

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ РЕЧИ НА ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С РАЗМЕЩЕНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ СВЯЗИ НА НИЗКИХ И СРЕДНИХ ОРБИТАХ ПО ОБЪЕКТИВНОЙ МОДЕЛИ УРОВНЯ ПАКЕТОВ

В.А. Зорин, Р.К. Савельев

Качество передачи речи по тестируемым трактам пакетной сети связи оценивается по субъективным и объективным методикам. Методика субъективной (экспертной) оценки описана в Рекомендации МСЭ Р.800 и известна, как методика MOS (Mean Opinion Score). В соответствии с Рекомендацией МСЭ G.107 в основу объективной методики положена E-модель.

Ключевые слова: качество связи, спутниковая связь, оценка, субъективная методика, объективная методика

QUALITY ASSESSMENT OF SPEECH TRANSMISSION ON A GLOBAL SATELLITE NETWORK WITH THE PLACEMENT OF SPACECRAFT COMMUNICATION AT LOW AND MEDIUM ORBITS FOR OBJECTIVE MODEL PACKET LEVEL

Savelev R., Zorin V.

The quality of a tested paths of the packet network connection is assessed by subjective and objective methods. Methodology for the subjective (expert) estimation described in Recommendation ITU R. 800 and known as the MOS method (Mean Opinion Score). In accordance with Recommendation ITU G. 107 the basis of an objective methodology based on E-model.

Key words: the quality of communication, satellite communication, assessment, subjective method, objective method

Необходимость объективной оценки передачи речи появилась при тестировании трактов пакетных сетей по технологии *Vo IP*. По *E*-модели оценка тестируемого тракта осуществляется в единицах рейтинга (*R*-фактор) от 0 до 100.

Параметры *R*-фактора и другие характеристики речевых кодеков зависят от их типов. Типы речевых кодеков и их характеристики приведены в таблице 1.

R-фактор тестируемого тракта зависит от времени прохождения сигнала на сети и задержек в кодах. Время прохождения сигнала на сети зависит от физического расстояния между точкой входа и точкой выхода из сети связи, а также от времени прохождения пакета на промежуточных узлах.

Сеть космической связи на негеостационарных орбитах космических аппаратов представляет собой двухуровневую сеть связи. Сеть связи включает транспортную сеть космической связи на базе космических станций и соединяющих их межспутниковые соединительные линии (МСЛ), а также сеть дос-

тупа (СД) земных станций (абонентских терминалов) к транспортной сети космической связи.

ТАБЛИЦА 1. Типы речевых кодеков и их характеристики

Кодек	Скорость передачи, кбит/с	Размер речевого пакета, (мс)	Задержка при кодировании (декодировании), (мс)	Занимаемая полоса частот двухнаправленного соединения, (кбит)	Задержка в буфере джиттера	Теоретическая максимальная оценка MOS
G.711	64	20	1	174,4	2 пакета (40 мс)	4,4
G.726	32	20	1	110,4	2 пакета (40 мс)	4,22
G.729	8	20	25	62,4	2 пакета (40 мс)	4,07
G.723m	6,3	30	67,5	43,73	2 пакета (60 мс)	3,87
G.723a	5,3	30	67,5	41,6	2 пакета (60 мс)	3,69

Общее время задержки пакетов T_3 составит:

$$T_3 = t_{\text{код.ПРД}} + t_{\text{СД}} + t_{\text{МСЛ}} + t_{\text{код.ПРМ}}, \quad (1)$$

где: $t_{\text{код.ПРД}}$ – время задержки пакета в кодеке (формирование пакета) на передаче, $t_{\text{СД}}$ – время задержки пакета на сети доступа, $t_{\text{МСЛ}}$ – время задержки пакета на межспутниковых линиях связи, $t_{\text{код.ПРМ}}$ – время задержки пакета в кодеке на приеме.

Время задержки пакетов на промежуточных узлах можно не учитывать в связи с приоритетом речевых сообщений по отношению к другим сообщениям.

Из приведенных типов кодеков (табл. 1) можно выделить высокоскоростные (64 и 32 Кбит/с) и низкоскоростные (8; 6,3; 5,3 Кбит/с).

В высокоскоростных кодеках формируется пакет в течение 20 мс, его время кодирования составляет 1 мс. Отсюда: $t_{\text{код.ПРД}} = 20 + 1 = 21$ мс.

На приеме в кодеке осуществляется компенсация вариации задержки (в буфере джиттера) путем задержки до двух пакетов с временем задержки 40 мс. Время декодирования пакета равно времени кодирования, то есть равно 1 мс. Отсюда: $t_{\text{код.ПРМ}} = 40 + 1 = 41$ мс.

Для низкоскоростных кодеков: $t'_{\text{код.ПРД}} = 30 + 67,5 = 97,5$ мс, $t'_{\text{код.ПРМ}} = 60 + 67,5 = 127,5$ мс.

Время задержки на сети доступа $t_{\text{СД}}$ включает задержки на восходящей и нисходящей радиоперелиниях спутниковой связи. Отсюда:

$$t_{\text{сд}} = \frac{L_{\text{В}} + L_{\text{Н}}}{C_0},$$

где: $L_{\text{В}}$ – длина восходящей линии, $L_{\text{Н}}$ – длина нисходящей линии, C_0 – скорость света.

Суммарная длина восходящей и нисходящей радиолиний будет равна двум известным значениям наклонной дальности связи d :

$$L_B + L_H = 2d = 2R_3 \sqrt{\left(1 + \frac{H}{R_3}\right) - 1}.$$

Результаты расчета времени задержки сигнала на сети доступа для основных значений низковысотных и средневысотных орбитальных группировок приведены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Время задержки сигнала для основных значений высот ОГ

Тип ОГ	Низковысотные			Средневысотные		
H (тыс. км)	0,7	1,5	3	10	20	30
$T_{сд}$	20	30	45	100	170	238

Максимальная длина таких линий равна длине круговой орбиты $L_{ОРБ}$ без одной МСЛ при однонаправленном соединении:

$$t_{МСЛ} = L_{ОРБ} - \frac{L_{ОРБ}}{n},$$

где: $L_{ОРБ} = 2\pi(R_3 + H)$, n – число КА на орбите, $R_3 = 6371$ км.

При двунаправленном соединении:

$$L'_{МСЛ} = \frac{L_{ОРБ}}{n} \text{ и } t_{МСЛ} = \frac{2\pi(R_3 + H)}{2C_0}.$$

Результаты расчета $t_{МСЛ}$ для двунаправленного соединения сведены в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3. Время задержки сигнала на межспутниковых соединительных линиях для различных значений высот ОГ

Тип ОГ	Низковысотные			Средневысотные		
H (тыс. км)	0,7	1,5	3	10	20	30
$\frac{1}{2} l_{орб \max}$ (тыс. км)	22,2	24,7	29,4	51,4	82,8	114,2
$t_{МСЛ}$ (мс)	75	82	98	173	276	387

Потери пакетов влияют на оценку MOS [1]. В связи с компенсацией потерь пакетов выражение (1) дополнится задержкой $t_{зад}$:

$$T_3 = t_{код.ПРД} + t_{сд} + t_{МСЛ} + t_{код.ПРМ} + t_{зад}. \quad (2)$$

Результаты расчета общего времени задержки пакетов для основных значений высот ОГ с 1 % потерей пакетов с применением высокоскоростных кодов сведены в таблице 4.

Результаты расчета общего времени задержки пакетов для основных значений высот ОГ с 1 % потерей пакетов с применением низкоскоростных кодеков сведены в таблице 5.

ТАБЛИЦА 4. Общее время задержки (T_3) пакетов для основных значений высот ОГ с применением высокоскоростных кодеков

Тип ОГ	Низковысотные			Средневысотные		
H (тыс. км)	0,7	1,5	3	10	20	30
T_{CD} (мс)	20	30	45	100	170	238
t_{MSL} (мс)	75	82	98	173	276	387
$t_{код.ПРД}$ (мс)	21					
$t_{код.ПРМ}$ (мс)	41					
$t_{зд}$ (мс)	100					
T_3	257	274	305	435	608	787

ТАБЛИЦА 5. Общее время задержки (T_3) пакетов для основных значений высот ОГ с применением низкоскоростных кодеков

Тип ОГ	Низковысотные			Средневысотные		
H (тыс. км)	0,7	1,5	3	10	20	30
T_{CD} (мс)	20	30	45	100	170	238
t_{MSL} (мс)	75	82	98	173	276	387
$t_{код.ПРД}$ (мс)	97,5					
$t_{код.ПРМ}$ (мс)	127,5					
$t_{зд}$ (мс)	90					
T_3	410	427	458	588	761	940

По результатам данной объективной оценки качества передачи речи определяется оценка MOS (субъективная оценка по слышимости речи) в связи с тем, что E -моделью значение R -фактора однозначно сопоставлено со сквозными задержками (табл. 6).

ТАБЛИЦА 6. Соотношение значения R -фактора и величины сквозных задержек

Задержки (мс)	0	50	100	150	200	250	300	350	400
R -фактор	93,19	91,74	90,65	89,53	85,79	79,17	72,66	67,02	62,24

Результаты расчета R -фактора, времени сквозной задержки пакетов при 1 % потери пакетов, оценки MOS , категории качества и классы качества для различных значений высот ОГ при применении высокоскоростных кодеков сведены в таблице 7. Результаты расчета с применением низкоскоростных кодеков сведены в таблице 8.

ТАБЛИЦА 7. Время задержки пакетов при 1 % потерях пакетов, R -фактор, оценка MOS , категория качества и класс качества передачи речи для различных значений высот ОГ с применением высокоскоростных кодеков

Тип ОГ	Низковысотные			Средневысотные		
H (тыс. км)	0,7	1,5	3	10	20	30
T_3	257	274	305	435	608	787
R	87	85	83	67	57	52
MOS	4,3	4,17	4,1	3,55	–	–
Категория качества	высокая (хорошо)	высокая (хорошо)	высокая (хорошо)	низкая (плохо)	неприемлемо	неприемлемо
Класс качества	1 (высокий)	1 (высокий)	1 (высокий)	3 (низкий)	–	–

ТАБЛИЦА 8. Время задержки пакетов при 1 % потерях пакетов, R -фактор, оценка MOS , категория качества и класс качества передачи речи для различных значений высот ОГ с применением низкоскоростных кодеков

Тип ОГ	Низковысотные			Средневысотные		
H (тыс. км)	0,7	1,5	3	10	20	30
T_3	410	427	458	588	761	940
R	67,02	63	62	52	–	–
MOS	3,5	3,3	3,2	–	–	–
Категория качества	низкая (плохо)	низкая (плохо)	низкая (плохо)	низкая (плохо)	неприемлемо	неприемлемо
Класс качества	3 (низкий)	3 (низкий)	3 (низкий)	–	–	–

Из таблицы 7 видно, что с применением высокоскоростных кодеков можно получить по категории высокое качество (хорошо) и 1-ый класс (высокий) качества передачи речи на высотах орбит до 3 тыс. км. На высотах орбит 10 тыс. км – низкое качество (плохо) по категории и 3-й класс качества (низкий) передачи речи. На высотах орбит 20 тыс. км и выше – неприемлемое качество передачи речи.

С применением низкоскоростных кодеков (табл. 8) можно получить по категории только низкое (плохое) качество и 3-ой класс (низкий) качества передачи речи на высотах орбит до 3 тыс. км. На высотах орбит 10 тыс. км и выше – неприемлемое качество передачи речи (не указано).

Список используемых источников

1. Нейман В. И., Селезнев Д. А. Дальнейшая интеграция сетей и задачи обеспечения качества телефонной связи // Электросвязь. 2007. № 6. С. 38–41.