

УЧЕБНЫЙ КУРС

**Основы звукозаписи и  
цифровая  
обработка аудио  
информации**

# Основы монтажа и обработки аудио

Принципы, инструменты, лучшие практики

# Содержание лекции

## 1. Принципы монтажа

Основные концепции и правила

## 2. Типы монтажа и процесс

Линейный и нелинейный монтаж

## 3. Шумы и шумоподавление

Типы шумов и спектральный анализ

## 4. Склейка и кроссфейды

Бесшовный монтаж фрагментов

## 5. Эквализация (EQ)

Частотный спектр и типы эквалайзеров

## 6. Компрессия

Принципы работы и параметры

## 7. Цепочки обработки

Порядок применения эффектов

## 8. Примеры и выводы

Практика и ключевые результаты

# Введение: цели и задачи монтажа

## Ключевые определения

**Монтаж:** Отбор, компоновка и склейка аудиофрагментов в единое целое.

**Постпродакшн:** Финальный этап производства, включающий монтаж, обработку и сведение.

**Недеструктивное редактирование:** Изменение параметров воспроизведения без разрушения исходного файла (метаданные).

## Цели монтажа

Ясность изложения, консистентность звучания, поддержание темпа/ритма, усиление драматургии.

## Критерии качества

Отсутствие артефактов (щелчков), отличная читаемость речи, высокое отношение сигнал/шум (SNR↑).

ИСТОЧНИК

МОНТАЖ

ОБРАБОТКА

МАСТЕР

# Принципы монтажа аудиоматериалов

## Континуитет и ритм

Сохранение естественного течения фразы и дыхания. Ритмическая структура должна оставаться незаметной для слушателя.

## Сохранение «Room Tone»

Использование фонового шума помещения для маскировки швов и заполнения пауз между репликами.

## Точки реза (Zero-crossing)

Выполнение склеек исключительно в точках нулевого пересечения амплитуды для предотвращения щелчков.

## Минимизация сдвигов

Контроль фазовой когерентности при склейке многоканальных записей для избежания эффекта гребенчатого фильтра.

АНАЛИЗ

РЕЗ

СКЛЕЙКА

ПРОВЕРКА

# Типы монтажа: линейный и нелинейный

## Линейный монтаж

- Последовательная склейка материала
- **Деструктивный процесс** (изменения необратимы)
- Использование магнитной ленты или диктофонов

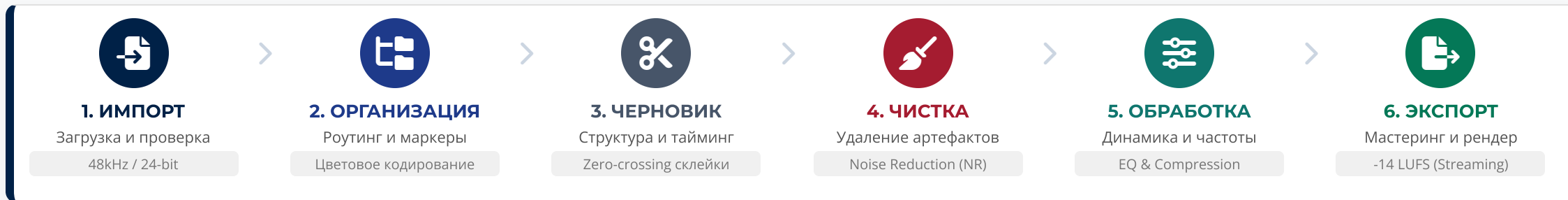
## Нелинейный монтаж

- Работа в DAW (Digital Audio Workstation)
- Использование регионов, плейлистов, undo/redo
- **Недеструктивное редактирование** (работа с метаданными)

## Сравнительный анализ

Критерий	Линейный	Нелинейный
Гибкость	Низкая (жесткая структура)	Высокая (свободное перемещение)
Скорость работы	Медленная (физические процессы)	Быстрая (горячие клавиши, скрипты)
Риск ошибок	<b>Высокий (сложно исправить)</b>	<b>Минимальный (Undo History)</b>

# Рабочий процесс монтажа: этапы и горизонты



## Ключевые принципы процесса

### Контроль уровней (Gain Staging)

Целевой RMS: **-18 dBFS**

Обеспечивает оптимальный запас (headroom) для предотвращения клиппинга на этапах обработки.

### Недеструктивность

Работа с метаданными

Монтаж выполняется без изменения исходных аудиофайлов, что позволяет отменить любое действие (Undo/Redo).

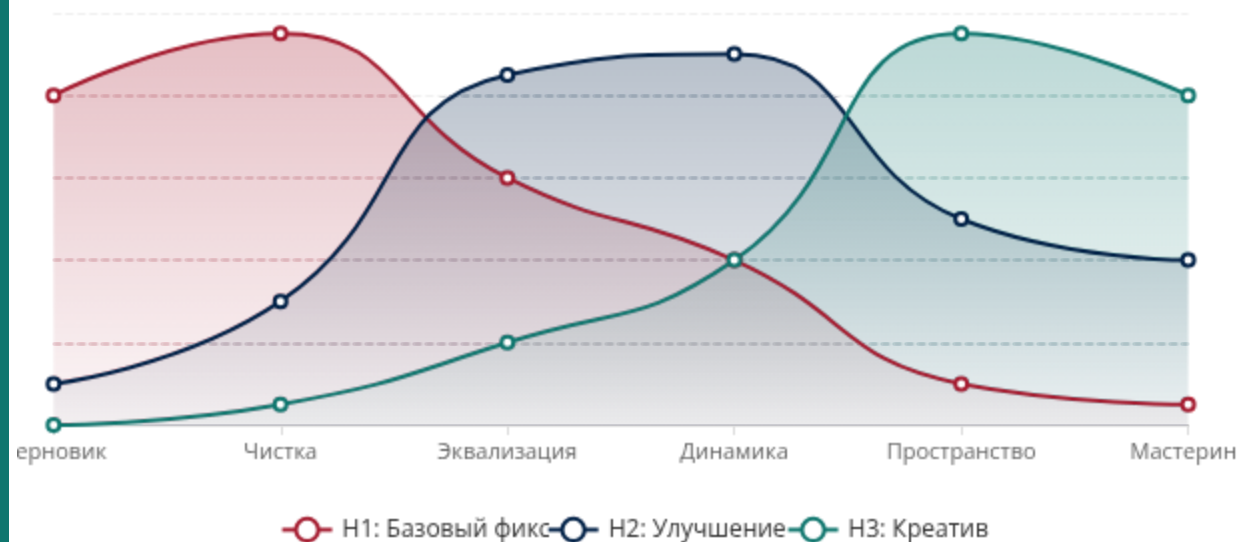
### Спектральный анализ

Визуальный контроль

Использование анализаторов для выявления частотных конфликтов и артефактов до применения обработки.

## Модель трёх горизонтов обработки

Уровень на микс



# Удаление шумов: типы шумов в аудиозаписи



## ШИРОКОПОЛОСНЫЙ

Белый/розовый шум (весь спектр)



## ТОНАЛЬНЫЙ ГУЛ

Наводки сети (50/60 Hz и гармоники)



## ИМПУЛЬСНЫЕ

Клики, треск, щелчки (микросекунды)

## Специфика и метрики

### Речевые артефакты

**Сибиллянты (5–8 кГц):** Резкие свистящие звуки ("С", "Ш").

**Плозивы (60–120 Гц):** Взрывные НЧ удары ("П", "Б").

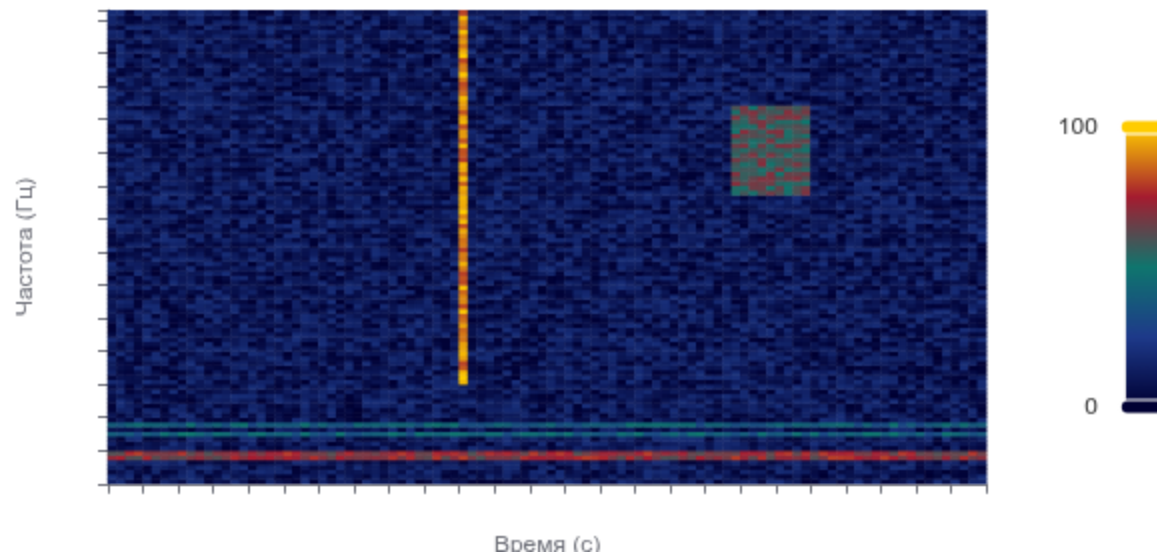
### SNR (Отношение сигнал/шум)

Ключевая метрика качества. Измеряется в дБ. Более высокое значение указывает на более чистый сигнал по сравнению с фоном.

### PSRR

Коэффициент подавления нестабильности питания. Влияет на количество тонального гула в аудиотракте.

## Визуализация шумов на спектрограмме



# Методы шумоподавления: спектральный анализ

## СПЕКТРОГРАММА

Преобразование Фурье (STFT)

## МАСКИРОВАНИЕ

Применение Noise Print

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ ГЕЙТ

Вычитание шума по порогу

## РЕКОНСТРУКЦИЯ

Обратное преобразование (iSTFT)

## Ключевые концепции анализа

### STFT и FFT алгоритмы

Разбиение сигнала на короткие пересекающиеся окна для анализа частотно-временных характеристик.

### Noise Print (Отпечаток шума)

Слепок спектра чистой секции шума, используемый как референс для создания частотной маски подавления.

### Окна и перекрытие (Overlap)

Использование оконных функций (Hann, Hamming) для сглаживания артефактов на краях анализируемых блоков.

## Баланс: Редукция vs Артефакты

Главная проблема спектрального шумоподавления — это **компромисс (trade-off)** между глубиной подавления шума и сохранением естественности полезного сигнала.

### Chirping (Музыкальный шум)

Специфические артефакты в виде коротких булькающих звуков или свистов, возникающие при слишком агрессивном вычитании узких спектральных полос.

**ВЫСОКАЯ РЕДУКЦИЯ**

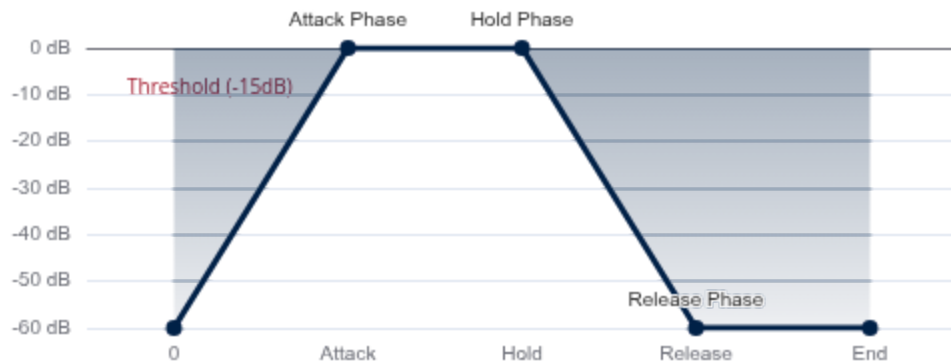
Меньше шума

**ЕСТЕСТВЕННОСТЬ**

Меньше артефактов

# Инструменты: Noise Gate и Noise Reduction

## Параметры Noise Gate (Временная область)



### Threshold & Hysteresis

-40 dB / 6 dB

**Threshold:** уровень открытия гейта. **Hysteresis:** разница между уровнями открытия и закрытия (предотвращает "дребезг" / chattering).

### Attack & Hold

1-5 ms / 50 ms

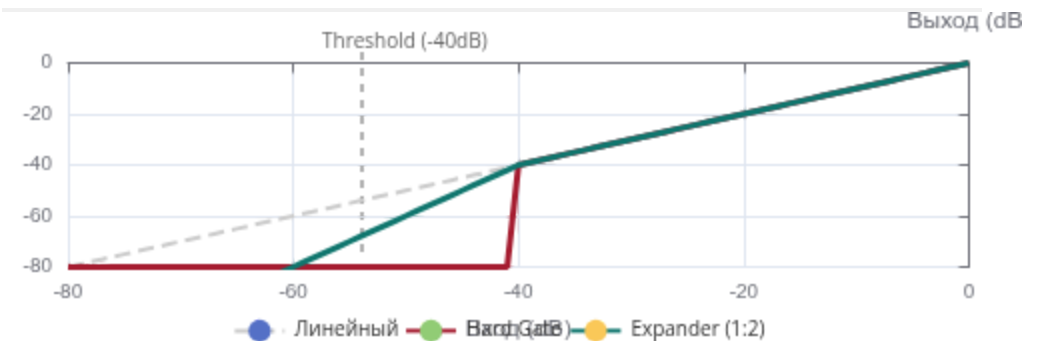
**Attack:** скорость открытия (слишком быстрая = щелчки, медленная = съедает транзиенты). **Hold:** удержание гейта открытым для предотвращения прерываний.

### Release & Range (Depth)

150 ms / -20 dB

**Release:** скорость закрытия (формирует хвост звука). **Range:** глубина подавления (полная тишина неестественна, лучше оставлять -15...-20 dB).

## Expander vs Noise Gate (Трансферная функция)



## Модули Noise Reduction (Спектральные)

### Профиль шума (Noise Print / FFT Size)

Обучение алгоритма (захват). Размер окна FFT определяет разрешение (частотное vs временное).

### Reduction Amount & Spectral Smoothing


Оптимальное подавление 6-12 dB. Больше = артефакты. Сглаживание маскирует музыкальный шум.

### ⚠ Артефакты (Chirping / Pumping)

"Бульканье" (Chirping) из-за изолированных бинов FFT. Пампинг - модуляция шума сигналом.

# Склейка фрагментов: бесшовный монтаж


## Принципы бесшовного монтажа

 **Zero-Crossing (Нулевое пересечение)**  
Разрез аудиоклипа строго в точке нулевой амплитуды сигнала ( $y=0$ ).

⚠ Предотвращает DC offset и появление резких цифровых щелчков (clicks/pops) на стыке.

 **Микрофейды (Microfades)**  
Короткие кроссфейды (обычно 3–5 мс) на краях склеиваемых клипов.

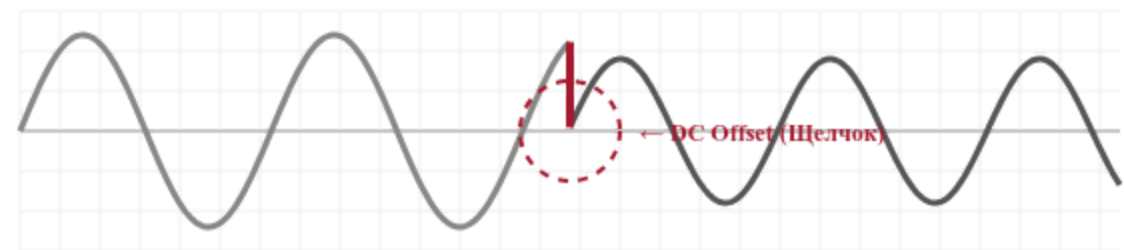
✔ Сглаживают фазовые нестыковки, обязательны при редактировании речи и вокала.

 **Подклад Room Tone**  
Использование "тона комнаты" (естественного фонового шума помещения).

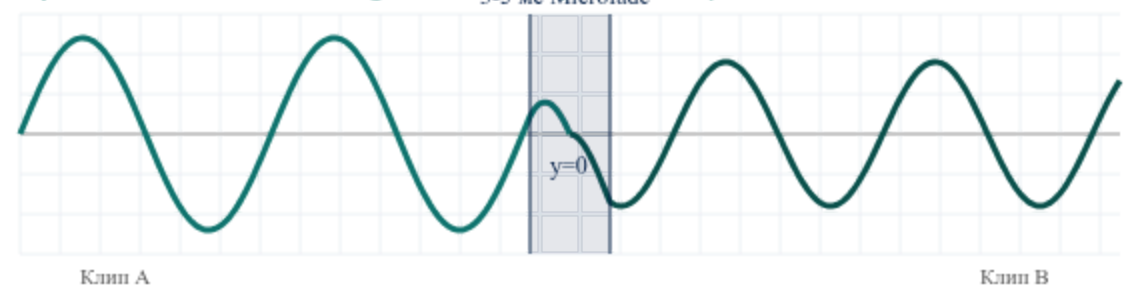
☰ Заполняет цифровую тишину (digital black) между фразами, создавая эффект непрерывности.

## Визуализация: Правильная vs Проблемная склейка

**Неправильно: Склейка не в нуле (Артефакт/Щелчок)**



**Правильно: Zero-Crossing + Microfade (Бесшовно)**



# Кроссфейды и затухания

## Параметры и применение



### Типы кривых (Curves)

- **Equal-Power:**  $y = \sin(x * \pi/2)$ . +3 дБ в центре, сохраняет общую мощность (идеально для некоррелированных сигналов).
- **Linear:**  $y = x$ . Простая интерполяция амплитуды (может давать провал громкости в центре).
- **Logarithmic:** Быстрый старт, плавный хвост.
- **Exponential:** Плавный старт, быстрый хвост.



### Длительность (Length)

- **Речь/Диалоги:** 5–20 мс (быстрые линейные микрофейды для маскировки щелчков).
- **Музыка:** 20–200 мс (чаще equal-power, подбор на слух).
- **Синхронизация:** Возможен подгон под доли такта (BPM).

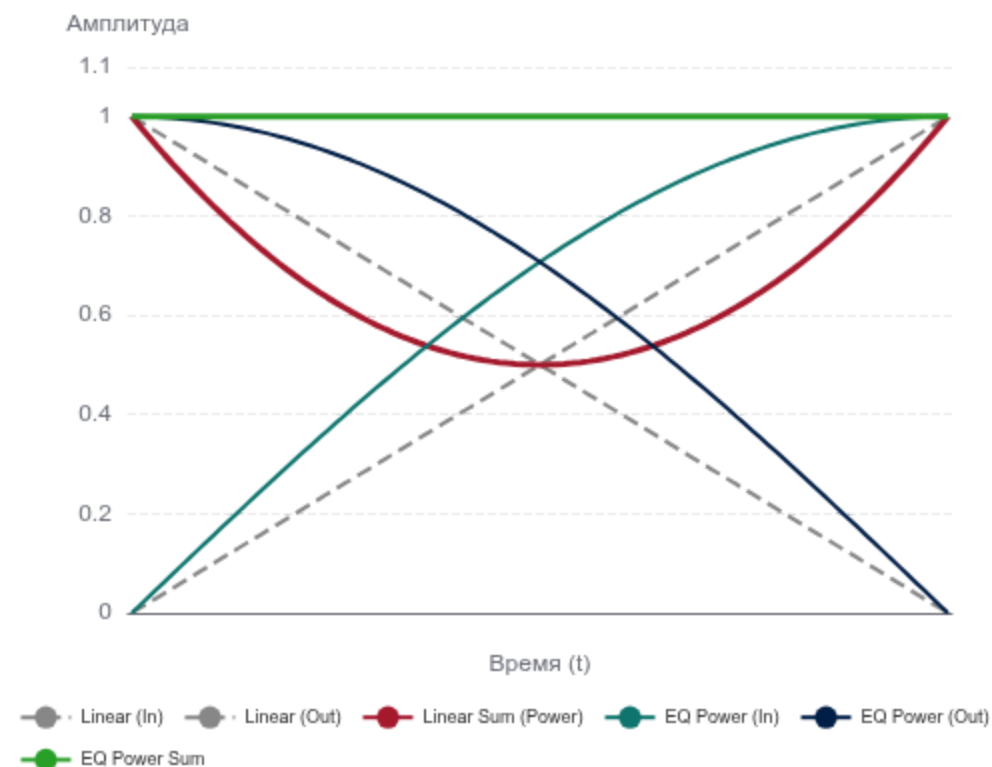


### Моносовместимость и Фаза

Проверка наложения фаз в области кроссфейда обязательна. Противофаза вызывает эффект гребенчатого фильтра («провал», comb filtering) при суммировании в моно. Для коррелированных сигналов (фазно-согласованных) лучше использовать Linear-кривые.

## Формы кривых и суммарная амплитуда

Сравнение Linear и Equal-Power



# Основы эквализации: частотный спектр

## Типы фильтров & Q-фактор

▼ **HPF / LPF (Pass Filters):** Срез частот ниже (HPF) или выше (LPF) частоты среза (Cutoff, обычно на уровне -3 дБ).

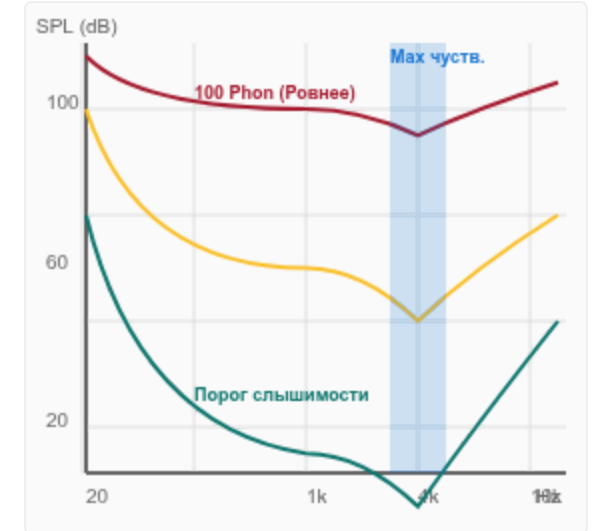
▬ **Шельф (Shelf):** Плавное усиление/ослабление всех частот выше или ниже заданной точки.

🔔 **Колокол (Bell) & Параметр Q:** Точечное изменение. **Q-фактор** определяет ширину полосы.  $Q = f_{center} / Bandwidth$   
Высокий Q (например, 10.0) = узкий вырез.  
Низкий Q (например, 0.7) = широкое, музыкальное изменение.

## Психоакустика: Кривые Флетчера-Мэнсона

**Кривые равной громкости** демонстрируют нелинейность человеческого слуха относительно частоты и звукового давления (SPL).

- Слух наиболее чувствителен к диапазону **2-5 кГц** (эволюционная адаптация к речи/крику).
- На низкой громкости ( $\approx 50$  dB SPL) мы плохо слышим бас и "воздух".
- При **85 dB SPL** восприятие спектра становится наиболее ровным — стандарт индустрии для мониторинга.



## Визуальная частотная шкала (Логарифмическая)

### Sub-Bass

20–60 Гц

Ощущение телом, энергия, саб-бас, 808 бочка.

HPF: 30 Гц

### Bass

60–250 Гц

Фундамент ритма, теплота. Бочка (60-100), Бас-гитара.

Гудение:  $\sim 150$  Гц

### Low-Mid

250–500 Гц

Тело инструментов, гитары, мужской вокал. Зона "мути" (mud).

Срез: 300-400 Гц

### Mid

0.5–2 кГц

Основа речи, читаемость. "Телефонный" или "носовой" звук.

Гнусавость:  $\sim 800$  Гц

### Presence

2–6 кГц

Разборчивость вокала, агрессия гитар, сибиллянты (с, ш).

Де-эссер: 5-8 кГц

### Air

6–20 кГц

Воздух, прозрачность, тарелки, дыхание в вокале.

Блеск: 10-12 кГц

# Типы эквалайзеров: сравнительный анализ

Выбор типа эквалайзера зависит от конкретной задачи: тонкая хирургическая коррекция, общее тональное выравнивание или контроль динамики в определенной частотной полосе.

**Ключевое правило:** Используйте инструмент, который решает задачу с минимальными фазовыми искажениями.

Тип эквалайзера	Ключевые параметры	Особенности / Латентность	Сценарии применения
<b>Параметрический (Parametric)</b>	Частота (f), Добротность (Q), Усиление (Gain)	Высокая точность. Низкая латентность (IIR).	Хирургическое вырезание резонансов, точный boost, обрезка (HPF/LPF). Основной инструмент в DAW.
<b>Графический (Graphic)</b>	Фиксированные полосы (обычно 1/3 или 1 октава)	Быстрая настройка. Низкая/средняя латентность.	Концертная работа (ФОН), быстрая коррекция мониторных линий, мастеринг (иногда).
<b>Динамический (Dynamic EQ)</b>	f, Q, Gain + Threshold, Attack, Release	Частотно-зависимая компрессия. Может вносить задержку.	Де-эссинг, подавление "бубнения" при приближении к микрофону, адаптивный контроль резонансов.
<b>Фазолинейный (Linear Phase)</b>	f, Q, Gain (аналогично параметрическому)	Нет фазовых сдвигов. <b>Высокая латентность.</b> "Pre-ringing" артефакты.	Мастеринг, параллельная обработка, многомикрофонные записи (где важна фаза).

# EQ на практике: коррекция и креатив

## Практические настройки и эффекты



### Коррекция речи (Вокал)

HPF (60-80 Гц) отсекает гул. Bell cut (200-400 Гц, -2 дБ, Q=1.5) убирает мутность (mud). Bell boost (3-4 кГц, +2-3 дБ) увеличивает читаемость. High Shelf (10-12 кГц, +1-2 дБ) добавляет «воздух» (Air).



### Де-эссинг (Динамический EQ)

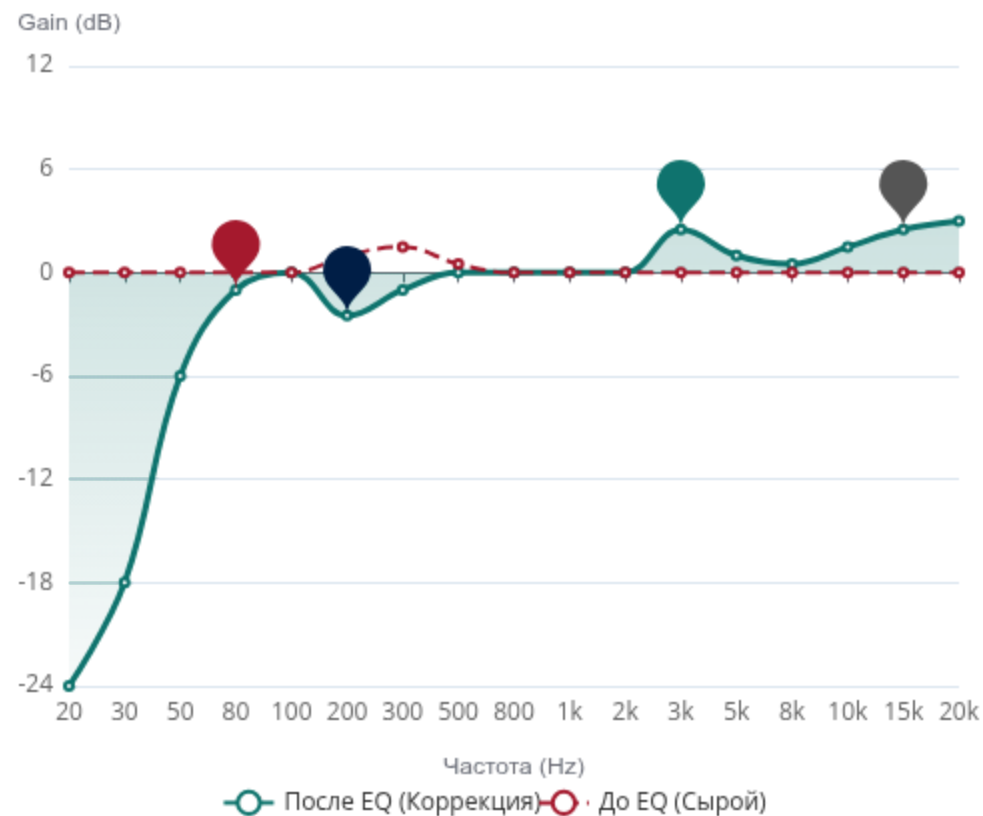
Локализация резких сibilantov (5-8 кГц). Динамический фильтр снижает Gain (до -6 дБ) *только* при превышении Threshold, сохраняя яркость остального сигнала. Attack ~1-5 мс, Release ~20-50 мс.



### Креативные эффекты (Lo-Fi / Телефон)

Band-Pass фильтрация: HPF 300-400 Гц + LPF 3-4 кГц (крутизна 24 дБ/октава). Легкий резонанс (Q=2.0) на 1 кГц усиливает носовой тембр. Для автоматизации EQ-кривые могут изменяться во времени.

## АЧХ: Коррекция речи (EQ Curve)



# Компрессия: принцип и математические основы

## 🔧 Формула редукции (GR)

$$GR = (\text{Input} - \text{Threshold}) \times (1 - 1/\text{Ratio})$$

Рассчитывается в dB для значений выше порога

## 📊 Peak vs RMS Детекция

**Peak:** Мгновенное реагирование на транзиенты.

**RMS:** Усредненная энергия, ближе к слуху (Time Window: ~300ms).

## 📊 Gain Reduction (GR) Meter



## Параметры контроля

### 🔧 Threshold (-20 dB)

Определяет стартовую точку компрессии.

### 🔧 Ratio (4:1)

Степень сжатия: каждые 4dB выше порога = 1dB на выходе.

### 🔧 Knee (Колено)

**Hard:** мгновенное применение Ratio. **Soft:** плавная кривая (радиус в dB) для музыкальности.

### 🔧 Attack & Release

10 ms (Att)

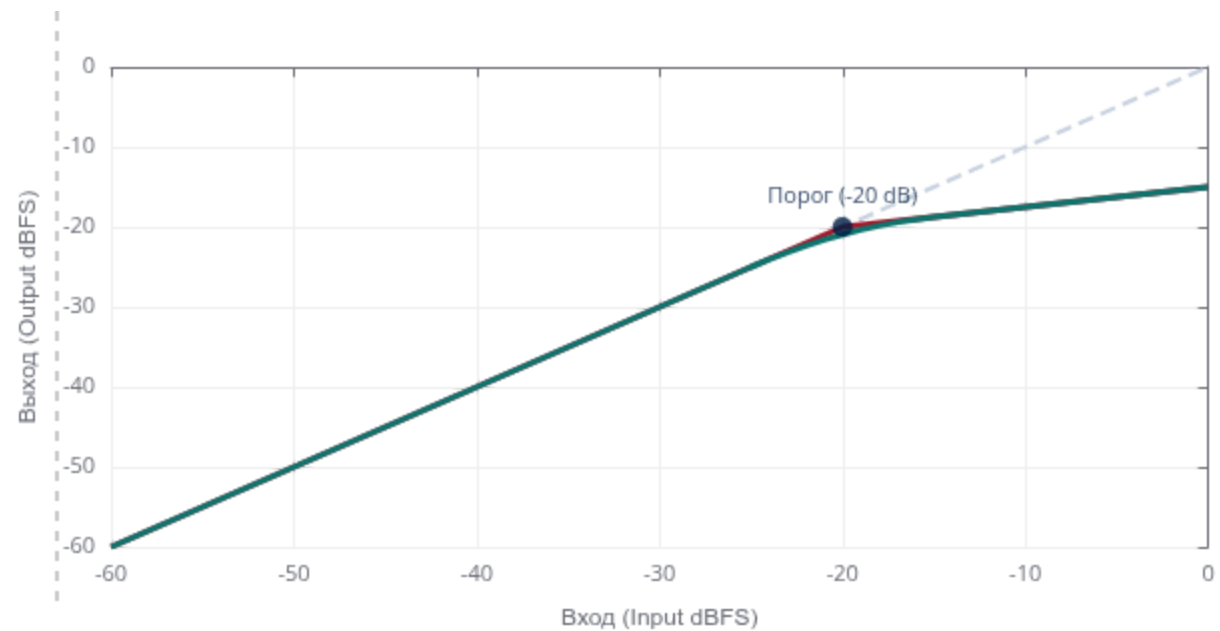
150 ms (Rel)

Формирование огибающей (Envelope) компрессии.

### 🔧 Makeup Gain

Восстановление RMS уровня после сжатия пиков.

## Передаточная характеристика (Input / Output Curve)



● Линейный (1:1) ● Hard Knee (4:1) ● Soft Knee (4:1)

# Типы компрессоров

Различные топологии компрессоров используют разные физические или цифровые механизмы для детекции и подавления сигнала, что определяет их скорость реакции, характер вносимых искажений и оптимальные сценарии применения в миксе.

Тип	Принцип работы	Скорость	Характер / Окрас	Оптимальное применение
<b>Optical (Opto)</b> (напр. LA-2A)	Оптический элемент (T4 cell) реагирует на свет от аудиосигнала	Медленная (attack ~10ms, нелинейный release)	Плавный, музыкальный, "склеивающий", прозрачный	Вокал, бас-гитара, легато-инструменты, шина
<b>FET</b> (напр. 1176)	Полевой транзистор эмулирует ламповое сопротивление	Очень быстрая (attack от 20µs до 800µs)	Агрессивный, панчевый, добавляет гармоники и "зерно"	Барабаны, перкуссия, агрессивный вокал, параллельная компрессия
<b>VCA</b> (напр. SSL Bus, dbx 160)	Усилитель, управляемый напряжением (Voltage-Controlled Amplifier)	Универсальная (широкий диапазон настроек)	Точный, чистый, предсказуемый, "клейкий"	Мастер-шина, драм-шина, сложные ритмические партии
<b>Variable-Mu</b> (напр. Fairchild 670)	Ламповый каскад, где усиление меняется в зависимости от уровня	От медленной до средней	Мягкий knee, теплый, "жирный", насыщенный гармониками	Мастеринг, вокальная шина, "утепление" цифровых миксов

# Применение компрессии в миксе

## Техники и настройки



### Компрессия речи (Вокал/Диктор)

Мягкое отношение (Ratio 2–3:1), медленная атака для сохранения естественных транзиентов и быстрый релиз для предотвращения «проглатывания» окончаний слов.



### Параллельная компрессия

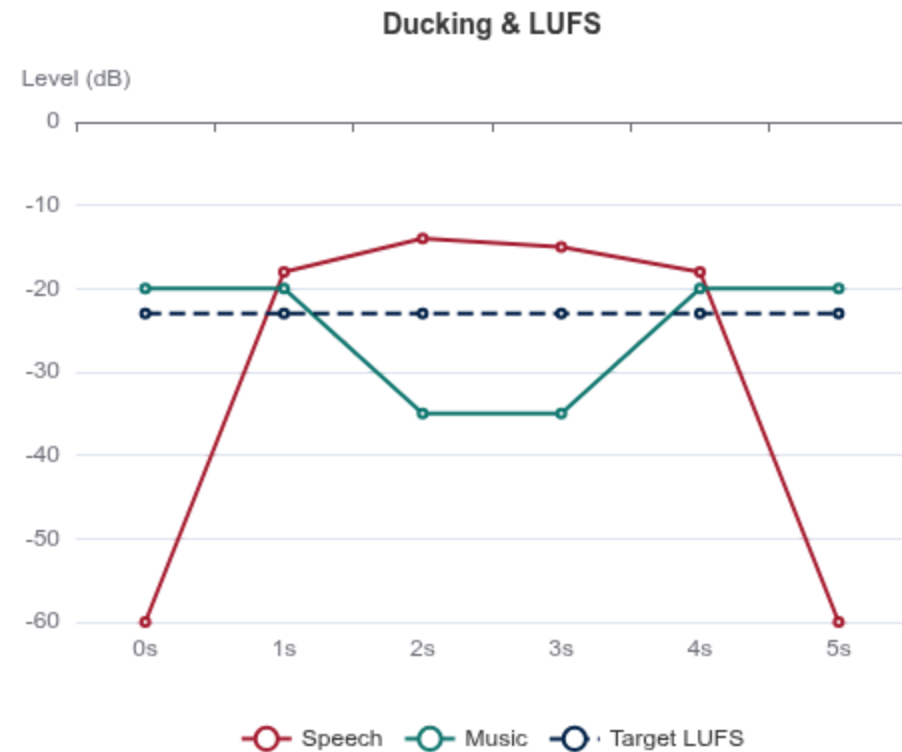
«New York Trick»: смешивание сильно сжатого сигнала с оригинальным. Позволяет уплотнить тихое звучание (поднять RMS), не срезая пики исходного транзиента.



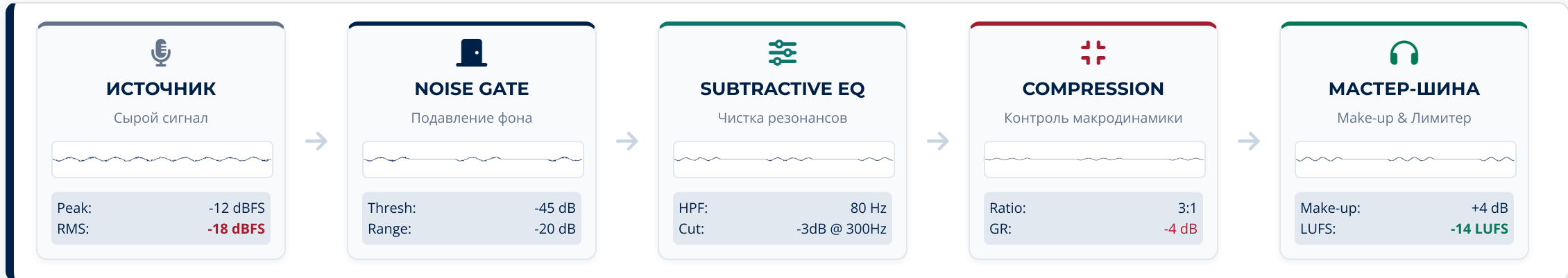
### Sidechain Ducking (Дакинг)

Автоматическое снижение уровня фоновой музыки при появлении голоса диктора. Повышает читаемость речи без необходимости ручной автоматизации громкости.

## Контроль: Crest Factor и LUFS



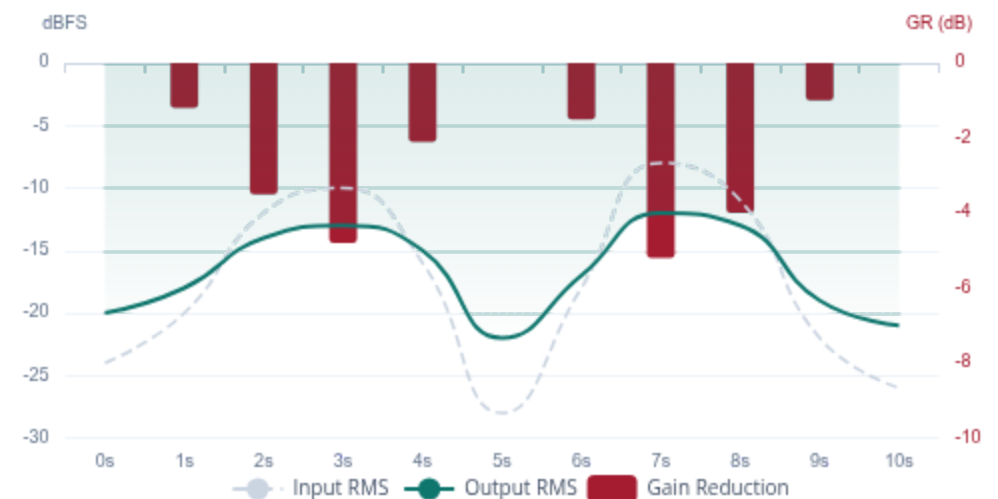
# Цепочка обработки: Сигнальный поток и Gain Staging



## Принципы маршрутизации

- Базовая парадигма: Шум → Тон → Динамика**  
Субтрактивный EQ располагается **до компрессора**, чтобы компрессор не реагировал на нежелательные низкочастотные резонансы (mud, rumble), которые будут вырезаны.
- Позиция De-esser**  
**До компрессора:** Позволяет компрессору работать ровнее, не "проваливая" сигнал на сибиллянтах.  
**После компрессора:** Более агрессивный контроль, если основной компрессор подчеркнул высокие частоты.
- Gain Staging: Закон -18 dBFS**  
Обеспечение номинального RMS уровня на входе **каждого** плагина. Предотвращает интерсэмповый клиппинг (True Peak) и обеспечивает оптимальную работу аналогово-моделирующих плагинов.

## Индикация уровней и Gain Reduction



# Практические примеры: до/после

## Метрики и анализ

SNR:	+10 дБ
RMS:	-18 dBFS
LUFS (Broadcast):	-23 LUFS
LUFS (Streaming):	-14 LUFS
Crest Factor:	10-12 дБ

### SNR (Сигнал/шум)

Улучшение на +10 дБ. Шумовой порог опущен, полезный сигнал сохранен.

### LUFS & Динамика

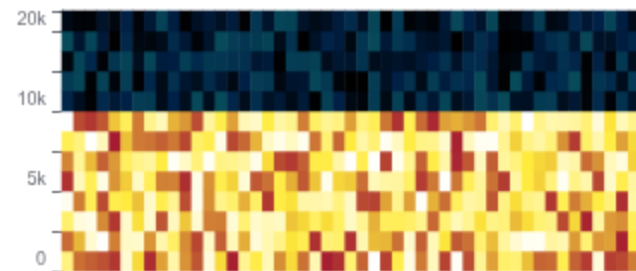
Стандартизация громкости. Контроль транзиентов и микродинамики.

### Анализ качества

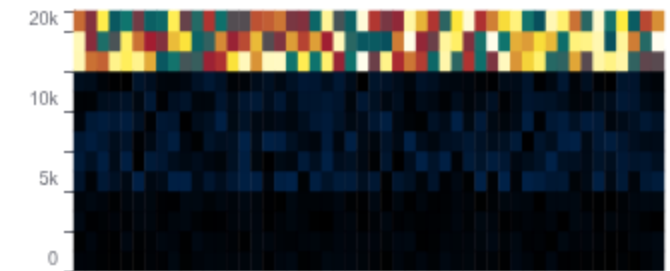
Повышение читаемости речи, отсутствие артефактов (chirping).

## А/В Сравнение (Спектрограмма)

ДО ОБРАБОТКИ (Шумы + Муть)



ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ (Чисто + EQ)



## АЧХ и Форма Волны



# Заключение и ключевые выводы

## Чек-лист успешной работы

**Чистый монтаж:** Удаление лишних вздохов, артефактов и пауз.

**Бесшовные склейки:** Использование кроссфейдов и zero-crossing.

**Оправданный EQ:** Коррекция проблемных частот перед креативной обработкой.

**Умеренная компрессия:** Контроль динамики без эффекта "pumping".

## Типичные риски

- Переобработка (излишнее шумоподавление)
- Фазовые проблемы при эквализации
- Усталость слуха (необходимость перерывов)

## Дальнейшие шаги

- Регулярная практика в DAW
- Сравнение с профессиональными референсами
- Обязательный контроль микса в моно