

12. Available at: <http://www.journaldunet.com/ebusiness/publicite/conseil/070927-conseils-advergame/1.shtml>.

13. Available at: <http://fr.wikipedia.org/wiki/Advergame>.

14. Available at: http://fr.wikipedia.org/wiki/Entreprise_2.0.

УДК 621.341

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СПЕКТРА
ДОПЛЕРОВСКОГО СИГНАЛА, ОТРАЖЕННОГО
ОТ ПРОТЯЖЕННОГО ОБЪЕКТА**

Артюшенко Владимир Михайлович, доктор технических наук
Воловач Владимир Иванович, кандидат технических наук

Финансово-технологическая академия
141070, Россия, г. Королев, МО, ул. Гагарина, 42
E-mail: artuschenko@mail.ru
Поволжский государственный университет сервиса
445677, Россия, г. Тольятти, ГСП, ул. Гагарина, 4
E-mail: ssunrise@mail.ru

В статье показано, что при анализе и практической реализации радиотехнических устройств, работающих на ближних дальностях, следует учитывать протяженный характер обнаруживаемого объекта, многолучевой характер отражения сигналов от объекта и т.п. Практический интерес вызывает определение параметров спектра доплеровского сигнала, отраженных от транспортных средств, поскольку анализ спектра позволяет с большой достоверностью измерить их параметры движения, в частности скорость и ускорение.

В статье рассмотрены результаты экспериментальных исследований параметров спектра доплеровского сигнала для различных моделей протяженных объектов. Анализ и обобщение полученных результатов проводился по значительной выборке фрагментов спектра доплеровского сигнала, что позволяет рассматривать эти результаты как статистически достоверные. Впервые приведены экспериментальные данные ширины доплеровских сигналов для различных моделей вагонов, используемых в эксперименте.

Показано, что на ширину спектра доплеровского сигнала и, следовательно, на точность измерения скорости движения протяженного объекта наибольшее влияние оказывает его ускорение движения. При этом наблюдается прямо пропорциональная зависимость: чем больше ускорение, тем спектр сигнала шире.

Ключевые слова: системы ближней радиолокации, протяженный объект, транспортное средство, спектр доплеровского сигнала, эффективная ширина спектра, эффективная площадь рассеяния, скорость движения, ускорение движения.

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF PARAMETERS
OF DOPPLER SIGNAL SPECTRUM REFLECTED FROM THE EXTENDED OBJECT**

Artyushenko Vladimir M., D.Sc. (Engineering)
Volovach Vladimir I., Ph.D. (Engineering)

Financial and Technological Academy
42 Gagarin st., Korolyov, 141070, Russia
E-mail: artuschenko@mail.ru
Volga Region State University of Service
4 Gagarin st., GSP, Tolyatti, 445677, Russia
E-mail: ssunrise@mail.ru

In the paper it is shown that in the analysis and practical realization of radio engineering devices working at near ranges it is necessary to consider the extended nature of the found object, the multibeam nature of reflection of signals from the object, etc. Practical interest causes determination of parameters of Doppler signal spectrum, reflected from vehicles as the analysis of spectrum allows to measure with big reliability their parameters of movement, in particular speed and acceleration.

The results of experimental researches of parameters of Doppler signal spectrum for various models of extended objects are considered in the paper. The analysis and generalization of the received results were carried out by a considerable sample of fragments of Doppler signal spectrum that allows to consider these results to be statistically authentic. The experimental data of width of Doppler signals for various models of the cars used in the experiment have been given for the first time.

It is shown that the width of Doppler signal spectrum and, therefore, the accuracy of measuring the speed of movement of the extended object are much influenced by its movement acceleration. Thus, directly proportional dependence is observed: the more the acceleration the wider the range of signal.

Keywords: *Systems of near radiolocation, Extended object, Vehicle, Doppler signal spectrum, Effective width of spectrum, Effective area of dispersion, Speed of movement, Movement acceleration.*

Системы ближней радиолокации (СБРЛ) нашли широкое применение в различных системах измерения параметров движения, системах охраны различных объектов, системах классификации и идентификации используют принцип радиолокации на ближних дальностях [7, с. 5–7]. Соответственно для них должны использоваться иные характеристики, нежели те, которые применяются в теории радиотехнических систем дальнего действия.

При теоретическом обосновании и практической реализации любых устройств, относящихся к классу СБРЛ, например, измерителей параметров движения различных объектов, следует учитывать ряд специфических особенностей ближнего радиуса действия, таких как протяженный характер обнаруживаемого объекта, сравнимость геометрических размеров объекта с дальностью до него, многолучевой характер отражения сигналов от подобных объектов и т.п.

В результате необходимым условием является проведение анализа особенностей отражения зондирующих сигналов, определения ширины доплеровского спектра сигнала, выбора метода определения и экспериментального нахождения эффективной поверхности (площади) рассеяния, а также создание на их основе математических моделей адекватных

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

реальным физическим явлениям в СРБЛ с учетом протяженного характера обнаруживаемых объектов, непрерывно изменяющейся дальности, различных законов мгновенной вероятности обнаружения, априорной неопределенности относительно положения объекта и его параметров движения [1].

Априорное знание статистических характеристик сигналов и возмущающих воздействий позволяет сформулировать более точные математические модели как отраженного сигнала, так и действующих на этот сигнал помех, а также обоснованно подойти к разработке устройств СРБЛ. Ранее авторами [2] был осуществлен выбор и обоснованы модели возмущающих воздействий на радиотехнические устройства обнаружения (РУО) охранных систем СВЧ типа, являющихся частным случаем СБРЛ, с учетом многолучевого характера сигналов, отраженных от протяженных объектов. Было отмечено, что плотность вероятности огибающей такого сигнала хорошо аппроксимируется ПРВ Накагами, а ПРВ мгновенных значений при определенных значениях параметров распределения имеет ярко выраженный бимодальный характер.

Одним из объектов обнаружения, измерения параметров движения, обеспечения безопасности движения в группе и т.п. СБРЛ являются различные транспортные средства (ТС) железнодорожного и автомобильного транспорта, которые по своей структуре можно отнести к протяженным объектам сложной формы. При этом определенный интерес представляет исследование названных ТС в связи с особым характером отражения от них зондирующего сигнала. Известно, что ТС как объект локации представляет собой сложную пространственно-распределенную радиолокационную цель [6, с. 58]. Характеристики сигнала, отраженного от такой цели, влияют не только на дальность действия СБРЛ, но и во многом определяют ряд других важных показателей качества работы таких систем: точность измерения скорости, разрешающую способность и др.

Как известно, при измерении параметров движения какого-либо протяженного объекта радиотехническими методами скорость его движения определяется доплеровским смещением частоты сигнала:

$$F_d = \frac{\Omega_d}{2\pi} \approx -f_0 \frac{2V_p}{c} \cos\varphi = \frac{2V_p}{\lambda_0} \cos\varphi, \quad (1)$$

где V_p – радиальная скорость движения лоцируемого протяженного объекта; λ_0 – длина волны зондирующего сигнала; φ – угол между направлением оси главного лепестка диаграммы направленности антенны и направлением движения протяженного объекта.

Одной из важнейших статистических характеристик сигнала, отраженного от протяженного объекта, влияющего на точность измерения скорости его движения, является спектр доплеровского сигнала (СДС).

Основными параметрами СДС являются средняя частота спектра $F_{д.с.}$, форма огибающей, эффективная ширина $\Delta F_{сн}$ и мощность P_d .

Эффективная ширина СДС $\Delta F_{сн}$ определяется результирующей диаграммой направленности антенн в плоскости угла φ . Также на эффективную ширину $\Delta F_{сн}$, как было отмечено нами ранее [3], оказывает интервал корреляции τ_k , характеризующий скорость изменения случайного процесса во времени:

$$\Delta F_{сн} = 1/\tau_k, \quad (2)$$

Там же показано, что при определенном взаимном расположении радиотехнического датчика (РД), измеряющего скорость объекта, и транспортного средства, когда ТС движется в направлении РД, ширину доплеровского спектра принимаемого сигнала можно оценить по формуле

$$\Delta f_d = f_d \cos 2\Delta\alpha, \quad (3)$$

где $2\Delta\alpha$ – угловой размер ТС (в горизонтальной плоскости).

Особенности определения доплеровского смещения частоты в РУО рассматривались нами ранее [4].

Перейдем далее к результатам исследований параметров СДС. Отметим, что используемая методика исследований была предложена авторами ранее [5]. Также ранее авторами на основании предложенной методики были экспериментально определены средние значения эффективной площади рассеяния (ЭПР) $\sigma_{\text{ТС}}$, ширины доплеровского спектра сигнала $\Delta F_{\text{ТС}}$ и среднеквадратического отклонения ЭПР на примере различных типов автомобилей. Дальнейший интерес с целью обобщения полученных результатов представляло проведение исследований для еще более протяженных объектов – ТС железнодорожного транспорта, а также исследование влияния на параметры СДС ускорения этих объектов.

Экспериментальные исследования параметров СДС, отраженного от протяженных объектов (железнодорожных отцепов – одиночных вагонов, в отдельном случае для маневрового локомотива), проводилась с использованием СВЧ колебаний серийного измерителя скорости РИС-В2 с длиной волны $\lambda=8$ мм. Анализ и обобщение полученных результатов исследования параметров спектра производились по многочисленным фрагментам доплеровского сигнала, отраженного от ТС одной модели. Число рассматриваемых фрагментов от ТС каждого типа составляло 380...400.

На рис. 1, 2 представлены некоторые наиболее характерные спектры принимаемых доплеровских сигналов, полученные экспериментально.

Все спектры отраженных сигналов можно разделить на три группы. К первой группе отнесем СДС при облучении ТС (отцепов) под углом близким к нулю, когда ТС находится на относительно большом расстоянии порядка 50...60 м. Для этого случая характерен спектр отраженного сигнала, потенциально обеспечивающий хорошую точность измерения скорости и, следовательно, ускорения и высокую разрешающую способность. Ширина спектра на уровне 0,707 при этом составляет $\Delta F=8...10$ Гц.

Вторая группа спектров соответствует положительным углам облучения ТС $\alpha_0 \geq 17^\circ$. В этом случае ширина СДС значительно увеличивается и составляет $\Delta F=20...25$ Гц, что соответствует нахождению ТС на относительно малых расстояниях от измерителя скорости РИС порядка 10...20 м. Угловые размеры ТС зачастую превышают ширину луча антенны. При движении ТС быстро меняется его ракурс, что сопровождается быстрыми флуктуациями отражающих центров, что приводит к расширению спектров доплеровских сигналов, ухудшению потенциальной точности измерителя скорости и разрешению по частоте. Кроме того, для этого случая характерно резкое уменьшение ЭПР некоторых типов вагонов (модели 15-1443, 15-1474), вызванное наклонным падением луча на гладкую поверхность ТС (зеркальным отражением), а также некоторое уменьшение разброса величины ЭПР различных типов вагонов, обусловленное тем, что узкий луч антенны облучает лишь часть поверхности (прожекторный режим).

Третья группа спектров соответствует режиму замедления ТС от момента срабатывания до момента отпускания вагонных замедлителей. При этом сильной вибрации подвержен как корпус самого отцепа, так и измеритель скорости. При этом спектр отраженного сигнала расширяется так, что его ширина достигает $\Delta F=30...40$ Гц. Точность измерения скорости при этом наихудшая.

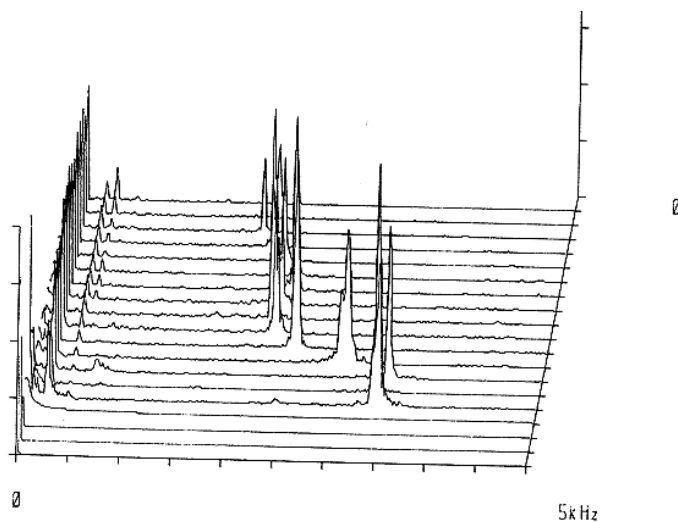


Рис. 1. Изменение во времени спектра доплеровского сигнала, отраженного от полувагона модель 12-726

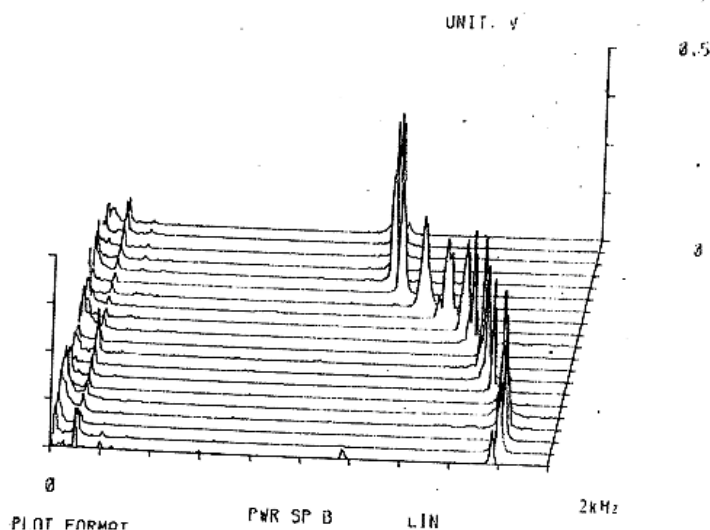


Рис. 2. Изменение во времени спектра доплеровского сигнала, отраженного крытого вагона модель 11-277

Значительное расширение спектра наблюдается и у доплеровских сигналов, отраженных от маневровых локомотивов, корпус которых непрерывно вибрирует от работающего двигателя. Причем спектр сигнала не только расширяется, но и имеет «паразитные» гармонические составляющие, амплитуда которых соизмерима со спектром основного сигнала, что существенно влияет на точность измерения и может приводить к значительным погрешностям измерения скорости. Значения ширины доплеровских сигналов на уровне 0,707, отраженных от различных моделей железнодорожных вагонов, сведены в таблице, где $\delta_{д.с} = \Delta F / F_{д.с}$ – относительная погрешность измерения доплеровского сигнала.

**Ширина доплеровских сигналов,
отраженных от различных моделей железнодорожных вагонов**

Модель вагона	Ширина спектра доплеровского сигнала ΔF , Гц (по уровню 0,707)					
	Участок № 1		Участок № 2		Участок № 3	
	ΔF , Гц	$\delta_{д.с.}$, %	ΔF , Гц	$\delta_{д.с.}$, %	ΔF , Гц	$\delta_{д.с.}$, %
11-066	25	1,8	38	3,5	8	1,0
11-277	26	1,8	36	3,5	12	1,0
12-726	25	1,8	38	3,5	12	1,0
12-515	23	1,6	34	2,8	12	1,25
15-1474	25	1,8	39	3,5	10	1,25
15-1474 (на раме)	23	1,6	34	2,8	8	1,0
15-1443	23	1,6	38	2,8	8	1,0
11-715	26	1,8	36	3,5	12	1,25
11-739	25	1,8	38	3,5	10	1,25
13-470	23	1,6	39	3,5	12	1,25
13-470 (длиннобазная)	23	1,6	36	3,5	12	1,25
13-479	23	1,6	38	3,5	10	1,25
13-401	23	1,6	39	3,5	12	1,25
Рефрижератор	25	1,6	40	3,64	10	1,25
4МЭЗ-2073	26	1,6	42	3,9	12	1,5

Время обработки T временной выборки доплеровского сигнала было выбрано из условия минимально возможной частоты обрабатываемого сигнала и специфических особенностей многофункционального анализатора FFT серии CF/920 (фирма «SONY», Япония).

Каждая часть таблицы отражает усредненную по множеству реализаций доплеровского спектра, отраженного от ТС сигнала, движущегося в зоне действия измерителя РИС. Первая часть характерна для участка пути, когда анализу подвергается спектр сигнала, отраженного от боковой поверхности ТС (вторая группа рассматриваемых спектров). Вторая часть – спектры сигналов, отраженных от ТС в зоне торможения, начиная от момента срабатывания до момента отпускания замедлителей (третья группа рассматриваемых сигналов). Третья – спектры сигналов, отраженных от торцевой части ТС (первая группа рассматриваемых сигналов).

Результаты экспериментальной обработки показывают, что при облучении вращающихся колес ТС или его колеблющихся частей (например, задние и боковые двери, люки, крышки, приспособления для крепления грузов) в спектре отраженных сигналов появляются дополнительные составляющие. Причем, частоты этих составляющих могут быть как выше, так и ниже частоты основного сигнала, а их уровень на 10...40 дБ ниже уровня основного сигнала. Отметим, что полученные в данной части исследования результаты полностью совпадают с ранее полученными результатами исследования аналогичных параметров СДС автомобильного транспорта [5]. При малых скоростях скатывания ТС спектр отраженного сигнала подвержен более сильным «паразитным» воздействиям, чем спектр сигнала, отраженного от ТС с более высокой скоростью. Это объясняется тем, что при малых скоростях скатывания ТС спектр отраженного сигнала попадает в частотную область аддитивной помехи, спектр которой «накладывается» на спектр доплеровского сигнала. В результате может происходить не только расширение ΔF , но и его «расщепление», что значительно снижает вероятность точного измерения частоты доплеровского сигнала.

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

В результате экспериментальных исследований показано, что на ширину спектра доплеровского сигнала и, следовательно, на точность измерения скорости движения протяженного объекта (железнодорожного отцепа, вагона, в общем случае ТС) наибольшее влияние оказывает его ускорение движения. Причем, чем оно больше по абсолютной величине, тем шире энергетический спектр отраженного сигнала, что полностью соответствует теоретическому анализу.

Учитывая хорошее соответствие между теоретическими и экспериментальными результатами, можно сделать следующие выводы. Средняя величина ускорения отцепов, вкатывающихся на парковую тормозную позицию, лежит в пределах $(+0,45) \dots (+0,55) \text{ м/с}^2$. В момент торможения ускорение лежит в диапазоне $(-1,9) \dots (-2,1) \text{ м/с}^2$; соответственно при выходе из замедлителя $(-0,05) \dots (+0,05) \text{ м/с}^2$.

Следует отметить, что при технической реализации следящего измерителя скорости для повышения точности измерения средней частоты спектра отраженного сигнала, постоянная времени измерения должна выбираться из условия минимальной ширины доплеровского отраженного сигнала при максимально возможной величине ускорения движения ТС, с учетом необходимого быстродействия измерителя в получении и выдаче информации о скорости движения ТС. Как видно из представленных результатов, постоянная времени измерения должна лежать в пределах $80 \dots 120 \text{ м/с}$.

Исследование проведено в ходе выполнения в 2012 г. фундаментальной НИР в рамках государственного задания Минобрнауки РФ.

Список литературы

1. Воловач В. И. Накапливающаяся вероятность обнаружения объектов в зоне контроля радиотехнических охранных устройств / В. И. Воловач // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2011. – Т. 7, № 1. – С. 17–20.
2. Воловач В. И. Обоснование моделей возмущающих воздействий на радиотехнические устройства охранной сигнализации / В. И. Воловач // Известия Самарского научного центра РАН. – 2006. – С. 134–144. (Сер. Наука промышленности и сервису).
3. Воловач В. И. К вопросу определения статистических сигналов, отраженных от протяженных объектов / В. И. Воловач // Радиолокация. Навигация. Связь: сб. докл. конф. – Воронеж : САКВОЕЕ ООО, 2007. – Т. 3. – С. 1873–1881.
4. Воловач В. И. Особенности определения доплеровского смещения частоты в радиотехнических устройствах охранной сигнализации / В. И. Воловач // Вестник ТГУС : межвуз. сб. науч. тр. – 2008. – Вып. 3. – С. 10–28. – (Сер. Проблемы и решения современной технологии).
5. Воловач В. И. Статистические характеристики сигналов, отраженных от транспортных средств / В. И. Воловач // Проблемы и решения современной технологии: межвуз. сб. науч. тр. – Тольятти : ТГАС, 2004. – Вып. 13. – С. 10–28.
6. Коростелев А. А. Теоретические основы радиолокации / А. А. Коростелев, Н. Ф. Клюев, Ю. А. Мельник; под ред. В. Е. Дулевича. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Советское радио, 1978. – 608 с.
7. Шелухин О. И. Радиосистемы ближнего действия / О. И. Шелухин. – Москва : Радио и связь, 1989. – 238 с.

References

1. Volovach V. I. Nakaplivajuvasja verojatnost' obnaruzhenija obektov v zone kontrolja radiotekhnicheskikh ohrannyh ustrojstv [Collecting probability of object detection in the zone of control of radio engineering security devices]. *Jelektrotehnicheskie i informacionnye komplekxy i sistemy* [Electrotechnical and Information Complexes and Systems], 2011, no. 1, vol. 7, pp. 17–20.
2. Volovach V. I. Obosnovanie modelej vozmuwajuwih vozdejstvij na radiotekhnicheskie ustrojstva ohrannoij signalizacii [Justification of models of disturbing impacts on radio engineering devices of the security alarm system]. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN*. [News of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2006, pp. 134–144, (Ser. Science to Industry and Service).
3. Volovach V. I. K voprosu opredelenija statisticheskikh signalov, otrazhennyh ot protjazhennyh obektov [To the problem of determination of statistical signals reflected from extended objects]. *Radiolokacija. Navi-*

gacija. Svjaz' [Radarlocation. Navigation. Connection: Coll. Rep. Conf.]: sb. dokl. konf. Voronezh: SAK-VOEE OOO, 2007, vol. 3, pp. 1873–1881.

4. Volovach V. I. Osobennosti opredelenija doplerovskogo smewenija chastoty v radio-tehnicheskikh ustrojstvax ohrannoj signalizacii [Features of determination of Doppler shift of frequency in radio engineering devices of the security alarm system]. *Vestnik TGUS* [Bulletin of Tolyatti State University of Service] : mezhvuz. sb. nauch. tr., 2008, iss. 3, pp. 10–28, (Ser. Problemy i reshenija sovremennoj tehnologii).

5. Volovach V. I. Statisticheskie harakteristiki signalov, otrazhennyh ot transportnyh sredstv [Statistical characteristics of signals reflected from vehicles]. *Problemy i reshenija sovremennoj tehnologii*: [Problems and solutions of modern technology]: mezhvuz. sb. nauch. tr. Tolyatti: TGAS, 2004, iss. 13, pp. 10–28.

6. Korostelev A. A., Klyuev N. F., Mel'nik Yu. A. Teoreticheskie osnovy radiolokacii [Theoretical bases of radar-location], 2-e izd., pererab. i dop. Moscow: Sovetskoe radio, 1978. 608 p.

7. Sheluhin O. I. Radiosistemy blizhnego dejstvija [Short-range radio systems]. Moscow: Radio i svjaz', 1989. 238 p.

УДК 371.69:004.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕДАЧИ ГОЛОСОВЫХ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Бершадский Александр Моисеевич, доктор технических наук

Курилов Леонид Сергеевич, кандидат технических наук

Бождай Александр Сергеевич, доктор технических наук

Гудков Павел Анатольевич, кандидат технических наук

Гудков Алексей Анатольевич, кандидат технических наук

Пензенский государственный университет

440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40

E-mail: bam@pnzgu.ru

В данной статье приводятся результаты экспериментальных исследований процессов обработки, ретрансляции и маршрутизации голосового трафика в сетях с динамически адаптирующейся архитектурой. Рассматривается структура разработанного прототипа коммуникационной системы с голосовой передачей данных, способного работать в беспроводных сенсорных сетях стандарта ZigBee, а также измеренные значения реальных рабочих характеристик системы в процессе передачи голосовых потоков в режиме полудуплексной связи. В основе исследования лежат биометрические системы контроля доступа, которые в настоящее время являются наиболее перспективными, поскольку необходимость выполнения процедур идентификации персонала требуется во многих сферах человеческой деятельности. Актуальность работы подтверждается также широким распространением беспроводных мобильных телекоммуникационных технологий, на основе которых осуществляется передача данных в разрабатываемой системе. На основании спектральных и других характеристик голоса будет даваться разрешение на выполнение каких-либо действий, например, на нахождение на некоторой закрытой территории. Практическая реализация приложения речевой коммуникации для использования его совместно с модулями ZigBee и проведенные исследования характеристик его работы подтвердили реальную применимость сетей стандарта ZigBee для обмена голосовыми сообщениями.