработки и преобразования сигналов, методам кодирования сообщений, оценки помехоустойчивости систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи.

Владеть:

- методами расчета помехоустойчивости систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи;
- методами оценки эффективности передачи информации в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи;
- терминологией в области передачи сообщений по каналам систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи;
- методами оптимального приема сигналов устройствами железнодорожной автоматики, телемеханики и связи.

## ТПС

- *Информация* - это сведения о состоянии технического (биологического, социального) объекта, явления, подлежащие хранению, передаче и обработке и необходимые для принятия решения. Информация возникает только тогда, когда изменяется состояние объекта.
- *Сообщение* - это форма представления информации: совокупность знаков, букв, цифр, состояний, содержащих ту или иную информацию. Например, в телеграфии сообщение — это текст, т. е. последовательность букв и цифр. В телефонии сообщение - это непрерывное изменение во времени звукового давления (передающее не только содержание, но и интонацию, тембр, ритм и т. д.), в телевидении сообщение - это изменение во времени яркости элементов изображения.
- Передача сообщения (а, следовательно, и информации) осуществляется с помощью материального носителя (бумага, магнитная лента и т.д.) или физического процесса (звуковые, электромагнитные волны, электрический ток и т.д.).
- *Сигнал* - это физический процесс отображающий (несущий) передаваемое сообщение. В технике передачи сигналов чаще всего используются электрические сигналы - колебания тока или напряжения. Сигнал формируется изменением параметров физического носителя по закону передаваемого сообщения.



*Аналоговые* или *континуальные* сигналы описываются непрерывными и кусочно-непрерывными функциями, причем как сама функция, так и ее аргумент могут принимать любые значения в пределах некоторого интервала. *Дискретные* сигналы образуются путём умножения аналогового сигнала на так называемую функцию дискретизации, представляющую собой периодическую последовательность коротких импульсов, следующих с шагом дискретизации.

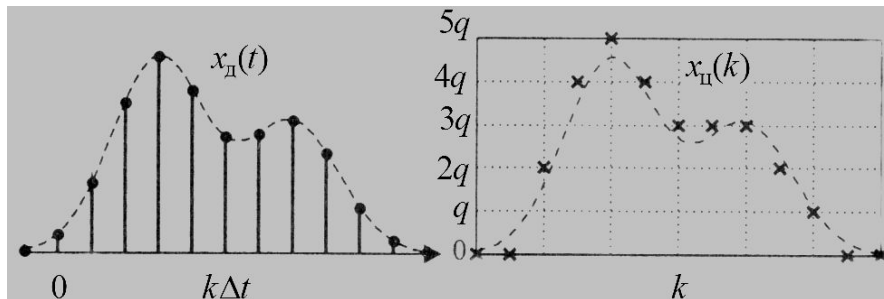
*Цифровой* сигнал описывается квантованной решетчатой функцией, т. е. решетчатой функцией, принимающей лишь ряд дискретных уровней - уровней квантования.

Цифровой сигнал представляется последовательностями чисел, имеющих ограниченное количество разрядов.

*Финитный* сигнал характеризуется тем, что отличен от нуля лишь на конечном интервале.

Очень важным является класс *сигналов с финитным спектром*. У таких сигналов спектральная функция (преобразование Фурье) обращается в нуль вне некоторого конечного интервала частот.

Определим *случайный* сигнал как выборочную функцию некоторого *случайного процесса*, задаваемого ансамблем реализаций, т. е. совокупностью реализаций, рассматриваемых совместно с вероятностями их появления. Неслучайные сигналы называются *детерминированными* и описываются известными функциями, заданными на конечных или бесконечных интервалах.





Реальное сообщение - это всегда случайное событие, случайная величина, случайная функция. Сигнал всегда случайный процесс. Детерминированный сигнал можно использовать лишь для тестирования, испытания системы передачи информации.

Основными параметрами сигнала являются: длительность ( $T_C$ ), динамический диапазон ( $D_C$ ), ширина спектра ( $F_C$ ).

$T_C$  - интервал времени, в пределах которого сигнал существует;

$D_C$  - отношение наибольшей мгновенной мощности сигнала к той наименьшей мощности которую надо отличить от нуля при заданном качестве передачи, измеряемое в децибелах.

**Помеха** - любое электромагнитное воздействие на сигнал, которое ухудшает верность воспроизведения передаваемых сообщений.

Помехи разнообразны по происхождению и по физическим свойствам:

- атмосферные (в радиоканалах, обусловлены электрическими процессами в атмосфере, энергия их в основном сосредоточена в диапазонах длинных и средних волн);
- промышленные (возникают в результате резких изменений тока в электрических цепях различных устройств, например, электрического транспорта, системах зажигания двигателей и т.п.);
- помехи от посторонних радиостанций и радиоканалов (возникают из-за нарушения регламента рабочих частот, недостаточной стабильности элементов схем, плохой фильтрации гармоник сигнала, из-за нелинейных процессов в каналах - “перекрестные помехи”);
- импульсные шумы и прерывания связи (в проводной связи импульсные шумы определяются, например, работой устройства автоматической коммутации каналов);
- внутренние шумы аппаратуры (присутствуют практически во всех диапазонах, обусловлены хаотическим движением носителей зарядов в усилительных элементах, резисторах; особенно проявляются на сверхвысоких частотах, где остальные помехи невелики).

В общем случае влияние помехи  $n(t)$  на передаваемый сигнал  $S$  может быть описано оператором  $y(t)=V[S(t),n(t)]$ .

В частном случае, когда этот оператор выражает сумму  $y(t)=S(t)+n(t)$ , помеху называют **аддитивной**.

Если оператор выражает произведение:  $y(t)=S(t) \cdot n(t)$ , помеху называют **мультипликативной**.

Мультипликативная помеха возникает из-за изменения во времени амплитудных и фазовых характеристик канала, например, при прохождении сигнала через среду с изменяющимися во времени параметрами; при многолучевом распространении радиоволны и т. д.

Среди аддитивных помех различного происхождения особое место занимают **флуктуационные** (флюктуационные) помехи, которые, как правило, являются непрерывными, случайными, нормальными (гауссовскими) процессами. Источником таких помех являются входные элементы или цепи приемных устройств.

**Импульсные** помехи - это хаотическая последовательность коротких импульсов (как правило, это помехи индустриального происхождения: например, на железных дорогах - от устройств контактной сети, автоматики и телемеханики), реакция приемника на каждый импульс которой заканчивается раньше, чем интервал времени между импульсами помехи.

Между сигналом и помехой отсутствует принципиальное различие они существуют в единстве, например, излучение радиопередатчика является полезным сигналом для “своего” приемника и помехой для других приемников.

При передаче **дискретных** сообщений, представленных в единой цифровой форме (в виде последовательностей нулей и единиц), влияние помех проявляется в ошибках при приеме символов сообщения. Количественной мерой здесь является **вероятность ошибки**, которую определяют разработчики аппаратуры теоретически на этапе разработки системы передачи. На практике, в условиях эксплуатации, оценкой вероятности ошибки является **коэффициент ошибки**, который определяется с помощью измерительных приборов.

При передаче непрерывных (аналоговых) сообщений помехоустойчивость оценивают величиной уклонения принятого сообщения от переданного. Величина уклонения определяется действием помех и искажений. Её удобно определять по такому критерию как минимум среднеквадратического отклонения принятого сигнала от переданного на интервале действия сигнала  $T$ :

$$\varepsilon = \overline{[y(t) - m(t)]^2} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [y(t) - m(t)]^2 dt} \rightarrow \min$$

О значительном влиянии качества передачи информации на эксплуатационную работу различных систем ЖАТС свидетельствуют данные, приведенные в таблице, которые получены при анализе алгоритмов и устройств помехоустойчивого приема дискретных сигналов в железнодорожных системах передачи информации.

Основные виды передачи дискретных сигналов	Показатели систем передачи	Следствия увеличения вероятности ошибки	Влияние на эксплуатационные и экономические показатели
Телеграфия		Повторная передача телеграмм до 1% (2000 на 0,2 млн. в год)	Экономические потери: для центрального аппаратного зала
Передача данных в АСУЖТ		Корректировка записей в АСУЖТ сортировочной станцией до 20%	Увеличение оборота вагона
Телесигнализация (ТС) в системах автоблокировки и АЛС	Вероятность ошибки проводные каналы $10^{-3}$ - $10^{-4}$ - $10^{-2}$ - $10^{-3}$ радиоканалы	Горение ложного запрещающего сигнала (ЛЗС)	Снижение использования пропускной способности (при горении ЛЗС в течение 1ч) - на 1,8%. Нарушение безопасности движения
Телеуправление и телесигнализация в системах электрической централизации	То же, $10^{-4}$ - $10^{-6}$	Горение ложного запрещающего сигнала (ЛЗС)	Задержка поездов на станциях
Телесигнализация в системах диспетчерской централизации	Отказы по качеству связи: 4%	Дезориентация ДНЦ и ДСП. Снижение оперативности управления	Задержка поездов на станциях
Телесигнализация в других системах железнодорожной автоматики и телемеханики	Отказы по качеству связи: 4%	Необходимость повторителей огневого реле	Дополнительная прокладка кабеля: в среднем 18-20 км на крупную участковую станцию

В 1941 г. советский математик А.Н. Колмогоров разработал математические основы теории оптимальных по критерию минимума среднеквадратичной ошибки линейных цепей (фильтров), развитой в дальнейшем Н. Винером. В 1947 г. В.А. Котельников заложил основы теории помехоустойчивости в своей выдающейся работе "Теория потенциальной помехоустойчивости". В этой работе впервые была поставлена и решена задача построения идеального приемника, который обеспечивает потенциальную, т.е. максимально возможную помехоустойчивость. В 1948 г. американский ученый К. Шеннон положил начало теории информации. Он доказал возможность такого кодирования, которое позволяет получить максимально возможную скорость передачи сообщений со сколь угодно малой вероятностью ошибочного приема всего сообщения.

Эти работы и положили начало новой науке – *общей теории сигналов и теории информации*. *Теория информации* возникла благодаря проникновению в теорию и технику связи точных математических методов. В узком смысле слова теория информации занимается отысканием оптимальных способов кодирования. В широком смысле слова теория информации - это теория, использующая вероятностные и статистические методы для анализа и синтеза систем связи и их элементов. Использование этих методов в качестве основного математического инструмента объясняется тем, что сигналы связи являются не регулярными, а случайными процессами.

Теория вероятностей и теория случайных процессов являются главным математическим инструментом при анализе прохождения сигналов и помех через системы передачи информации и их элементы. Методы математической статистики, особенно теории статистических решений и теории оценок, являются основными при синтезе и сравнении систем передачи, удовлетворяющих определенным критериям качества.

Отдельные реализации сигнала можно описать детерминированными (регулярными) функциями времени. Поэтому для первоначального исследования физических процессов в устройствах передачи и приема электрических сигналов используются такие классические методы, как например, метод гармонического анализа (ряды и интеграл Фурье), преобразование Лапласа и другие.