

ТРАНСПОРТ. ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 65.40.21.5

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ РЕЧИ В СЕТЯХ ОПЕРАТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ*

Рахмангулов А.Н.¹, Мирсагдиев О.А.²¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия² Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Представлено описание состава и структуры имитационной модели процессов передачи речи в сетях оперативно-технологической связи на железнодорожном транспорте. Имитационная модель построена с использованием системно-динамического подхода к имитационному моделированию и реализована при помощи программного инструмента AnyLogic. В основу разработанной имитационной модели положена «Е-модель» расчета показателя качества передачи речи («R-фактора»), модифицированная для условий, специфичных для сетей оперативно-технологической связи на железнодорожном транспорте. Предлагаемая имитационная модель позволяет производить оперативную оценку и прогноз качества передачи речи в сетях различного типа, конфигурации, структуры, а также при изменениях внешних условий.

Ключевые слова: качество передачи речи, R-фактор, E-модель, MOS-оценка, оперативно-технологическая связь, железнодорожный транспорт, имитационное моделирование, системная динамика, AnyLogic.

Введение

Обеспечение безопасности и надежности осуществления перевозочного процесса на железнодорожном транспорте является в настоящий момент важнейшим требованием рынка. Одно из направлений удовлетворения этого требования заключается в совершенствовании систем и средств обеспечения качественных коммуникаций в системах управления перевозками.

Наиболее сильное влияние на эффективность и безопасность перевозочного процесса оказывает качество систем коммуникаций на железнодорожном транспорте. Это, в первую очередь, связано со сложной уровневой структурой коммуникационных сетей на железнодорожном транспорте, состоящей из первичных и вторичных сетей. Первичные сети коммуникации представляют собой совокупность линий связи, сетевых станций и сетевых узлов, образующих сеть групповых трактов и каналов. На основе первичных сетей строятся вторичные сети коммуникации, в состав которых входят: телефонная

сеть общего пользования; сеть передачи данных для автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом; сети оперативно-технологической связи (ОТС).

На качество связи в сетях с подобной сложной структурой оказывает влияние множество факторов. В статьях [1, 2] представлен анализ существующих методик оценки качества передачи речи в сетях железнодорожной связи различной конфигурации и состава. Установлено, что наиболее точные результаты обеспечивают методики, основанные на комбинировании расчетов объективного показателя (R-фактор) с субъективной оценкой (MOS) качества передачи речи. Для расчета R-фактора были выбраны рекомендации Международного союза электросвязи (МСЭ) [3,4], основанные на использовании так называемой E-модели оценки качества передачи речи в сетях связи. Данные рекомендации МСЭ являются универсальными и позволяют учесть все известные факторы, оказывающие влияние на качество передачи речи. Это затрудняет практическое использование существующих методик применительно к условиям железнодорожного транспорта, в частности для оценки качества передачи речи в сетях оперативно-технологической связи. Предлагаемый про-

* Исследование выполнено при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ), грант № 14-38-50750.

граммный инструмент, с одной стороны, учитывает факторы, характерные для железнодорожных систем связи, а с другой – позволяет производить оперативную оценку качества передачи речи, давать прогноз качества при изменении параметров сетей и внешних условий, диагностировать причины ухудшения качества связи.

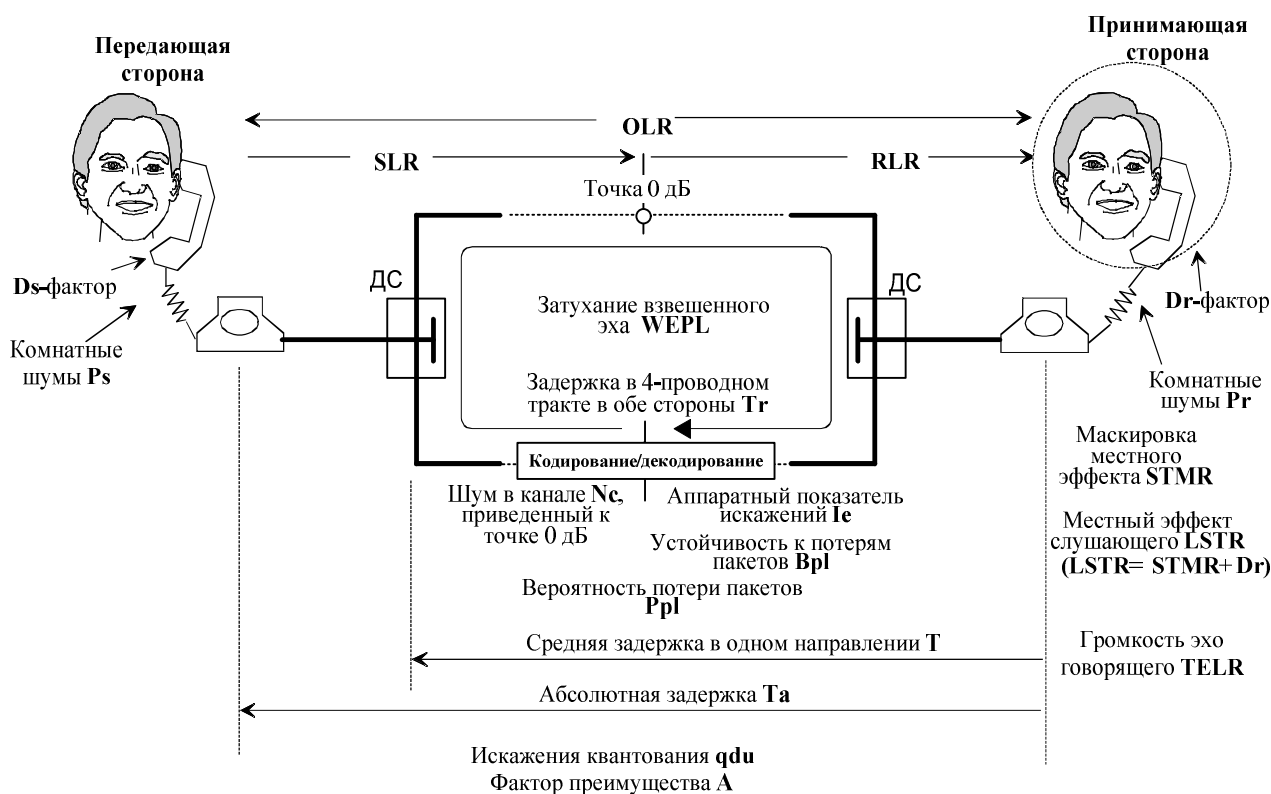
Оценка качества передачи речи на основе E-модели

E-модель представляет собой описание эталонного соединения передающей и принимающей сторон, предназначенного для передачи речи (рис. 1) [3, 8]. E-модель учитывает широкий спектр факторов, влияющих на качество передачи речи, связанных как с применяемыми кодеками и задержками в современных сетях с пакетной передачей данных, так и с «классическими» сбоями в телефонных сетях – различными шумами, «эхом» и тому подобное [8].

В сети связи, описываемой E-моделью, с помощью дифференциальных систем (ДС) проис-

ходит переход с двухпроводных трактов на четырёхпроводные и наоборот, а также осуществляется кодирование (аналого-цифровое преобразование) и декодирование (цифроаналоговое преобразование). Тракты с аналоговыми сигналами показаны на рис. 1 непрерывной линией, а с цифровыми – пунктирной. В середине речевого тракта выделяется стандартная точка 0 дБ. Качество связи оценивается на принимающей стороне, где находится слушающий абонент.

Факторы, представленные в E-модели, используются при расчете R-фактора, представляющего собой объективный показатель качества передачи речи. Расчет R-фактора выполняется по формулам, представляющим собой аналитические зависимости между факторами [3–6], учитываемыми E-моделью. Значения R-фактора сопоставимы с результатами субъективной MOS-оценки (Mean Opinion Score) качества связи. MOS-оценка применяется для предварительной оценки качества связи.



SLR (Send Loudness Rating), RLR (Receive Loudness Rating) – уровни громкости соответственно на передачу и прием, учитывающие акустико-электрические характеристики телефонного аппарата и затухание в тракте передачи речи, дБ;

OLR (Overall Loudness Rating) – общий уровень громкости между стандартными точками у рта говорящего и у уха слушающего, дБ.

Рис. 1. Схема E-модели оценки качества передачи речи в сетях связи

Достоинствами MOS-оценки является простота и оперативность её применения, отсутствие необходимости использования специальной аппаратуры, а соответственно, низкие затраты на оценку качества. Основным недостатком методики, основанной на MOS-оценке, заключается в невозможности выявления причин снижения качества связи и сложности выбора способов повышения качества. Несмотря на отмеченные недостатки, MOS-оценку эффективно использовать для контрольной оценки результатов расчетов R-фактора.

Взаимосвязь между значениями R-фактора и MOS-оценки устанавливается с использованием следующей системы правил:

$$\begin{cases} \text{MOS} = 1 \text{ при } R < 0; \\ \text{MOS} = 1 + 0.0035 * R + R * (R - 60) * (100 - R) * 7 * 10^{-6} \text{ при } 0 < R < 100; \\ \text{MOS} = 4.5 \text{ при } R \geq 100. \end{cases} \quad (1)$$

Наиболее характерные соотношения значений R-фактора и MOS-оценки представлены в табл. 1.

Таблица 1
Результаты сравнения значений R-фактора и MOS-оценки

Значение R-фактора	Значение MOS-оценки	Категория качества передачи речи	Оценка пользователя
90<R<100	4,34–4,50	Самая высокая	Очень хорошая
80<R<90	4,03–4,34	Высокая	Хорошая
70<R<80	3,60–4,03	Средняя	Часть пользователей оценивает качество как неудовлетворительное
60<R<70	3,10–3,60	Низкая	Многие пользователи оценивают качество как неудовлетворительное
50<R<60	2,58–3,10	Неприемлемая	Почти все пользователи оценивают качество как неудовлетворительное

В соответствии с существующими методиками расчет R-фактора производится для сетей связи общего назначения. Однако отмеченные выше особенности сетей передачи речи в ОТС делают актуальной задачу анализа возможности применения данного показателя для количественной оценки качества коммуникаций в системах управления на железнодорожном транс-

порте. Кроме того, при определении качества передачи речи в сети ОТС по сравнению с сетью, рассматриваемой в E-модели, необходимо учитывать следующие особенности.

Оперативное руководство перевозочным процессом на магистральном железнодорожном транспорте осуществляется одним поездным диспетчером в отделениях дорог или одним сменным помощником начальника оперативно-распорядительного отдела службы перевозок дороги. Станции участка, которыми руководит поездной диспетчер или сменный начальник, образуют диспетчерский круг. Голосовая связь в границах диспетчерского круга обеспечивается применением группового канала, в который параллельно подключается множество абонентских устройств. Групповой канал может иметь несколько ответвлений, образуя древовидную структуру. В цифровой сети речь передается через сумматоры, обеспечивающие групповую структуру канала, а также подключение множества ответвлений.

В сети ОТС разговор между абонентами происходит в полудуплексном режиме, предполагающем управление направлением передачи речи. При переходе с одного направления передачи речи на другое часто используются цифровые обнаружители речи, с помощью которых разговорный тракт переключается в требуемом направлении передачи.

Наконец, в сети ОТС кроме режима передачи речи от точки к точке (разговор между диспетчером и исполнителем) регулярно используется режим конференц-связи, когда один абонент круга говорит, а все остальные абоненты этого круга его слушают.

Вследствие указанных особенностей ряд параметров предлагается рассчитывать иначе, чем это предполагает E-модель. К таким параметрам относятся: уровень громкости эха у говорящего – TELR, затухание взвешенного эха – WEPL и суммарная мощность всех шумов в канале в точке 0 дБ – Nс.

Использование системно-динамического подхода для моделирования качества передачи речи в сетях связи

Системно-динамический подход к построению имитационных моделей представляет собой описание взаимосвязей между множеством параметров (переменных) исследуемой системы в динамике. С математической точки зрения си-

стемно-динамическая модель представляет собой систему дифференциальных уравнений. Динамика исследуемой системы, то есть изменение значений переменных модели, описывается при помощи потоков, соединяющих накопители (переменные). Два накопителя, соединенные потоком определенной интенсивности, моделируют уменьшение значения переменной, соответствующей запасу в накопителе-источнике потока, и увеличение значения переменной, соответствующей запасу в накопителе-получателе потока. Интенсивности потоков задаются переменными модели, значения которых могут изменяться в процессе моделирования [6, 7].

Описанный подход эффективен при моделировании процесса передачи речи в каналах связи, поскольку позволяет учесть сложные взаимосвязи множества факторов, влияющих на качества связи, а также динамику этих факторов.

В качестве инструмента построения системно-динамической модели сетей передачи данных выбрана программа AnyLogic, обладающая развитым графическим интерфейсом, широкими возможностями проведения разнообразных экспериментов с моделями и позволяющая эффективно строить и исследовать сложные модели в интерактивном режиме.

На текущем этапе построения имитационной модели оценки качества передачи речи в сетях оперативно-технологической связи на железнодорожном транспорте была разработана и верифицирована статическая модель расчета значений R-фактора. Такая модель включает в себя постоянные, значения которых специфичны для сетей ОТС, а также переменные, значения которых рассчитываются по аналитическим зависимостям, представленным в рекомендациях МСЭ [3–5]. Например, расчет величины эффективного

аппаратного показателя $Ie\text{-eff}$ производится по следующей формуле:

$$Ie\text{-eff} = Ie + (95 - Ie) \frac{Ppl}{\frac{Ppl}{BurstR} + Bpl}, \quad (2)$$

где Ie – величина потерь пакетов; Bpl – величина устойчивости к потерям пакетов; Ppl – вероятность потери пакетов; $BurstR$ – параметр всплесков средней длины наблюдаемых пульсаций в последовательности поступающих пакетов к средней длине пульсаций.

В имитационной модели, построенной в системе AnyLogic, зависимость (2) представляет собой изображение связей между переменной и $Ie\text{-eff}$ и постоянными (в данном простейшем примере) Ie , Bpl , Ppl и $BurstR$ (рис. 2).

Общий вид системно-динамической модели, имитирующей изменения значения R-фактора, представлен на рис. 3. Разработанная модель использовалась для исследования влияния на качество передачи речи в сетях ОТС различных факторов, характерных для сетей железнодорожной связи. Дальнейшее развитие модели предусматривает введение в неё накопителей и потоков, что позволит моделировать динамику внешних факторов, а также выявлять критические для качества связи сочетания этих факторов.

Значения переменных имитационной модели, при которых проводились её исследования, представлены в табл. 2. Основной задачей исследования было определение зависимостей значений R-фактора от условий, характерных для сетей ОТС на железнодорожном транспорте, и отличных от идеальных условий, представленных в рекомендации МСЭ – G.107 [3].

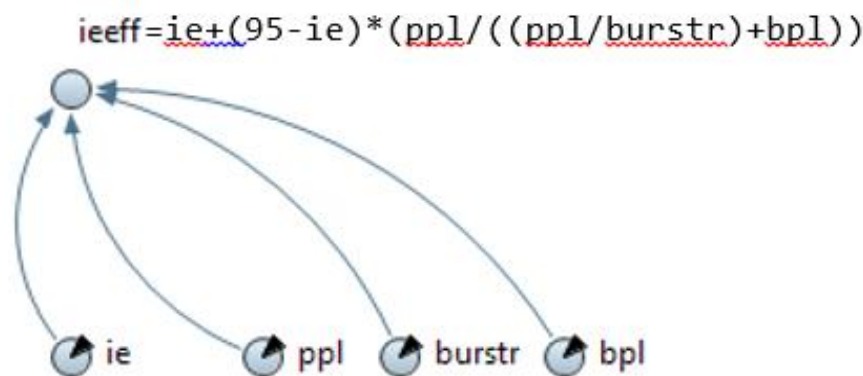


Рис. 2. Пример моделирования связей между переменной и постоянными в системно-динамической модели оценки качества передачи речи

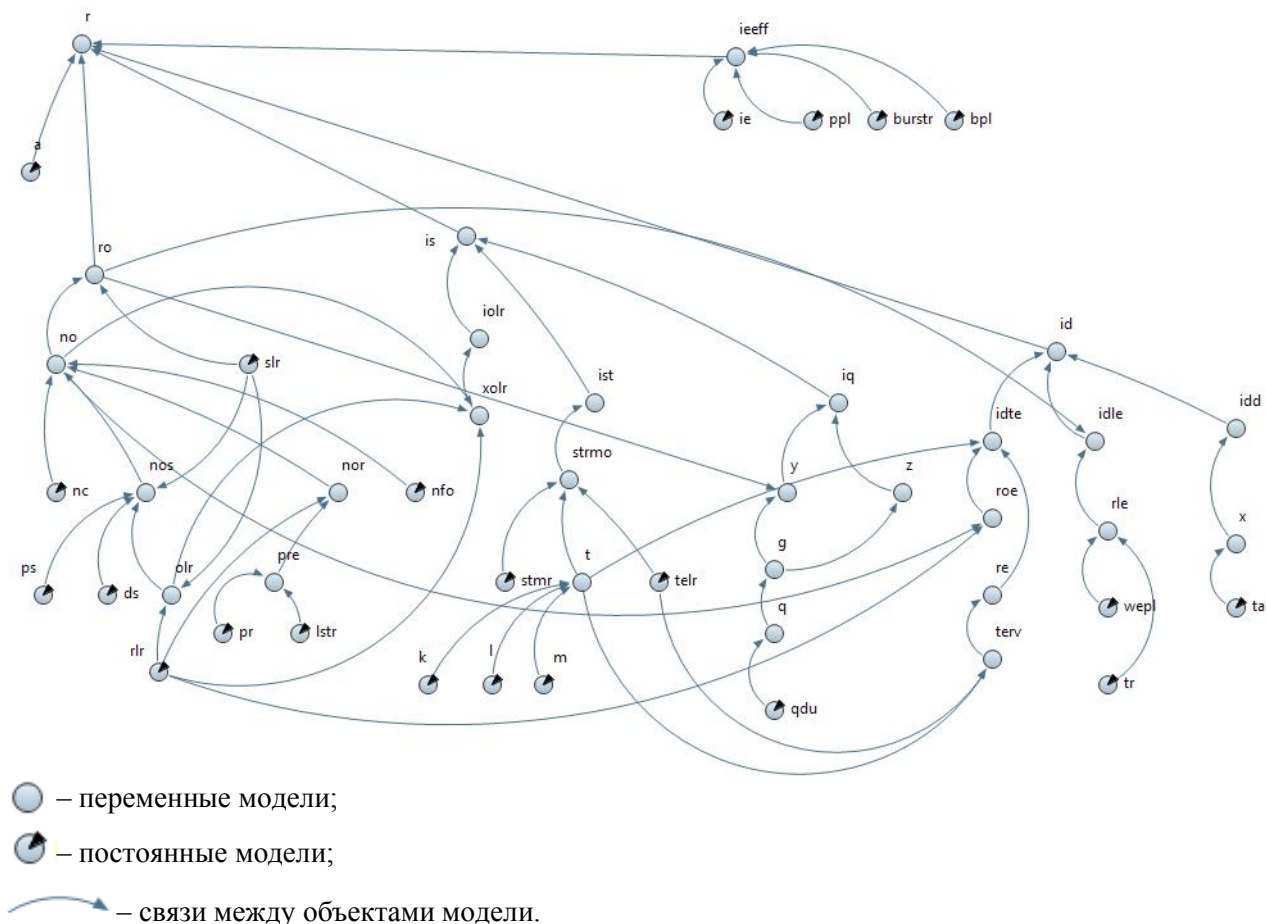


Рис. 3. Структура имитационной модели исследования R-фактора

Таблица 2

Значения переменных имитационной модели оценки качества передачи речи в сетях ОТС на железнодорожном транспорте

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Значения по рекомендациям МСЭ	Предел изменения по рекомендациям МСЭ	Значения для железнодорожного транспорта (кодек G.711)		
					Цифроаналоговая сеть	Цифровая сеть	Пакетная сеть
Уровень громкости на передачу	SLR	дБ	+8	0...+18	+7; +4.45	+7	+7
Уровень громкости на приём	RLR	дБ	+2	-5...+14	+3 + 0.45	+3	+3
Уровень громкости «эхо» у говорящего	TELRL	дБ	+65	-5...+65	+66, a _n =56дБ	+85, a _n =75дБ с упр. речью; +50 a _n =40 дБ, без упр. речью	+85, a _n =75дБ с упр. речью; +50 a _n =40 дБ, без упр. речью
Затухание взвешенного эха	WEPL	дБ	+110	-5...+110	+131	+150 с упр. речью; +80 без упр. речью	+150 с упр. речью; +80 без упр. речью
Аппаратный показатель искажений	le	-	0	0...40	0	0	0 для кодека G.711
Вероятность потери пакетов	Ppl	%	0	0...20	0	0	1% – 5%
Шум в канале в точке 0 дБ	Nc	дБ	-70	-80...-40	~	~	-70 с VAD; -65 без VAD

В соответствии с рекомендацией G.107 [3, 5] в модели были приняты следующие параметры, не зависящие от условий железнодорожного транспорта: маскировка местного эффекта – STMR; местный эффект у слушающего – LSTR; D-фактор для телефонного аппарата при передаче – D_s; D-фактор для телефонного аппарата при приеме – D_r; количество единиц искажения квантования – q_{du}; устойчивость к потерям пакетов – Bpl; параметр пульсаций – BurstR; пороговый шум на стороне приема – Nfor; комнатный шум на передающей стороне – Ps; комнатный шум на принимающей стороне – Pr; фактор преимущества – A.

Для условий передачи речи в сетях ОТС на железнодорожном транспорте в модели были использованы следующие значения (пределы изменения) переменных:

SLR – уровень громкости на передачу. Для цифроаналоговой сети принимается равным +7 дБ – в прямом и +4.45 дБ – в обратном направлении. Для цифровой и пакетной сети принято +7 дБ как в прямом, так и в обратном направлениях;

RLR – уровень громкости на прием. Для цифроаналоговой сети принимается равным +3 дБ – в прямом и +0,45 дБ – в обратном направлении. Для цифровой и пакетной сети принято +3 дБ как в прямом, так и в обратном направлениях;

TELR – уровень громкости «эхо» у говорящего. Для цифроаналоговых сетей принят +66 дБ с учетом добавления переходного затухания (ap=56 дБ). Для цифровых и пакетных сетей TELR = +85 дБ, если передача осуществляется с управлением речью и a_n = 75 дБ. Если в этих же сетях передача осуществляется без управления речью, то переходное затухание a_n=40 дБ, а TELR = +50 дБ. В режиме конференц-связи значение TELR зависит от количества станций, подключенных к групповому каналу;

WEPL – затухание взвешенного эха. Для цифроаналоговых сетей принято значение +131 дБ, для цифровых и пакетных сетей, если передача осуществляется с управлением речью, WEPL = +150 дБ, без управления речью WEPL = +80 дБ. В режиме конференц-связи показатель TELR зависит от количества станций, подключенных к групповому каналу;

Ie – аппаратный показатель искажений. Для цифроаналоговых и цифровых сетей принят равным нулю, а для пакетных сетей зависит от используемого кодека – для кодека G.711 Ie = 0;

Ppl – вероятность потери пакетов. Для цифроаналоговых и цифровых сетей принята равной нулю, а для пакетных сетей – от 1 до 5%;

Nc – шум в канале в точке 0 дБ. Для цифроаналоговых и цифровых сетей рассчитывается с учетом количеством ответвлений в диспетчерском круге, а для пакетных сетей Nc = –70 дБ, при использовании VAD (Voice activity detector – детектор речевой активности) и Nc = –65 дБ без VAD.

Для обеспечения необходимого уровня безопасности и эффективности перевозок на железнодорожном транспорте сети связи должны передавать речь с минимальным временем задержки, при сохранении значений R-фактора не хуже 70 и MOS-оценки не менее 3,6 (см. **табл. 1**). Увеличение времени задержки в передаче речи приводит к увеличению затрат времени на принятие и реализацию решений по управлению перевозочным процессом, а также снижает уровень безопасности перевозок (повышает риск сбоев в работе и аварий). Увеличение времени задержки передачи связано, главным образом, с потерей и задержками в передаче пакетов данных.

Для установления зависимостей между временем задержки и значением R-фактора с использованием разработанной имитационной модели были проведены эксперименты при различных условиях (**табл. 2**), с учетом использования в сети ОТС разных кодеков, а также при использовании в сети адаптивного и неадаптивного сумматора с VAD и без VAD. Результаты экспериментов представлены на **рис. 4–6**.

Полученные зависимости, а также разработанная имитационная модель могут быть использованы для экспресс-оценки качества передачи речи в сетях ОТС на железнодорожном транспорте, при отсутствии возможности проведения замеров реальных факторов. Использованные в модели параметры ОТС специфичны для сетей передачи речи на железнодорожном транспорте, что позволяет исключить трудоемкие расчеты значений R-фактора для конкретных условий.

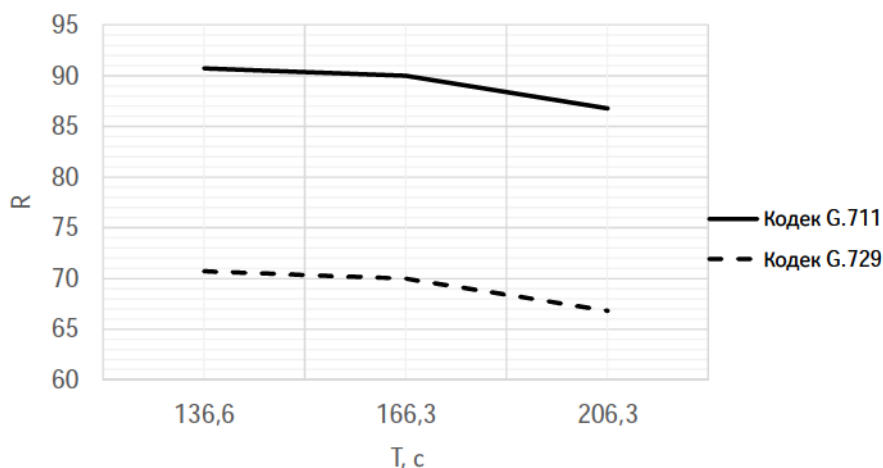


Рис. 4. Изменение R-фактора от времени задержки передачи речи, при использовании адаптивного сумматора с VAD

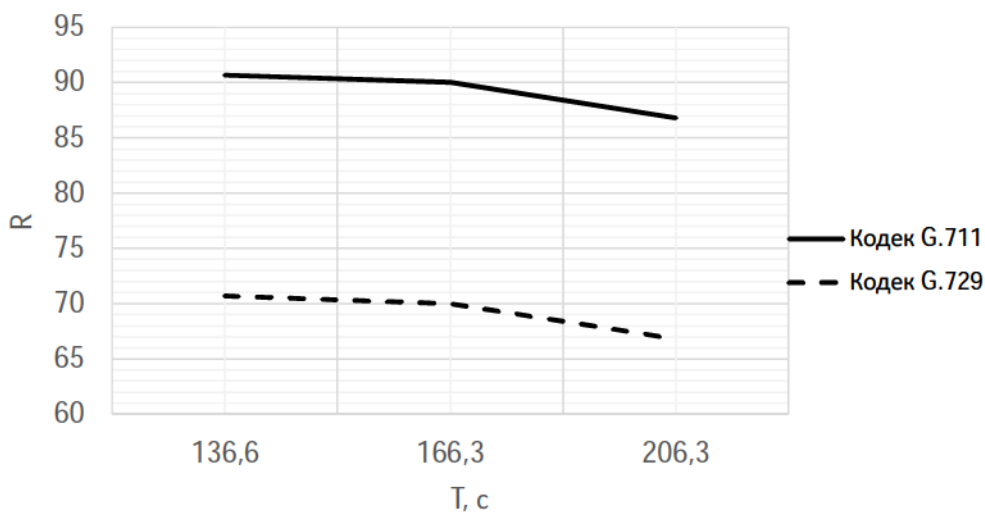


Рис. 5. Изменение R-фактора от времени задержки передачи речи, при использовании неадаптивного сумматора с VAD

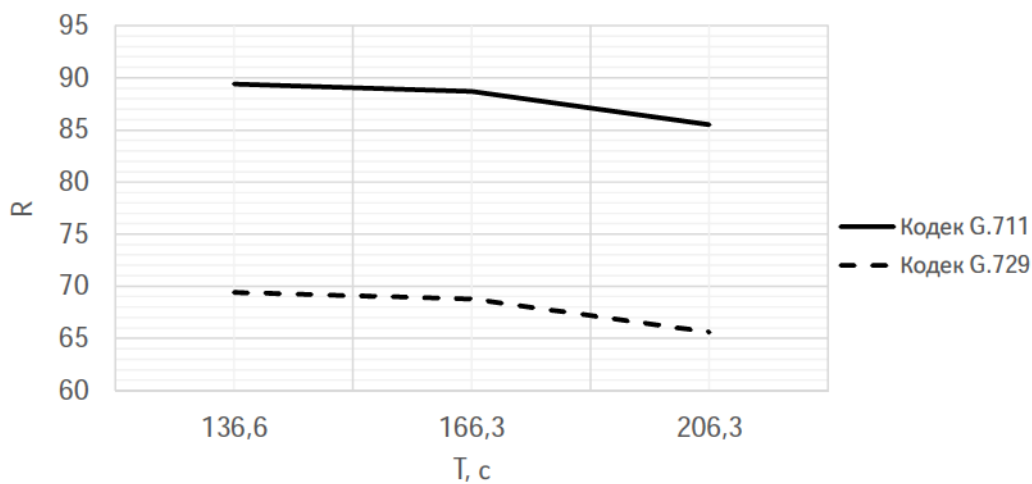


Рис. 6. Изменение R-фактора от времени задержки передачи речи, при использовании адаптивного сумматора без VAD

Заключение

Разработанная системно-динамическая имитационная модель оценки качества передачи речи в сетях связи позволяет наглядно представить взаимосвязь параметров E-модели, описывающей факторы, влияющие на качество связи, а также рассчитывать значения R-фактора – показателя качества передачи речи для различных условий. Применение разработанной имитационной модели для условий, специфичных для железнодорожных сетей связи, показало эффективность использования показателя «R-фактор» для таких сетей. Были получены зависимости между величиной R-фактора и задержками времени в передаче речи в сетях ОТС, оказывающими влияние на время принятия диспетчерами решений по управлению перевозочным процессом.

Развитие построенной имитационной модели предполагается вести в двух взаимодополняющих направлениях. Первое направление связано с введением в модель объектов (накопителей и каналов), позволяющих моделировать динамику параметров внешней среды и процессов, происходящих в сетях связи, на качество передачи речи, а также учитывать взаимовлияния, в частности обратные связи между этими параметрами. Второе направление предполагает комбинирование построенной системно-динамической модели сетей связи на железнодорожном транспорте с дискретно-событийными имитационными моделями [10] железнодорожных станций [9], входящих в диспетчерский круг. Такое комбинирование моделей, поддерживаемое программой AnyLogic, позволит оценить влияние качества передачи речи в сетях ОТС на показатели пере-

возочного процесса на железнодорожном транспорте, оценить риск возникновения аварий и сбоев в работе.

Список литературы

1. Лебединский А.К. Оценка качества передачи речи в сетях с коммутацией каналов и пакетов // Автоматика, связь, информатика. 2011. №11. С. 6–9.
2. Лебединский А. К., Мирсагдиев О.А. Оценка качества передачи речи в сетях ОТС // Автоматика, связь, информатика. 2012. №10. С. 2–5.
3. Recommendation ITU-T G.107 (2009), The E-model: a computational model for use in transmission planning [Электронный ресурс]. URL: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.107-201402-P/en> (дата обращения: 08.12.2014).
4. Recommendation ITU-T G.108 (1999), Application of the E-model: A planning guide [Электронный ресурс]. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.108-199909-I/en> (дата обращения: 08.11.2014).
5. Recommendation ITU-T G.107 (1998), The E-model: a computational model for use in transmission planning [Электронный ресурс]. URL: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.107-199812-S/en> (дата обращения: 08.12.2014).
6. Справочная система AnyLogic [Электронный ресурс]. URL: <http://www.anylogic.ru/anylogic/help/>
7. Borshchev A. The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with Anylogic 6. Chicago: AnyLogic North America, 2013. 614 p.
8. The E-model [Электронный ресурс]. URL: <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com12/emodelv1/tut.htm>
9. Рахмангулов А.Н., Мишкuroв П.Н. Особенности построения имитационной модели технологии работы железнодорожной станции в системе AnyLogic // Сборник научных трудов SWorld. 2012. Т. 2. №4. С. 7–13.
10. Муравьев Д.С., Мишкuroв П.Н., Рахмангулов А.Н. Использование имитационного моделирования для оценки перерабатывающей способности морских портов и обоснования необходимости сооружения «сухого» порта // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. №4(4). С. 66–72.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

A SIMULATION MODEL OF QUALITY ASSESSMENT OF VOICE TRANSMISSION IN OPERATIONAL AND TECHNOLOGICAL NETWORKS IN RAILWAY TRANSPORT

Rakhmangulov Alexander Nelievich – D.Sc (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Tel.: +7(3519) 29-85-16. E-mail: ran@logintra.ru.

Mirsagdiev Orifzhon Alimovich – Lecturer of the Electrical Communication and Radio Department, Tashkent Institute of Railway Transport Engineers, Tashkent, Uzbekistan. E-mail: oamirsagdiev@yandex.ru.

Abstract. This article describes a composition and structure of a simulation model of voice transmission in operational and technological networks in railway transport. The simulation model was built using a system dynamics approach to simulation modeling and implemented with simulation programming software AnyLogic. The basis of the developed simulation model is “E- model” of the voice transmission quality calculation (“R-factor”), modified for the conditions specific to operational and technological communication networks in railway transport. The proposed simulation model allows

for a rapid assessment and prediction of the speech quality in networks of different types, configurations, structures, as well as in case of changes in external conditions.

Keywords: Voice transmission quality, R-factor, E-model, MOS-assessment, operational and technological networks, railway transport, simulation modeling, system dynamics, AnyLogic.

References

1. Lebedinskiy A.K. Otsenka kachestva peredachi rechi v setyakh s kommutatsiei kanalov i paketov. [Assessment of the voice trans-

- mission quality in networks with channel and packet switching]. *Avtomatika, svyaz, informatika*. [Automation, communication, computer science], 2011, no.11, pp.6-9.
2. Lebedinskiy A.K., Mirsagdiev O.A. Otsenka kachestva peredachi rechi v setyakh OTS. [Assessment of the voice transmission quality in operational and technological networks]. *Avtomatika, svyaz, informatika*. [Automation, communication, computer science], 2012, no.10, pp.2-5.
 3. Recommendation ITU-T G.107 (2009), The E-model: a computational model for use in transmission planning [Electronic resource]. URL: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.107-201402-P/en> (Accessed 8 December 2014).
 4. Recommendation ITU-T G.108 (1999), Application of the E-model: A planning guide [Electronic resource]. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.108-199909-I/en> (Accessed 08 November 2014).
 5. Recommendation ITU-T G.107 (1998), The E-model: a computational model for use in transmission planning [Electronic resource]. URL: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.107-199812-S/en> (Accessed 8 December 2014).
 6. A help system of AnyLogic [Electronic resource]. URL: <http://www.anylogic.ru/anylogic/help/>.
 7. Borshchev A. The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with Anylogic 6. Chicago: AnyLogic North America, 2013, 614 p.
 8. The E-model [Electronic resource]. URL: <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com12/emodelv1/tut.htm>.
 9. Rakhmangulov A.N., Mishkurov P.N. Osobennosti postroeniya imitatsionnoy modeli tekhnologii raboty zheleznodorozhnoy stantsii v sisteme AnyLogic. [Features of a simulation model construction of the operation of railway stations in AnyLogic]. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld*. [Collection of scientific papers SWorld], 2012, vol. 2, no. 4, pp. 7-13.
 10. Muraviev D.S., Mishkurov P.N., Rakhmangulov A.N. Ispolzovanie imitatsionnogo modelirovaniya dlya otsenki pererabatyvayushchey sposobnosti morskikh portov i obosnovaniya neobkhodimosti sooruzheniya «sukhogo» porta. [Simulation modeling used to assess the sea port processing capacity and justify the necessity of dry port construction]. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii*. [Modern problems in the Russian transport complex], 2013, no. 4 (4), pp. 66-72.

Рахмангулов А.Н., Мирсагдиев О.А. Имитационная модель оценки качества передачи речи в сетях оперативно-технологической связи на железнодорожном транспорте // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №2. С. 12–20.

Rakhmangulov A.N., Mirsagdiev O.A. A simulation model of quality assessment of voice transmission in operational and technological networks in railway transport. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 2, pp. 12–20.