

УДК 656.254.16: 629.783

В. Г. ШЕВЧУК, доцент, Р. А. СОЛОВЬЕВ, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; С. В. КРИВЕНКОВ, инженер, Гомельская дистанция сигнализации и связи Белорусской железной дороги, г. Гомель; М. П. СТОЦКИЙ, магистр технических наук, Белорусская железная дорога, г. Минск

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ В РАДИОТЕЛЕФОННОМ ТРАКТЕ МЕТОДАМИ АРТИКУЛЯЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Приведены результаты исследований разборчивости речи методами артикуляционных измерений аналогового и цифрового радиотелефонного трактов, с применением созданной компьютерной программы, которая может работать непосредственно с речевым сигналом, снятым с подключенного к компьютеру микрофона и оцифрованным 13-разрядным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) звуковой карты компьютера. Результаты исследования артикуляции звуков, слов и фраз показали, что наибольшее значение имеет исследование фразовой артикуляции, так как человеческая речь логична и имеет смысл.

Основными требованиями к качеству принимаемой речевой информации по радиотелефонному тракту являются **понятность, громкость и натуральность речи**, однако определяющим всегда является понятность, т. к. если она не обеспечивается, тракт будет считаться не пригодным к эксплуатации. Определяется **понятность речи** относительным количеством безошибочно принятых специально тренированными слушателями (артикулянтами) элементов речи из общего числа переданных по тракту, т. е. **артикуляцией** [1].

Согласно рекомендациям ССИТТ существует пять классов качества воспроизведения речи, каждый из которых определяется по артикуляции звуков (D) и слов (W) и характеризуется параметрами, приведенными в таблице 1. Пригодными для эксплуатации признаются тракты связи, имеющие классы качества воспроизведения речи I–IV, т. е. E, G, F, P. Тракты связи, имеющие класс качества V или B считаются непригодными для эксплуатации, т. к. обладают звуковой артикуляцией менее 60 % [2].

Таблица 1 – Классы качества трактов связи

Класс качества	Определения качества воспроизведения	Артикуляция звуков (D), %	Артикуляция слов (W), %
I или E	Понимание передаваемой речи без малейшего напряжения внимания	$\geq 90$	$\geq 95$
II или G	Понимание передаваемой речи без затруднений	85–90	92–95
III или F	Понимание передаваемой речи с напряжением внимания без переспросов и повторений	78–85	87–92
IV или P	Понимание передаваемой речи с большим напряжением внимания, переспросами и повторениями	60–78	62–87
V или B	Полная неразборчивость связанной речи (срыв связи)	$\leq 60$	$\leq 62$

На качество приёма речевой информации могут оказывать влияние акустические и электрические шумы. Под акустическим шумом подразумевается шум помещения, в котором в момент разговора расположен мобильный телефон или станция (MS).

Под электрическим шумом подразумевается шум, вызываемый посторонними токами, возникающими в

самой микротелефонной трубке. Электрические шумы в микротелефонных трубках могут создаваться:

- станционным оборудованием;
- высоковольтными линиями электрифицированных железных дорог;
- переходными разговорами и др.

Исследования разборчивости речи методами артикуляционных измерений делятся на три этапа [14]:

- исследования артикуляции звуков;
- исследования артикуляции слов;
- исследования артикуляции фраз.

При исследовании артикуляции звуков диктор передает по тракту радиосвязи четыре таблицы звуко-сочетаний (по 31 звуко-сочетанию в каждой таблице), в то время как второй артикулянт слушает и ведёт запись. В одном таком исследовании используются одни и те же четыре таблицы. Разница заключается в том, что при внесении все большего процента ошибок эти четыре таблицы начитываются каждый раз в разных последовательностях, создавая различные комбинации звуко-сочетаний, что не позволяет слушающему артикулянту догадаться, какое звуко-сочетание будет следующим. После артикулянты меняются, и тот, что слушал, начинает диктовать новые четыре таблицы, снова увеличивая процент ошибок и изменяя последовательности звуко-сочетаний, а тот, кто диктовал, ведет уже новую запись.

Таким образом, в одном исследовании зачитываются восемь таблиц, и полученные результаты усредняются, делая полученную артикуляцию более достоверной. Кроме того, достигается полная неповторимость каждого исследования.

При исследовании артикуляции слов принцип остается тот же, что и при исследовании артикуляции звуков. Разница лишь заключается в том, что таблицы слов содержат по 40 слов вместо 31, тем самым увеличивая длительность измерений и точность результатов.

При исследовании фразовой артикуляции принцип также не меняется, но начитываются 4 таблицы по 10 фраз в каждой.

За счет адаптации дежурного по станции (ДСП) и поездного диспетчера (ДНЦ) к характеру служебных переговоров восприятие их фразовой артикуляции возрастает приблизительно на 20 % [2]. Поэтому минимально допустимые нормы артикуляции речи для поездной радиосвязи существенно отличаются от допустимых величин на коммерческих сетях связи.

В используемой для проведенных исследований компьютерной программе ошибки в битовый поток вносились двумя различными способами: генератором Marsaglia Multicarry и равномерно. Таким образом, каждое исследование, в свою очередь, делилось еще на два подисследования, в которых по возможности также использовались различные артикуляционные таблицы.

Кроме того, исследования проводились на двух железнодорожных участках: на станции Новобелицкая и на Моховом переезде (пересечение ул. Гагарина и ул. Лещинская). Данные участки характеризуются различным уровнем шума: на переезде в связи с интенсивным движением автомобилей, а также регулярным движением поездов, значительно более шумно, чем на станции, и слышать одно и то же речевое сообщение в данных обстоятельствах, при прочих равных, значительно проблематичнее. Это в свою очередь сказывалось на приеме речевых сообщений, тем самым приблизив «атмосферу исследований» к «атмосфере работы» обслуживающего персонала Белорусской железной дороги.

Результаты исследования звуковой артикуляции в виде столбчатых диаграмм, отражающих зависимость средних значений звуковой артикуляции ( $D_{cp}$ ) от процента битовых ошибок различными методами на станции и переезде и изменение качества радиотракта с увеличением процента ошибок дано на рисунках 1 и 2.

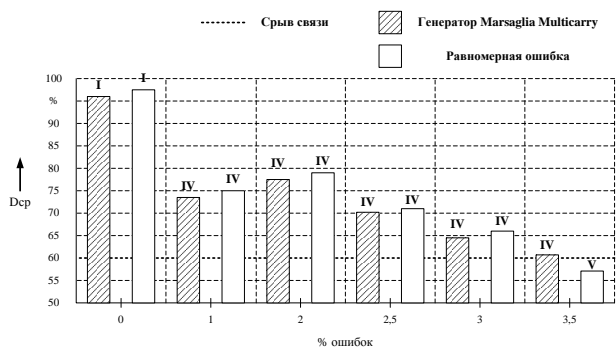


Рисунок 1 – Зависимость значений звуковой артикуляции ( $D$ ) от процента ошибок методами генератора и равномерной ошибки при исследовании на станции

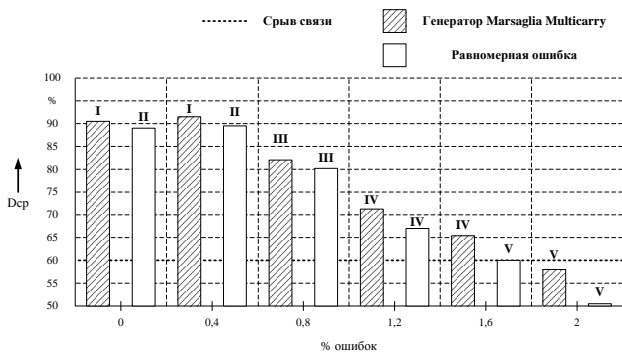


Рисунок 2 – Зависимость значений звуковой артикуляции ( $D$ ) от процента ошибок методами генератора и равномерной ошибки при исследовании на переезде

Несмотря на то, что при 1 % битовых ошибок радиоканал на станции значительно ухудшается с класса I (E) до класса IV (P), при 2 % ошибок, звуковая артикуляция на станции достигает 79 %, что без малого соответствует III (F) классу качества радиотракта. Данная картина является полной противоположностью картины на переезде, т. к. там уже при 2 % битовых ошибок артикуляция переходит за критическую отметку, относя радиотракт к V (B) классу качества, признавая его непригодным к эксплуатации (срыв связи).

На рисунках 3 и 4 приведены результаты исследований артикуляции слов в виде столбчатых диаграмм, отражающих зависимость средних значений артикуляции слов ( $W_{cp}$ ) от процента битовых ошибок при исследовании на станции и переезде, а также указан класс качества радиотракта.

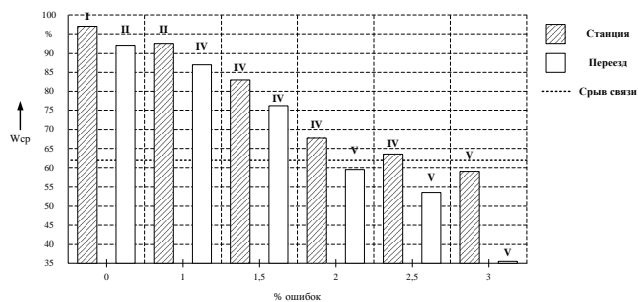


Рисунок 3 – Зависимость значений артикуляции слов ( $W$ ) от процента битовых ошибок методом генератора при исследовании на станции и переезде

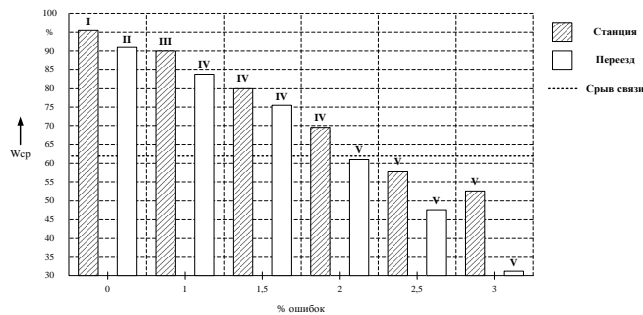


Рисунок 4 – Зависимость значений артикуляции слов ( $W$ ) от процента битовых ошибок методом равномерной ошибки при исследовании на станции и переезде

Для исследования артикуляции слов приведены столбчатые диаграммы зависимостей исследований между станцией и переездом, а не между различными методами внесения битовой ошибки, что более наглядно демонстрирует разницу между полученной артикуляцией слов в сравнении с исследованием артикуляции звуко сочетаний.

На приведенных диаграммах наглядно продемонстрировано, что артикуляция слов постоянно уменьшается с увеличением процента ошибок как на станции, так и на переезде, причем характер понижения артикуляции на переезде значительно более крутой, чем на станции. Об этом можно судить хотя бы даже исходя из того, что на переезде класс качества радиотракта II и ниже даже без внесения битовых ошибок, в то время как на станции качество радиотракта оценено классом E. Данный эффект можно объяснить тем, что на железнодорожном переезде уровень шума выше, чем на железнодорожной станции.

В сравнении с исследованием артикуляции звуков, где критическим для станции является значение процента битовых ошибок, равное 3,5 %, в исследовании артикуляции слов критическим для станции уже является значение в 2,5 %. Для переезда критическим значением битовых ошибок в исследовании артикуляции звуков и артикуляции слов является значение в 2 %.

Таким образом, опираясь на результаты исследования артикуляции слов, а также предыдущие исследования артикуляции звуков, можно в целом констатировать тот факт, что качество радиоканала на переезде значительно уступает качеству радиоканала на станции.

Результаты исследований фразовой артикуляции представлены в виде столбчатых диаграмм, отражающих зависимость средних значений артикуляции фраз ( $F_{cp}$ ) от процента битовых ошибок при исследовании на станции и переезде (рисунки 5 и 6).

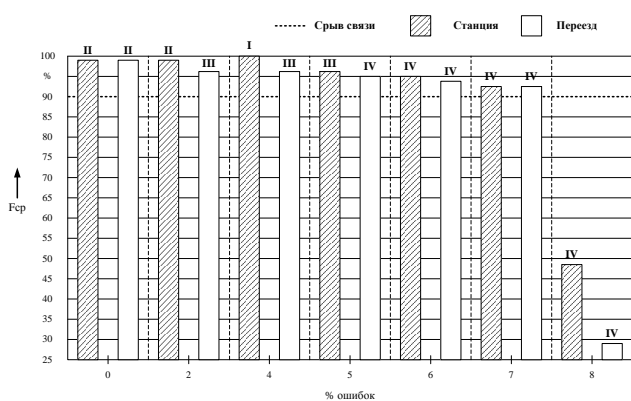


Рисунок 5 – Зависимость значений фразовой артикуляции (F) от процента битовых ошибок методом генератора при исследовании на станции и переезде

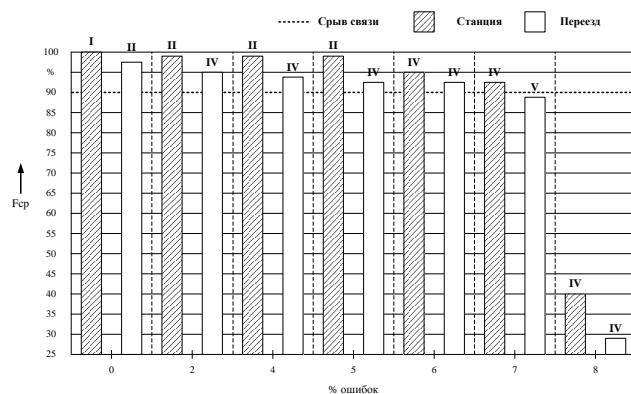


Рисунок 6 – Зависимость значений фразовой артикуляции (F) от процента битовых ошибок методом равномерной ошибки при исследовании на станции и переезде

Получено 20.09.2017

**V. G. Shevchuk, R. A. Soloviev, S. V. Krivenkov, M. P. Stotski.** A study of the intelligibility of speech in radiotelephony tract with articulation measurements methods.

The results of the research on the intelligibility of speech with articulatory methods of measurements of analog and digital radio, using the computer program, which can run directly from the speech signal taken from your computer's microphone and digitized with 13-bit analog-to-digital Converter (ADC) computer's sound card have been given. The results of the study of the articulation of sounds, words and phrases have showed that the highest value is the study phrasal articulation, because human speech is logical and makes sense.

Исходя из результатов данного исследования, можно сделать вывод о том, что фразовая артикуляция значительно меньше подвержена искажениям и воздействиям акустических шумов, чем артикуляция звуков и слов. Данное обстоятельство, в свою очередь, положительно сказывается на характере качества связи.

Как можно видеть из приведенных диаграмм, фразовая артикуляция находится в пределах нормы даже при 7 % битовых ошибок, что для предыдущих исследований звуков и слов было бы неприемлемо. Однако в результате того, что к фразовой артикуляции предъявляются более жёсткие требования, класс качества цифрового радиотракта по результатам данных исследований даже в оптимальных условиях, то есть на станции и без внесения битовых ошибок, оценивается как II или G. Не исключено, что данное обстоятельство связано с тем, что в каждом исследовании использовались тесты лишь по 40 фраз и команд. Возможно, если бы использовалось большее число тестов, результаты исследования фразовой артикуляции изменились бы в лучшую сторону.

Опираясь на результаты исследования артикуляции звуков, слов и фраз, можно утверждать, что наибольшее значение несет исследование фразовой артикуляции, так как человеческая речь логична и имеет смысл. Слова в предложении связаны между собой, и аудитор, услышав лишь часть речевого сообщения, может догадаться о сути сказанного по контексту и верно принятым словам.

Если же речь будет не связанной, а последовательность слов не имеет никакого смысла, аудитору будет значительно сложнее разобрать даже четко услышанную речь. Несмотря на то, что фраза считается принятой неверно, если неверно принято даже одно слово, оказывается, что фразовая артикуляция находится в пределах нормы даже при 7 % битовых ошибок.

Кроме того, при исследовании на переезде фразовая артикуляция незначительно уступает исследованию на станции, т. к. в обоих случаях качество радиотракта оценивается как IV (P), т. е. понимание речи на приёме осуществляется с напряжением внимания, переспросами и повторениями.

#### Список литературы

- 1 Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости. ГОСТ Р 50840-95; введ. 2015-11-21. – М. : ИПК «Изд. стандартов», 1996. – 198 с.
- 2 Шевчук, В. Г. Транспортные радиосистемы. Распространение энергии звуковых и электромагнитных волн : конспект лекций / В. Г. Шевчук. – Гомель : БелГУТ, 1999. – С. 91–103.