

Девять стадий

Стадия	Что делает	Задержка	Протокол	Типичная авария
1. Захват	Сенсор → буфер кадра	+16-33 мс	—	Фокус / экспозиция
2. Кодирование	Сжатие H.264/HEVC/AV1, GOP 2 с	+~200 мс	—	Неверный пресет / GOP
3. Контрибуция	Ингест в облако	+400 мс-4 с	WHIP / SRT / RTMP	Обрыв / нехватка uplink
4. Транскодирование	Битрейтная лестница, 5 ступеней	+~500 мс	—	Софт на CPU вместо GPU
5. Упаковка	CMAF-сегменты + манифест	+~300 мс	CMAF / fMP4	GOP не выровнен с сегментом
6. Ориджин	HTTP-хранилище	+20-100 мс	HTTPS	Окно истекло / token
7. CDN	Shield → mid-tier → edge	+10-500 мс	HTTPS / HTTP/3	Cache-key рассинхрон
8. Последняя миля	Wi-Fi / мобильный / оптика / спутник	+5-100 мс RTT	TCP / QUIC	Bufferbloat / handover
9. Плеер	Fetch, декод, рисовка	+2 000-18 000 мс	HLS / DASH / WebRTC	Глубокий буфер по умолчанию

Три типовые конфигурации и их glass-to-glass

Конфигурация	Сегмент / чанк	Итог glass-to-glass	Применение
Классический HLS	6 с сегм., hold-back 18 с	18-30 с	OTT-live, близкий к VOD
Low-latency HLS / DASH	2 с сегм., 200 мс чанки	2-5 с	Спорт, live-shopping
WebRTC (WHEP / SFU)	без сегментов, RTP по такту	0,2-0,5 с	Аукционы, телемедицина

Главный принцип — буфер плеера доминирует в HTTP-задержке

Apple HLS Authoring Spec требует, чтобы буфер был минимум 3 × длительности сегмента до старта воспроизведения. Сегмент 6 с задаёт пол 18 с; сегмент 2 с с LL-HLS-чанками опускает до 2-5 с; WebRTC убирает буфер целиком. Если цель — низкая задержка, начинайте с настройки плеера. Все остальные стадии в сумме редко добавят больше секунды.