

Оценка качества потокowego видео в сетях мобильной связи



Популярность просмотра видео на экране мобильного устройства (телефона, планшета или ноутбука) стремительно растет в настоящее время. Значительное расширение технических возможностей сетей мобильной связи и абонентских устройств позволяет воспроизводить видео в формате UHD (4K, разрешение 3840x2160 пикселей) и выше. При этом реальное восприятие абонентом качества на экране устройства зависит от множества факторов. Для своевременного выявления фактов снижения качества воспроизведения видео необходимо постоянно контролировать соответствующие характеристики предоставляемой услуги.

Качество изображения на экране характеризует сохранность (целостность) оригинальных свойств передаваемого контента и является субъективной характеристикой, поскольку зависит от восприятия абонента. Целостность услуги связи отражает возможность доставить контент потребителю без искажений или с приемлемым уровнем искажений с учетом характеристик абонентского устройства и дисплея. Для количественной оценки целостности такой услуги используется показатель качества воспроизведения видео в баллах.

Методы и алгоритмы оценки

Существует два подхода к оценке качества воспроизведения видео – субъективный и объективный. Субъективный подход предполагает просмотр и визуальную оценку экспертами контента, воспроизводимого на экране дисплея (Rec. ITU-T P.910). Участие человека заметно усложняет процесс оценки и ограничивает области применения субъективных методов. В частности, такие методы невозможно использовать для масштабного тестирования в реальном времени. Объективные методы основаны на специальных алгоритмах автоматизированной оценки качества видео.

Существует **три способа реализации алгоритмов** объективной оценки:

- на основе тестовой видеозаписи, используемой в качестве опорного образца (полная информация об исходном видеосигнале, FR – Full Reference) для сравнения с контентом, поступающим из сети и расчета оценки;
- без использования контента исходного образца видео, но с учетом технических параметров, характеризующих тестовую видеозапись (частичная информация, RR – Reduced Reference);
- на основе только видеоконтента, поступающего из сети в реальном времени, при полном отсутствии информации об исходной тестовой видеозаписи (без информации об исходном видеосигнале, NR – No Reference).

Метод на основе опорного образца (Full Reference) обеспечивает наилучший результат в части точности оценки. Использование при расчете показателя исходного видеоконтента для сравнения с принятым с помощью математического алгоритма позволяет получать оценки, наиболее близкие к результатам субъективных тестов с участием экспертов. Для автоматизированной объективной оценки качества видео в реальном времени в современных сетях мобильной связи наиболее широко используется алгоритм PEVQ-S (Rec. ITU-T J.343.5).

Алгоритм PEVQ-S

Алгоритм PEVQ-S построен на основе анализа большого массива экспертных оценок по результатам просмотров тестового видеоконтента, качество которого изменяется в широком диапазоне. Алгоритм PEVQ-S обеспечивает высокую корреляцию результатов расчета и субъективных экспертных оценок восприятия качества соответствующих образцов видеоконтента.

Показатель качества видео рассчитывается в соответствии с рекомендациями по применению алгоритма PEVQ-S Rec. ITU-T J.247 и Rec. ITU-T J.343.5. Результат расчета отображается согласно пятибалльной шкале MOS оценок качества в соответствии с рекомендациями ITU-T P.800. Пятибалльная шкала субъективных оценок алгоритма PEVQ-S, по существу, отражает степень удовлетворенности абонента качеством видеоконтента, воспринимаемого визуально.

В таблице 1 приводится шкала дискретных значений оценок по пятибалльной шкале MOS.

Квалификация уровня качества	Шкала дискретных значений оценок MOS	Искажения
Отлично	5	Не заметны
Хорошо	4	Заметны, но не мешают просмотру
Удовлетворительно	3	Заметны, немного мешают просмотру
Приемлемо	2	Мешают просмотру, но допустимо
Плохо	1	Очень мешают просмотру, неприемлемо

Алгоритм PEVQ-S позволяет прогнозировать влияние искажений, возникающих в канале передачи данных, на субъективное восприятие качества видео абонентом. Основные области применения алгоритма – мультимедиа и мобильные приложения, используемые для просмотра контента, поступающего из интернета. Специальные возможности алгоритма PEVQ-S:

- временное выравнивание входных последовательностей, на основе многомерного корреляционного анализа характеристик, включая длительность отсечки (clipping), “замирания” (frame freezing) и пропуски кадров (frame skipping);

Таблица 1.
Соответствие оценок уровню качества видео

- полнокадровое пространственное выравнивание;
- алгоритм цветового выравнивания;
- обнаружение и корректное взвешивание “замираний” кадров и пропущенных кадров;
- оценка восприятия деградаций;
- деградация, обусловленная потерей пакетов и битовыми ошибками, возникающими при передаче потока;
- поддержка зашифрованных и не зашифрованных потоков данных.

Для контроля качества видео используется 5 индикаторов. Эти индикаторы определены на основе анализа функций системы визуального восприятия человека (Human visual system, HVS). Особенности маскировки восприятия системой HVS человека моделируются на нескольких этапах алгоритма. Итоговые значения индикаторов объединяются на основе особого алгоритма пространственной и временной агрегации.

На первом этапе накапливается информация необходимая для выравнивания в части монохромных и «замерших» или пропущенных кадров. На втором этапе кадры синхронизируются в пространственной, временной и цветовой областях, затем следует сравнение визуальных различий по яркости и цветности, с учетом эффектов маскирования и движения. Дополнительно к сравнению изображений анализируется поток передаваемых данных на наличие ошибок на уровне транспортной сети (потери пакетов, задержки и др.). Все перечисленные этапы (шаги) приводят в результате к набору индикаторов, каждый из которых отражает соответствующий аспект качества.

На завершающем этапе выполняется агрегация индикаторов с помощью нелинейной функции для расчета итоговой оценки по шкале MOS

Благодаря небольшому количеству индикаторов и, соответственно, малой степени свободы модель лишена избыточности и очень устойчива. Это позволяет эффективно внедрять алгоритм PEVQ-S и обеспечивать высокую точность оценки.

На рисунке 2 показана функциональная схема, отражающая основную идею алгоритма PEVQ-S (см. Rec. ITU-T J.343.5.). Расчет оценки PEVQ-S выполняется на основе гибридного алгоритма с использованием опорного образца видео (Hybrid-FR – Hybrid Full Reference). Для расчета используются три источника данных: опорный (исходный) поток неискаженных данных (SRC, S – Source reference channel), обработанная последовательность видеок кадров (PVS, P – Processed Video Sequence) и накапливаемый на приемной стороне файл битового потока В (PCAP).

Схема включает два основных модуля: модуль анализа битового потока и модуль анализа на основе пикселей изображения. Модуль анализа битового потока определяет наличие потерь пакетов битового потока В (PCAP), поступающего на вход блока предварительной обработки (Preprocessing) и формирует на выходе блока агрегации (Agregation) индикатор (Bitstream indicator), характеризующий временные и пространственные искажения.

В модуле анализа на основе пикселей выполняется детальный анализ искажений на основе распакованных опорной SRC и преобразованной PVS видео последовательностей. Последовательности SRC и PVS поступают на вход блока предварительной обработки (Preprocessing). Выравнивание в пространстве, по времени и цвету выполняется в блоке полного выравнивания последовательности (Detailed sequence alignment). На выходе модуля в блоке анализа пространственных искажений (Spatial distortion analysis) регистрируются индикаторы, отражающие интенсивность искажений, в части длительности (Temporal), охвата поля изображения (Field), яркости (Luminance) и цветности (Chrominance).

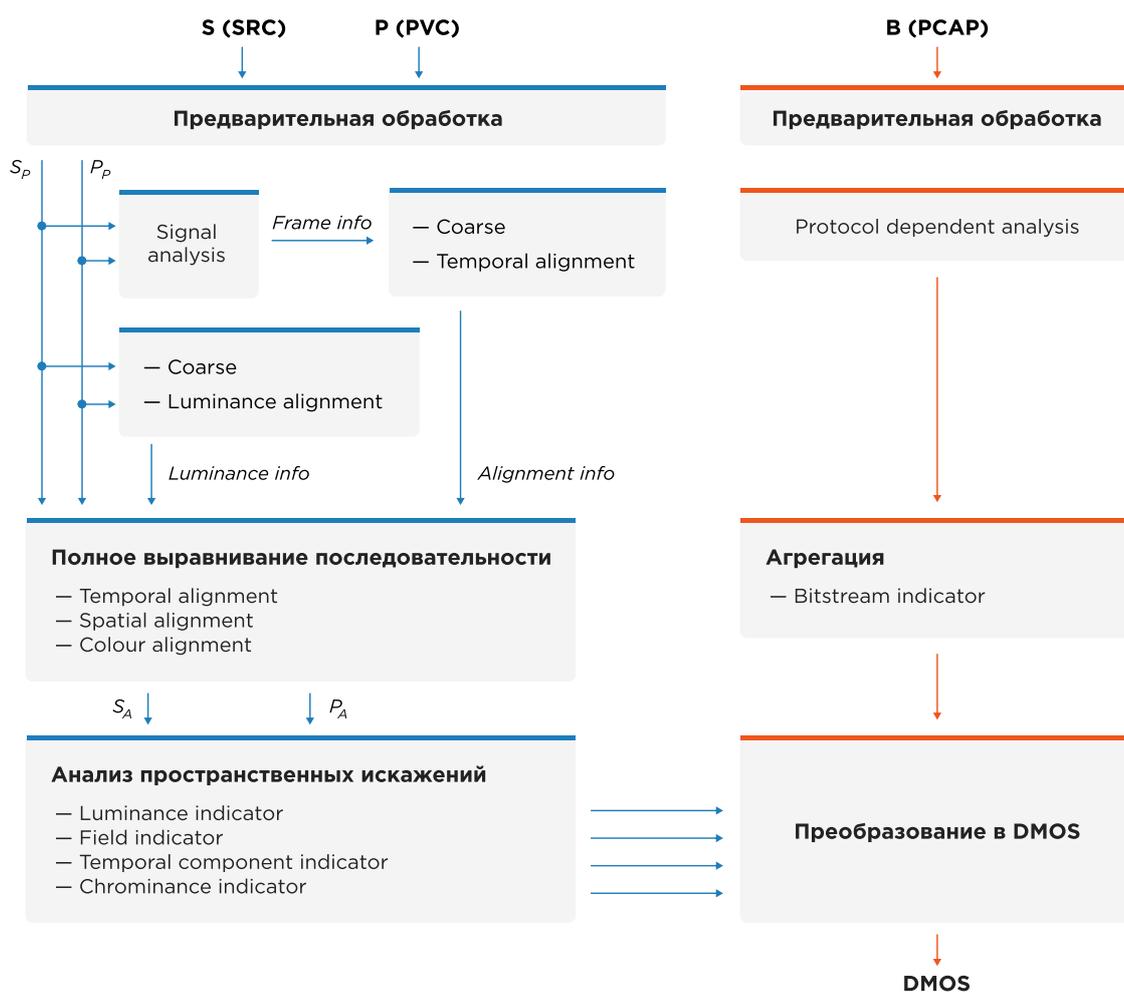


Рисунок 1.
Функциональная схема
алгоритма PEVQ-S

На завершающем этапе 5 рассчитанных индикаторов взвешиваются и агрегируются в блоке преобразования (Mapping to DMOS) для расчета показателя DMOS (Difference Mean Opinion Score – дифференциальная оценка качества) и, соответственно, финального значения оценки PEVQ-S в баллах (см. ITU-T P.910). Итоговая оценка PEVQ-S обеспечивает высокую корреляцию с оценками субъективных тестов по шкале MOS.

Специальное программное обеспечение позволяет реализовать алгоритм PEVQ-S на современных типовых абонентских устройствах (смартфонах, планшетах и ноутбуках) и проводить автоматизированный контроль качества потокового видео, предоставляемого абонентам при использовании мультимедийными приложениями и устройствами в сетях связи.

Технология выполнения тестов на основе алгоритма PEVQ-S

Воспроизведение видео на мобильных устройствах относится к категории сервисов, доставляющих видеоконтент через Интернет. Поскольку доставка контента потребителю реализуется с помощью платформы, которая является внешней по отношению к оператору связи, такой сервис называют сервисом OTT («over the top»).

Технические возможности современной версии алгоритма PEVQ-S позволяют отражать повышение качества видео, обусловленное внедрением новейших технологий и режимов в сетях связи. Кроме того, текущая версия алгоритма демонстрирует возможность эффективно оценивать влияние факторов, характеризующих разные участки OTT-процесса доставки контента на абонентское устройство. Основные субъекты процесса доставки и преобразования контента: владелец контента, провайдер OTT-сервиса, оператор сети связи и производитель абонентского устройства. Каждый субъект обеспечивает качество на соответствующем участке. Основные участки и технические элементы процесса:

- **Качество контента (владелец контента):**
 - 4K, HD, SD, частота кадров;
 - Кодирование, распаковка.
- **Качество кодированного контента (провайдер OTT-сервиса):**
 - Кодирование, декодирование, скорость передачи данных;
 - Кодек H.264, H.265.
- **Качество доставки контента по каналу передачи данных (обеспечивает оператор сети связи):**
 - адаптивный протокол потока данных;
 - полоса пропускания, потери пакетов, формат качества (разрешение), размещение данных в памяти для ускоренного доступа (кэширование).
- **Качество отображения на экране (обеспечивает производитель абонентского устройства):**

- матрица (экран), операционная система, приложение (плеер);
- устройство (телевизор, ноутбук, смартфон).

Для наглядности на рисунке 2 приводится последовательность этапов преобразования видеоконтента на каждом участке процесса ОТТ.



Технология тестирования качества потокового видео основана на имитации поведения реального абонента. Для оценки качества видео автоматически выполняются повторяющиеся циклы загрузки и воспроизведения контента, размещенного, например, на платформе YouTube. В качестве тестового контента используется эталонный образец видео (видеоклип) высокого качества, который обычно включается в состав комплекта поставки измерительного оборудования или приобретается дополнительно и обеспечивает корректные оценки в соответствии с алгоритмом PEVQ-S. Качество принимаемого образца видео оценивается по пятибалльной шкале MOS, характеризующей восприятие просматриваемого видеоклипа абонентом.

Рисунок 2.
Участки процесса преобразования видеоконтента

Пример результатов тестов

В качестве примера рассмотрим изменение оценок качества воспроизведения видеоклипа, зарегистрированных с помощью тестового мобильного телефона. Оценки по шкале MOS получены на основе результатов последовательности тестов, выполненных в действующей сети мобильной связи с помощью программно-аппаратного комплекса Nemo InveX и Nemo Analyze производства компании Keysight Technologies. Каждый тест реализует воспроизведение эталонного видеоклипа длительностью 60 секунд.

В таблице 2 для справки приводятся форматы качества изображения, зарегистрированные в сети.

Качество изображения	Формат разрешения
Стандартное (SD)	256x144
Стандартное (SD)	426x240
Стандартное (SD)	640x360
Стандартное (SD)	854x480
Высокое (HD)	1280x720
Высокое (Full HD)	1920x1080

Таблица 2.
Качество изображения в соответствии с форматами разрешения.

Снижение оценок обусловлено влиянием негативных факторов, которые приводят к искажениям изображения на экране абонентского устройства. Важно учитывать, что характер искажений определяется ошибками преобразования и доставки контента, которые могут возникать на любом участке процесса OTT. Такие ошибки приводят к нарушению целостности изображения как во времени, так и в пространстве.

Возможные проявления временных искажений:

- мерцание яркости или цвета (Flickering), особенно заметно мелкозернистое и крупнозернистое мерцание;
- затуманивание и/или мерцание на резких границах переднего и заднего планов (Mosquito noise);
- кажущееся движение переднего плана относительно заднего (Floating);

- дрожание изображения, обусловленное дискретизацией кадров (Jerkiness).

Примеры проявления пространственных искажений:

- «размытие» деталей, обычно на резких краях изображений (Blurring);
- ореол или шлейф на резких границах изображений (Ringing);
- «просачивание» и наложение цветов на краях объектов изображения (Color bleeding);
- шум в виде ступенек на диагональных и искривленных краях объектов изображения (Staircase noise).

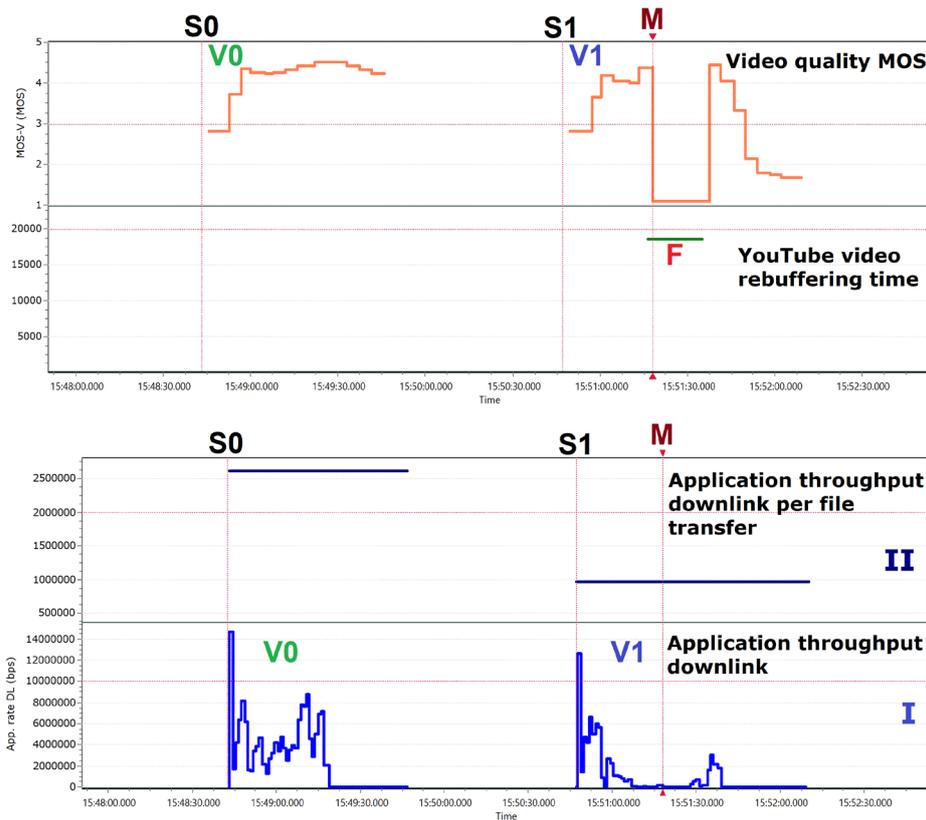
Алгоритм PEVQ-S обладает высокой чувствительностью к подобным артефактам, что проявляется в снижении оценок по шкале MOS.

Надежность и скорость передачи данных по каналу сети связи влияют, в частности, на стабильность и скорость доставки информации для воспроизведения видеопотока в реальном времени. Заметное уменьшение скорости потока данных (bitrate) может приводить к ухудшению разрешения и «замираниям» (stalling, freezing) и/или пропускам фрагментов изображения.

Далее на рисунке 3 наглядно показано влияние скорости доставки контента на непрерывность воспроизведения клипа и на формат разрешения изображения на экране абонентского устройства. Рассматриваются две последовательные сессии воспроизведения видео **V0** и **V1**.

Рисунок 3.

Динамика изменения характеристик, влияющих на качество воспроизведения видеоклипа



	Stream resolution	Time	Stream resolution	Time
▲ Numerical Data	5149. 426x240	15:48:52.811	5204. 426x240	15:50:58.042
MOS-V	5150. 426x240	15:48:53.632	5205. 426x240	15:50:59.037
Duration (ms)	5151. 426x240	15:48:54.631	5206. 426x240	15:51:00.031
Buffering	5152. 426x240	15:48:55.630	5207. 854x480	15:51:01.031
	5153. 426x240	15:48:56.634	5208. 854x480	15:51:02.035
	5154. 1280x720	15:48:57.632	5209. 854x480	15:51:03.034
	5155. 1280x720	15:48:58.634	5210. 854x480	15:51:04.037
	5156. 1280x720	15:48:59.641	5211. 854x480	15:51:05.037
	5157. 1280x720	15:49:00.636	5212. 854x480	15:51:06.042
	5158. 1280x720	15:49:01.637	5213. 854x480	15:51:07.039
	5159. 1280x720	15:49:02.635	5214. 854x480	15:51:08.091
	5160. 1280x720	15:49:03.641	5215. 854x480	15:51:09.240
	5161. 1280x720	15:49:04.657	5216. 854x480	15:51:10.239
	5162. 1280x720	15:49:05.643	5217. 854x480	15:51:11.042
	5163. 1280x720	15:49:06.647	5218. 854x480	15:51:12.043
	5164. 1280x720	15:49:07.841	5219. 854x480	15:51:13.040
	5165. 1280x720	15:49:08.841	5220. 1920x1080	15:51:14.048
	5166. 1280x720	15:49:09.842	5221. 1920x1080	15:51:15.247
	5167. 1280x720	15:49:10.846	5222. 1920x1080	15:51:16.043
	5168. 1280x720	15:49:11.665	5223. 1920x1080	15:51:16.444
	5169. 1280x720	15:49:12.848	5224. 1920x1080	15:51:17.482
	5170. 1280x720	15:49:13.657	5225. 1920x1080	15:51:18.064
	5171. 1280x720	15:49:14.656	5226. 1920x1080	15:51:19.061
	5172. 1280x720	15:49:15.654	5227. 1920x1080	15:51:20.059
	5173. 1280x720	15:49:16.676	5228. 1920x1080	15:51:21.022
	5174. 1280x720	15:49:17.657	5229. 1920x1080	15:51:22.060
	5175. 1280x720	15:49:18.661	5230. 1920x1080	15:51:23.059
	5176. 1280x720	15:49:19.663	5231. 1920x1080	15:51:24.065
	5177. 1280x720	15:49:20.662	5232. 1920x1080	15:51:25.065
	5178. 1280x720	15:49:21.686	5233. 1920x1080	15:51:26.063
	5179. 1920x1080	15:49:22.662	5234. 1920x1080	15:51:27.068
	5180. 1920x1080	15:49:23.667	5235. 1920x1080	15:51:28.070
	5181. 1920x1080	15:49:24.671	5236. 640x360	15:51:29.074
	5182. 1920x1080	15:49:25.670	5237. 640x360	15:51:30.071
	5183. 1920x1080	15:49:26.671	5238. 640x360	15:51:31.075
	5184. 1920x1080	15:49:27.674	5239. 256x144	15:51:32.112
	5185. 1920x1080	15:49:28.675	5240. 256x144	15:51:33.073
	5186. 1920x1080	15:49:29.677	5241. 256x144	15:51:34.074
	5187. 1920x1080	15:49:30.679	5242. 256x144	15:51:35.074
	5188. 1920x1080	15:49:31.682	5243. 256x144	15:51:36.076
	5189. 1920x1080	15:49:32.684	5244. 256x144	15:51:37.074
	5190. 1920x1080	15:49:33.668	5245. 256x144	15:51:38.074
	5191. 1920x1080	15:49:34.688	5246. 256x144	15:51:39.075
	5192. 1920x1080	15:49:35.692	5247. 256x144	15:51:40.079
	5193. 1920x1080	15:49:36.695	5248. 256x144	15:51:41.076
	5194. 1920x1080	15:49:37.696	5249. 256x144	15:52:00.079
	5195. 1920x1080	15:49:38.698	5250. 256x144	15:52:01.078
	5196. 1920x1080	15:49:39.699	5251. 256x144	15:52:02.248
	5197. 1920x1080	15:49:40.701	5252. 256x144	15:52:03.076
	5198. 1920x1080	15:49:41.703	5253. 256x144	15:52:04.077
	5199. 1920x1080	15:49:42.703	5254. 256x144	15:52:05.076
	5200. 1920x1080	15:49:43.705	5255. 256x144	15:52:06.077
	5201. 1920x1080	15:49:44.706	5256. 256x144	15:52:07.280
	5202. 1920x1080	15:49:45.709	5257. 256x144	15:52:08.281
	5203. 1920x1080	15:49:46.935	5258. 256x144	15:52:09.079
	5204. 426x240	15:50:58.042	5259. 640x360	15:52:09.993

В верхней части рисунка 3 слева приводятся графики изменения оценок качества видео PEVQ-S по шкале MOS (Video quality MOS – оранжевый цвет) и длительности повторной буферизации (YouTube video rebuffering time [ms] – зеленый цвет). В нижней части рисунка 3 слева на графике I показаны изменения мгновенных значений скорости передачи данных Application throughput downlink (регистрируются примерно каждую секунду), на графике II – средние значений скорости для каждой сессии воспроизведения Application throughput downlink per file transfer. В правой части рисунка 3 в таблицах отражено изменение форматов разрешения для сессий **V0** (в рамке зеленого цвета) и **V1** (в рамке синего цвета). Графики и таблицы визуализируют динамику изменения скорости передачи данных, форматов разрешения, а также соответствующих оценок качества изображения. Графики и таблицы отражают последовательность и длительность процедур первичной буферизации, повторной буферизации и смены форматов разрешения.

Маркеры **S0** и **S1** отмечают начало (старт) сессий воспроизведения **V0** и **V1**, соответственно, а также моменты инициализации первичной буферизации потоковых данных. Маркер **M** установлен в точке, соответствующей инициализации повторной буферизации (buffering) данных сессии **V1**.

Сессия **V0** выполнена успешно в штатном режиме. Скорости передачи данных не ниже 1,2 Mbit/s, при этом средняя скорость для сессии составляет около 2,6 Mbit/s, формат разрешения на начальном этапе устанавливается 426x240, затем повышается до HD (1280x720) и удерживается в течение примерно 25 секунд, далее качество изображения улучшается до Full HD и сохраняется в течение примерно 25 секунд до конца сессии воспроизведения. Оценка качества при воспроизведении в форматах HD и Full HD не опускалась ниже значения 4,2 баллов по шкале MOS («хорошо»).

На примере сессии **V1** можно наблюдать влияние существенного и продолжительного снижения скорости (до 1000 bit/s) на качество изображения. При этом средняя скорость для сессии составляет около 1,0 Mbit/s. На графиках и в таблице символом **F** красного цвета отмечен интервал времени (около 18,5 секунд), в течение которого происходило повторное заполнение буфера, что привело к «замиранию» (freezing) изображения на экране, поскольку воспроизведение сессии **V1** было остановлено. Непосредственно перед остановкой оценка качества составляла около 4,4 MOS («хорошо»). Во время остановки оценка качества составляла 1,1 MOS или «плохо», т.е. неприемлемое для просмотра изображение.

Важно отметить, что после перерыва воспроизведение продолжалось с сохранением качества Full HD и без потери кадров клипа с момента остановки. Затем формат изображения быстро ухудшился с уровня Full HD до SD 256x144

и сохранялся в течение примерно 19 секунд до окончания воспроизведения. Оценка качества PEVQ-S по шкале MOS также быстро понизилась со значения около 4,4 MOS («хорошо») до значений 3,3 MOS («удовлетворительно»), 2,1 MOS («приемлемо») и ниже, вплоть до невозможности продолжать просмотр.

Применение результатов оценки качества видео

Технические возможности современной версии алгоритма PEVQ-S (Rec. ITU-T J.343.5 (11/2014)) позволяют эффективно оценивать качество услуг потокового видео, которое операторы сетей связи предоставляют абонентам.

Анализ распределения оценок качества воспроизведения эталонного видеоклипа на разных маршрутах и точках объекта исследования позволяет определить наличие и масштаб проблем в части качества потокового видео. Предметный анализ распределения оценок на маршруте драйв-теста, с учетом характеристик качества радиопокрытия, используемых технических ресурсов и сетевой статистики позволяет локализовать участки, определить возможные причины снижения качества видео и планировать действия по улучшению качества совместно с участниками процесса ОТТ.