

Четыре ступени, по порядку

1. Оценка задержки	Выровнять опорный и эхо во времени	20–200 мс; пересходится при смене маршрута
2. Адаптивный фильтр	Предсказать эхо, вычесть из микрофона	NLMS; учит комнату, ~35–45 дБ ERLE
3. Детектор двойного разг.	Заморозить фильтр, когда говорят оба	Иначе он учится на вашем голосе и расходится
4. Подавитель остатка	Ослабить оставшееся эхо	Убирает искажения динамика; может срезать голос

Насколько сложное эхо? (по устройствам)

УСТРОЙСТВО	СЛОЖНОСТЬ	ПОЧЕМУ
Проводная гарнитура	Тривиально	Микрофон отделён от динамика — эха почти нет
Ноутбук, умер. громкость	Легко	Короткий стабильный путь; фильтр держится
Ноутбук, выс. громкость	Умеренно	Больше искажений динамика = больше остатка
Громкая связь в комнате	Сложно	Длинный гулкий путь; двойной разговор срезает
Bluetooth-динамик / гарн.	Сложнее всего	Переменная задержка петли ломает оценку

Как это измерить: ERLE и модель комнаты

ERLE = уровень эха до подавления — уровень эха после подавления

Эхо 0 дБ на входе, −40 дБ на выходе → $ERLE = 0 - (-40) = 40$ дБ (в 10 000 раз слабее).

Отводы фильтра = длительность пути эха × частота = $0,128 \text{ с} \times 48000 = \sim 6144$ отвода.

Цель: опустить остаток эха ниже шума комнаты, где ухо перестаёт его замечать.

Запомнить

- ☐ Эхо — звук вашего динамика, снова попавший в микрофон и вернувшийся дальней стороне с задержкой.
- ☐ Опорный сигнал (что вы собираетесь играть) — единственное, что устройство знает; АЕС вычитает построенное из него предсказание.
- ☐ После ~25–30 мс односторонней задержки нужен реальный подавитель, а не ручное ослабление (ITU-T G.131).
- ☐ Двойной разговор — жалоба №1: тестируйте, когда ОБА говорят наперебой, а не вежливой очередью.
- ☐ Эхо ~1 с после перемещения ноутбука или вставки наушников = пересходимость оценки задержки и фильтра.
- ☐ Bluetooth худший по всем осям: длинный, искажённый и с плывущей задержкой. Рекомендуйте наушники.