

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЕ И УЗКОПОЛОСНЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ СОВМЕСТНАЯ РАБОТА В ОБЩЕЙ ПОЛОСЕ ЧАСТОТ

Мы уже писали о сверхширокополосных (СШП) системах – связных и радарных [1, 2]. В данной работе авторы анализируют возможность создания связных СШП-систем с учетом самых жестких требований на побочные излучения, предъявляемых к узкополосным системам. Пока только в США процесс легализации СШП-систем сдвинулся с мертвой точки и открыл дорогу их производителям на массовый рынок. В России есть если не все, то многие предпосылки не отстать от этого набирающего ход поезда. И не последнюю роль здесь могут сыграть наши чиновники от связи, должные следить за нормативной базой и обновлять ее в соответствии с велениями времени. Практика показывает, что любые формальные барьеры рушатся под напором новых перспективных технологий. Весь вопрос – когда это произойдет. Время тут работает исключительно в интересах зарубежных компаний и против России.

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЕ СИСТЕМЫ – ЕСТЕСТВЕННЫЙ ПУТЬ РАЗВИТИЯ

В современном мире объемы потоков информации, передаваемых по радиоканалам, растут стремительно. Черно-белые и особенно цветные телевизионные изображения, массивы данных при межкомпьютерных соединениях, телеметрическая информация в больших системах – все это требует передачи десятков и сотен мегабит в секунду. Известно, что предельная пропускная способность канала связи (максимальное количество информации, передаваемое по каналу) определяется формулой Шеннона: $C [\text{бит/с}] = \Delta f \log(1 + P_S/P_N)$, где Δf – рабочая полоса частот канала связи; P_S – мощность сигнала; P_N – мощность шума в полосе частот канала.

Из формулы видно, что при фиксированной полосе частот увеличение объема передаваемой по радиоканалу информации можно за счет повышения мощности сигнала. Однако рост излучаемой мощности ограничен несколькими факторами. Прежде всего, уровень мощности на определенном расстоянии от излучающей системы не должен превышать предел безопасности для организма человека. Важно также отсутствие взаимных помех радиосистем в реальных условиях эксплуатации – так называемая электромагнитная совместимость (ЭМС). Поскольку современные радиосистемы относительно узкополосны и каждая из них работает в отведенной для нее полосе частот, требования ЭМС ограничивают излучения системы за пределами выделенной полосы – т.н. нежелательные излучения. К ним относятся внеполосные и побочные радиоизлучения, а также

И.Иммореев, А.Судаков
immoreev@aha.ru, alex-sudakov@mtu-net.ru

индустриальные радиопомехи [3, 4]. Ограничения на нежелательные излучения в каждой стране определены соответствующими законодательствами.

Из уравнения Шеннона также следует, что пропускная способность канала линейно зависит от рабочей полосы частот Δf . Для увеличения объема передаваемой информации необходимо ее расширять. Поэтому в последние годы, благодаря успехам микроэлектроники в области создания скоростной элементной базы, стали быстро развиваться средства передачи информации на основе сверхширокополосных (СШП) сигналов.

Согласно определению Федеральной Комиссии Связи США [5], сверхширокополосными называются сигнал или система с относительной полосой частот η более 0,25 или с шириной спектра более 1,5 ГГц. Относительная полоса частот η определяется как: $\eta = 2(f_{\text{верх}} - f_{\text{нижн}}) / (f_{\text{верх}} + f_{\text{нижн}})$, где $f_{\text{верх}}$ и $f_{\text{нижн}}$ – верхняя и нижняя частоты спектра по уровню -10 дБ относительно максимума излучения. Центральная частота излучения определяется как среднее значение между верхней и нижней частотой $f_{\text{ц}} = (f_{\text{верх}} + f_{\text{нижн}}) / 2$. Отдельно в [6] предложено определение СШП-передатчика: к сверхширокополосным относят передатчики, у которых $\eta > 0,2$ или абсолютная полоса частот больше 500 МГц.

СШП-системы связи сегодня – весьма перспективное направление. Однако поскольку СШП-системы занимают весьма широкие полосы частот, возникла проблема электромагнитной совместимости СШП-систем с традиционными узкополосными (УП) системами, действующими в том же спектральном диапазоне, несмотря на то, что спектральная плотность мощности СШП-систем очень мала. Поэтому сегодня актуальны численные оценки этой мощности, позволяющие сформулировать требования к СШП-системам и обеспечить их электромагнитную совместимость с другими системами в соответствии с действующим законодательством различных стран и регионов.

НОРМЫ НЕЖЕЛАТЕЛЬНЫХ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ

Для совместной работы УП- и СШП-систем необходимо обеспечить отсутствие помех со стороны последних. Для этого уровень излучения СШП-систем должен соответствовать самым жестким законодательным нормам на нежелательные излучения для УП-радиосистем, что автоматически обеспечивает ЭМС СШП- и УП-систем в заданной полосе частот. Рассмотрим нормы разных стран на нежелательные излучения.

В Российской Федерации государственными отраслевыми стандартами определены нормы, ограничивающие уровни мощности внеполосных радиоизлучений [7], побочных радиоизлучений [8] и индустриальных радиопомех [6, 9–11]. При этом самые жесткие нормы установлены на уровни излучения индустриальных радиопомех, поэтому будем рассматривать именно их.



Таблица 1. Нормы на уровень промышленных помех в России

Диапазон частот f , МГц	Измеряемая нормируемая величина	Дальность измерения D , м	Измерение в полосе ΔF , кГц	Измерительный прибор	P_i , дБм	W , Вт/Гц
0,009–0,07	Напряженность магнитного поля H , дБмкА/м	69 ¹	3	Квазипиковый детектор	25,2	$1,67 \cdot 10^{-3}$
0,07–0,15		69–39 ¹	3		-4,80 ²	$1,67 \cdot 10^{-6} \cdot 2$
0,15–30,0	39–3 ¹	3	9,0		-40,7 ²	$9,33 \cdot 10^{-12} \cdot 2$
30,0–230	Напряженность электрического поля E , дБмкВ/м	30	10		-54,8	$2,77 \cdot 10^{-14}$
230–1000		37	10		120	-47,8
1000–11700	Мощность излучения P , дБВт	57 ¹	3		1000	-23,5
11700–12500		50 ¹	3	1000	-30,5	$9,00 \cdot 10^{-13}$
< 12500	На рассмотрении					

Примечания: 1 – На рассмотрении для систем связи; 2 – На верхней частоте диапазона.

Таблица 2. Допустимый уровень побочных излучений в США

Диапазон частот f , МГц	Измеряемая нормируемая величина	Дальность измерения D , м	Измерение в полосе ΔF , кГц	Измерительный прибор	P_i , дБм	W , Вт/Гц		
0,009–0,015	Напряженность электрического поля E , мкВ/м	267–160	300	Детектор с усреднением	-11,7 ¹	$2,24 \cdot 10^{-7} \cdot 1$		
0,015–0,490		160–4,9	300		10	-42,0 ¹	$6,30 \cdot 10^{-12} \cdot 1$	
0,490–1,705		49–14	30	10	Квазипиковый детектор	-52,3 ¹	$5,84 \cdot 10^{-13} \cdot 1$	
1,705–30,0		30	30	10		-45,7	$2,61 \cdot 10^{-13}$	
30,0–88,0		100	3	100		-55,3	$2,91 \cdot 10^{-14}$	
88,0–216		150	3	100		-51,7	$6,76 \cdot 10^{-14}$	
216–960		200	3	100		-49,2	$1,20 \cdot 10^{-13}$	
960–1000		500	3	100		-41,3	$7,41 \cdot 10^{-13}$	
< 1000		500	3	1000		Детектор с усреднением	-41,3	$7,41 \cdot 10^{-14}$

Примечания: 1 – На верхней частоте диапазона.

Таблица 3. Нормы на уровень побочных радиоизлучений в Европе

Диапазон частот f , МГц	Измеряемая нормируемая величина	Дальность измерения D , м	Измерение в полосе ΔF , кГц	Измерительный прибор	P_i , дБм	W , Вт/Гц	
0,009–0,15	Напряженность магнитного поля H , дБмкА/м	27–14	10	Квазипиковый детектор	-6,3 ¹	$1,4 \cdot 10^{-4} \cdot 1$	
0,15–10,0		14–3,5	10		9,0	-19,2 ¹	$7,04 \cdot 10^{-7} \cdot 1$
10,0–30,0		-3,5	10		9,0	-36,8	$2,31 \cdot 10^{-11}$
30,0–1000	Мощность излучения P , дБм	-36 ²	3		100	-36	$2,43 \cdot 10^{-12}$
1000–40000		-30	3		1000	-30	$9,72 \cdot 10^{-13}$
Свыше 40000	На рассмотрении						

Примечания: 1 – На верхней частоте диапазона; 2 – Для передающих устройств, которые находятся на расстоянии менее чем 10 м от радиовещательных приемников, в диапазонах частот 47–74МГц, 87,5–118МГц, 174–230МГц, 470–862МГц P_i не должна превышать -54 дБм.

Для промышленных радиопомех на частотах ниже 30 МГц нормируют магнитную составляющую напряженности поля, на частотах от 30 до 1000 МГц – электрическую составляющую напряженности поля, на частотах выше 1000 МГц – мощность излучения (табл. 1). Для сравнения различных видов нормируемых величин в таблице приведены их значения, пересчитанные в мощность, излучаемую изотропным источником P_p и его спектральную плотность мощности W .

В США действуют требования, установленные Кодексом Федеральных Правил, ограничивающие уровень как внеполосных, так и побочных излучений УП-систем [12]. Здесь самые жесткие нормы установлены на уровни побочных излучений (табл.2). Отметим, что в этой стране УП-радиотехнические устройства с уровнем излучения ниже нормируемого могут работать в определенных диапазонах частот без получения индивидуальной лицензии [12, §15.205]. На основе этих правил впервые в истории радиотехники Федеральная Ко-

миссия Связи (ФКС) разрешила продажу и использование СШП- и УП-радиосистем в одной полосе частот [5] (см. также [13]). Рассмотрев свое решение через год, ФКС оставила его без изменений [14].

Европейскими стандартами по электромагнитной совместимости [15–18] самые жесткие требования установлены также на побочные радиоизлучения (табл.3), к которым относятся излучение на гармониках, паразитное излучение, интермодуляционное излучение и излучение, вызванное продуктами преобразования частоты [19].

Пересчет нормированных величин в табл. 1–3 произведен по следующим формулам:

напряженность электрического поля

$$E \text{ [дБмкВ/м]} = 20 \log_{10} E \text{ [мкВ/м]} = 51,5 + H \text{ [дБмкА/м]};$$

$$E \text{ [мкВ/м]} = 377 H \text{ [мкА/м]};$$

мощность, излучаемая изотропным источником

$$P_i \text{ [дБм]} = E \text{ [дБмкВ/м]} + 20 \log_{10} D \text{ [м]} - 104,8 =$$

$$= P \text{ [дБм]} + 20 \log_{10} D \text{ [м]} = P \text{ [дБм]} + 20 \log_{10} D \text{ [м]} - 90,$$

где: D – расстояние между передающей и приемной антеннами, на котором проводились измерения. $P_i \text{ [Вт]} = (E \text{ [мкВ/м]} \cdot D \text{ [м]})^2 \cdot 10^{-12} / 30$; спектральная плотность мощности

$$W \text{ [Вт/Гц]} = P_i \text{ [Вт]} / \Delta F \text{ [Гц]}.$$

Нежелательные излучения измеряют детектором с усреднением и квазипиковым детектором. При этом существует однозначное соответствие между величинами, измеряемыми приборами различного типа [20, 21]. В табл.4 приведены сравнительные уровни нежелательных излучений, нормируемых в разных странах для диапазонов частот выше 30 МГц. Величина спектральной плотности мощности преобразована согласно методу измерения детектором с усреднением*, как рекомендовано в [21], т.е. значение несинусоидального сигнала, измеренное этим прибором, должно быть на 10 дБ меньше значения этого же сигнала, полученного при измерении квазипиковым детектором.

Международный Электротехнический Комитет (IEC) как международный орган ведет работы по определению статуса СШП-устройств и их электромагнитной совместимости с другими устройствами. Разрабатываемые им и уже действующие стандарты, например [22, 23], касаются мощного излучения (импульсное напряжение сотни вольт и более) при длительностях импульсов более 1 нс. Однако международных норм на работу маломощных СШП-систем (менее сотни вольт импульсного напряжения) при длительностях импульсов менее 1 нс сегодня нет, а они весьма необходимы.

Таблица 4. Сводная таблица норм на нежелательные излучения

Диапазон частот f , МГц	Средняя спектральная плотность мощности W_{av} , Вт/Гц		
	Россия	США	Европа
30,0–88,0	$2,77 \cdot 10^{-15}$	$2,91 \cdot 10^{-15}$	$2,43 \cdot 10^{-13}$
88,0–216	$2,77 \cdot 10^{-15}$	$6,71 \cdot 10^{-15}$	$2,43 \cdot 10^{-13}$
216–230	$2,77 \cdot 10^{-15}$	$1,22 \cdot 10^{-14}$	$2,43 \cdot 10^{-13}$
230–960	$1,40 \cdot 10^{-14}$	$1,22 \cdot 10^{-14}$	$2,43 \cdot 10^{-13}$
960–1000	$1,40 \cdot 10^{-14}$	$7,41 \cdot 10^{-14}$	$2,43 \cdot 10^{-13}$
1000–11700	$4,50 \cdot 10^{-13}$	$7,41 \cdot 10^{-14}$	$9,72 \cdot 10^{-14}$
11700–12500	$9,00 \cdot 10^{-14}$	$7,41 \cdot 10^{-14}$	$9,72 \cdot 10^{-14}$
12500–40000	На рассмотрении	$7,41 \cdot 10^{-14}$	$9,72 \cdot 10^{-14}$
Свыше 40000	На рассмотрении	$7,41 \cdot 10^{-14}$	На рассмотрении

* Разница при приведении результатов к среднему или квазипиковому значению при измерении уровня мощности излучения СШП-систем несущественна как в силу однозначного соответствия между показаниями детекторов двух типов, так и потому, что рабочая полоса частот СШП-устройств, как правило, на несколько порядков больше полосы частот ΔF квазипикового детектора, что при измерении дает усредненное значение мощности СШП-сигнала.

Следует отметить, что ограничение уровня основного радиоизлучения СШП-систем в соответствии с требованиями, указанными в табл. 4, не гарантирует полного отсутствия их влияния на УП-радиосистемы. Исследования, проведенные в США [20], показали, что СШП-радиосистемы, удовлетворяющие требованиям табл. 4, могут создавать помехи работе глобальных навигационных систем, например GPS. Поэтому в США работа СШП-устройств в некоторых диа-

Таблица 5. Диапазоны рабочих частот и уровни излучения для СШП-систем в США

Диапазон частот f , МГц	Тип излучения	W_{av} , Вт/Гц
0,009–960	Нежелательное	Табл.2
960–1610	То же	$2,95 \cdot 10^{-17}$
1610–1990	–”–	$4,67 \cdot 10^{-15}$
1990–3100	–”–	$7,41 \cdot 10^{-15}$
3100–10600	Основное	$7,41 \cdot 10^{-14}$
Свыше 10600	Нежелательное	$7,41 \cdot 10^{-15}$

пазонах частот ограничена. Диапазон рабочих частот СШП-систем связи для внутриофисного применения в США определен в пределах 3100–10600 МГц [5]. На остальных частотах установлен уровень нежелательного излучения СШП-систем (табл. 5).

ДАЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ СШП-СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Оценим возможности СШП-систем связи, удовлетворяющих указанным выше нормативным ограничениям на уровень излучения. Расчет дальности действия системы СШП-связи будем проводить при фиксированной максимально допустимой средней мощности излучения. Поскольку в этих системах используется передача цифровой информации, рассмотрим наиболее простой метод ее передачи посредством амплитудной манипуляции с пассивной паузой, при этом каждый информационный бит передается одним импульсом (т.е. период следования импульсов фиксирован, появление/отсутствие импульса означает 1/0). В этом случае фиксированная средняя мощность излучения определяет число импульсов, излученных в единицу времени, т.е. скорость передачи информации. Как показано в работе [24], данный вид модуляции энергетически наименее выгоден. Однако он наиболее прост в аппаратной реализации, а потому и наиболее перспективен.

Пусть длительность излучаемого СШП-импульса равна 0,5 нс, а полоса рабочих частот лежит в диапазоне 3,1–5,1 ГГц. Тогда допустимая спектральная плотность мощности СШП-сигнала в рабочей полосе составит $7,41 \cdot 10^{-14}$ Вт/Гц (см. табл. 5). Прием СШП-сигналов производится на фоне аддитивного белого гауссового шума.

Уровень шума, действующий в рабочей полосе СШП-приемника, рассчитывается по формуле $N_{RX} = k \cdot T_K \cdot \Delta f_{UMB} \cdot N$, где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана, $T_K = 293$ К – абсолютная температура, $\Delta f_{UMB} = 2 \cdot 10^9$ Гц – полоса пропускания приемника, $N = 10$ – коэффициент шума приемника. Таким образом, $N_{RX} = 80,9$ пВт = -70,9 дБм. Чувствительность приемника: $P_{RX} = N_{RX} \cdot q = 80,9 \cdot 10^{-12} \cdot 30 = 2,4$ нВт = -56,2 дБм, где q – минимальное отношение сигнал/шум на входе

приемника, требуемое для обеспечения заданной вероятности ошибки на бит (BER) при принятом виде модуляции. Для BER = 10^{-3} и 10^{-6} значение q при оптимальном приеме составит 30 и 70, соответственно [25].

Определим предельную среднюю мощность P_{TXav} , которую может излучать передатчик при заданной предельной средней спектральной плотности мощности $W_{av} \cdot P_{TXav} = W_{av} \cdot \Delta f_{UMB} = 7,413 \cdot 10^{-14} \cdot 2 \cdot 10^9 = 0,15$ мВт = -8,24 дБм. Тогда пиковая мощность $P_{TXpeak} = P_{TXav} \cdot Q = P_{TXav} \cdot T/\tau = P_{TXav} / (\tau \cdot V)$, где Q – скважность, T – период следования импульсов, с; $V = 1/T$ – скорость передачи информации, бит/с.

Дальность действия системы связи определим по формуле

$$D = \frac{P_{TXpeak} \cdot G_{TX} \cdot G_{RX} \cdot (C \cdot \tau)^2}{16 \cdot \pi^2 \cdot P_{RX}}$$

где $G_{TX} = 1$ – коэффициент усиления антенны передатчика, $G_{RX} = 1$ – коэффициент усиления антенны приемника, $C = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света, $\tau = 0,5$ нс. При коэффициенте усиления передающей антенны более единицы необходимо ограничивать энергетический потенциал СШП-радиосистемы, равный $P_{TXpeak} \cdot G_{TX}$, таким образом, чтобы излучаемая мощность в направлении наибольшей направленности передающей антенны не превышала предельно допустимую. В результате можно построить зависимость скорости передачи от дальности связи для приведенных значений BER (см. рис.)

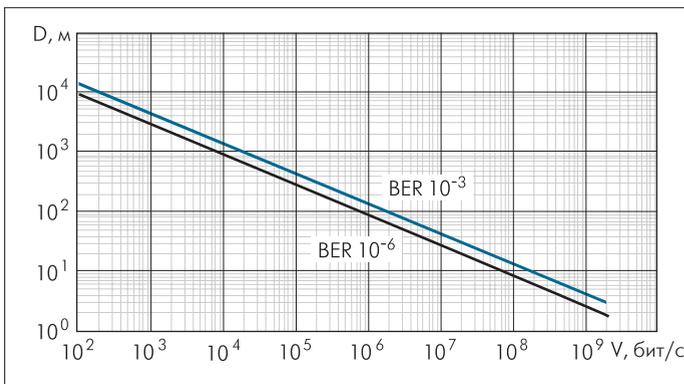
ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ОТ ДАЛЬНОСТИ СВЯЗИ

Из графика следует, что с учетом ограничений уровня излучаемой мощности СШП-системы можно подразделить на три группы.

Системы передачи данных со скоростью 1–100 Кбит/с (низкоскоростная связь) при дальности действия от нескольких километров до нескольких сотен метров. Они эффективны при информационном обмене с высокой скрытностью. Речь идет о системах передачи голосовых или информационных данных, в том числе – в распределенных сетях беспроводных датчиков. Это могут быть датчики постоянного контроля температуры, влажности, давления, частоты, напряжения и т.д.; датчики охранных и пожарных сигнализаций; медицинские датчики контроля состояния пациентов в госпиталях и в домашних условиях, а также датчики состояния спортсменов в процессе проведения тренировок и соревнований и т.д. Основное достоинство таких систем – возможность их применения без специального разрешения на использование полосы рабочих частот, если законодательство, подобное действующему в США (см. табл. 5), будет введено и в других странах.

Системы передачи данных со скоростью 1–100 Мбит/с при дальности действия от десяти до ста метров могут найти применение в локальных беспроводных внутриофисных сетях вместо проводных сетей типа Ethernet. Подобные системы будут, по-видимому, дешевле используемых сегодня для этих целей узкополосных систем, не говоря об их меньшем энергопотреблении.

Системы передачи данных со скоростью более 100 Мбит/с (высокоскоростная связь), в соответствии с прогнозами, – основная область для СШП-технологий. Такие системы связи эффективны для быстрого обмена большими массивами данных между мобильными устройствами (карманные персональные компьютеры, ноутбуки, цифровые фото- и видекамеры, различные регистраторы информации), а также между мобильными устройствами и стационарными компьютерными системами сбора, обработки и хранения данных. Основное достоинство СШП-технологии перед близкими по скорости обмена системами на инфракрасных лучах – возмож-



Зависимость скорости передачи от расстояния для двух значений BER

Таблица 6. Сравнение СШП и УП радиосистем связи при BER = 10⁻³ (по материалам [26–28])

Параметр	Узкополосная связь			Сверхширокополосная связь	
	cdmaOne (IS-95)	Bluetooth	802.11b	Низкоскоростная	Высокоскоростная
Скорость передачи информации в одном канале, Мбит/с	0,0192	0,7232	11,0	0,02	500
Дальность при прямой видимости, м	25000	100	100	1000	6,0

ность работы через стены помещений и на больших расстояниях, а по сравнению с лазерными системами – более низкая стоимость.

Сравнивая современные и перспективные узкополосные системы передачи данных с СШП-системами (табл.6), можно заметить, что наиболее вероятной областью применения СШП-связи при существующих ограничениях по ЭМС будет высокоскоростная связь ближнего действия. Узкополосным же системам останется менее скоростная связь на большие расстояния.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ действующего законодательства Российской Федерации, США и стран Европы в области электромагнитной совместимости показал, что совместное использование СШП- и УП-радиосистем в одном и том же диапазоне частот возможно. Это относится как к системам СШП-радиосвязи, так и к системам СШП-радиолокации. Для такого использования необходимо, чтобы спектральная плотность средней мощности СШП-систем находилась ниже уровня нежелательных излучений, установленного стандартами соответствующих стран (см. табл. 4). В соответствии с действующими в США правилами, СШП-системы не оказывают помех работе УП-систем при ограничении излучаемой ими мощности в диапазоне частот 3100 – 10600 МГц на уровне мощности нежелательных излучений для УП-систем – $7,41 \cdot 10^{-14}$ Вт/Гц. Эти правила могут быть распространены на Российскую Федерацию и Европу, где установлен менее жесткий уровень нежелательных излучений – $9,0 \cdot 10^{-14}$ Вт/Гц и $9,72 \cdot 10^{-14}$ Вт/Гц, соответственно. Очевидна и актуальность массовых СШП-систем – как конфиденциальной связи с относительно небольшими потоками информации (около 20 Кбит/с) на расстояние до километра, так и для организации каналов связи с высокой скоростью передачи информации (сотни Мбит/с) на небольшие расстояния (десятки метров), поскольку в ближайшее время системы узкополосной радиосвязи не смогут решить данную задачу.

В то же время массовое развитие СШП-систем связи только начинается. Поэтому в нашей стране необходимо как можно скорее создать нормативную базу для массового применения СШП-систем различного назначения, чтобы в очередной раз не отдать перспективное направление американским корпорациям. Тем более что задел отечественных исследователей и разработчиков в СШП-системах весьма серьезен и признан во всем мире [1, 2, 29–32].

ЛИТЕРАТУРА

1. Шахнович И. Сверхширокополосная связь. Второе рождение? – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2001, №4, с. 8-15.
2. Щербак Н. Сверхширокополосная радиолокация. Что это такое. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2002, №3, с.38-46.
3. ГОСТ 23872-79. Совместимость технических средств электромагнитная. Номенклатура параметров и классификация технических характеристик. – М.: Изд-во стандартов, 1979.
4. ГОСТ Р 50397-92. Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1993.
5. Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems. First report and order. FCC 02-48. – Federal Communications Commission, 2002.

6. ГОСТ Р 51319-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Приборы для измерения промышленных радиопомех. Технические требования и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2002.
7. ГОСТ Р 50016-92. Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к ширине полосы радиочастот и внеполосным излучениям радиопередатчиков. Методы измерений и контроля. – М.: Изд-во стандартов, 1993.
8. ГОСТ Р 50842-95. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Устройства радиопередающие народнохозяйственного применения. Требования к побочным радиоизлучениям. Методы измерения и контроля. – М.: Изд-во стандартов, 1996.
9. ГОСТ Р 51318.11-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от промышленных, научных, медицинских и бытовых (ПНМБ) высокочастотных устройств. Нормы и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2000.
10. ГОСТ Р 51318.22-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от оборудования информационных технологий. Нормы и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2000.
11. ГОСТ Р 51856-2001. Совместимость технических средств электромагнитная. Средства радиосвязи малого радиуса действия, работающие на частотах от 3 кГц до 400 ГГц. Требования и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2002.
12. Radio frequency devices. 47 CFR, Part 15. – Code of Federal Regulations, 2001.
13. Shively D. Ultra-wideband radio – The new part 15. – Microwave journal, February 2003. (<http://www.mwjjournal.com>).
14. FCC affirms rules to authorize the deployment of ultra-wideband technology. – FCC, February 13, 2003. – http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DOC-231197A3.pdf
15. Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); Wideband transmission systems. Part 1. EN 300328. – ETSI, 2001.
16. Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); Short range devices (SRD); Radio equipment in the frequency range 9 kHz to 25 MHz and inductive loop systems in the frequency range 9 kHz to 30 MHz. Part 1. EN 300330. – ETSI, 1999.
17. Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); General electromagnetic compatibility (EMC) for radio communications equipment. EN 300339. – ETSI, 1998.
18. Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); Short range devices (SRD); Radio equipment to be used in the 1 GHz to 40 GHz frequency range. Part 1. EN 300440. – ETSI, 2001.
19. International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 161, Electromagnetic compatibility. IEC 60050-161. – <http://domino.iec.ch/iev/iev.nsf/Welcme?OpenForm>.
20. NTIA 01-43. Assessment of compatibility between ultra-wideband devices and selected federal systems. – U.S. Department of Commerce, NTIA, 2001.
21. Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); Methods of measurement for private mobile radio equipment. TR 100027. – ETSI, 1999.
22. Electromagnetic compatibility (EMC); General – The effects of high-altitude EMP (HEMP) on civil equipment and systems, Part 1-3. IEC/TR 61000-1-3. – IEC, 2002.
23. Electromagnetic compatibility (EMC); General – High power electromagnetic (HPEM) effects on civil systems; Part 1-5. IEC/TR 61000-1-5. – IEC, Draft.
24. Котельников В.А. Теория потенциальной помехоустойчивости. – М.: Радио и связь, 1998.
25. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1991.
26. Mobile station-base station compatibility standard for dual-mode wideband spread spectrum cellular systems. Interim Standard IS-95. – Washington: TIA, 1993.
27. Specification of the Bluetooth system. Version 1.1. – <http://www.bluetooth.com>.
28. Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Higher-speed physical layer extension in the 2.4 GHz band. Part 11. ANSI/IEEE Std 802.11. – IEEE, 1999.
29. Immoreev I.J., Sudakov A.A. Ultra-wideband interference resistant system for secure radio communication with high data rate. – St. Petersburg, Russia: ICCSC'02, 2002.
30. Immoreev I.J., Sinyavin A.N. Features of Ultra-Wideband Signals' Radiation. – Baltimore, USA: UWBST'02, 2002.
31. Immoreev I.J., Fedotov D.V. Detection of UWB Signals Reflected from Complex Targets. – Baltimore, USA: UWBST'02, 2002.
32. Immoreev I.J., Taylor J. Future of Radars. – Baltimore, USA: UWBST'02, 2002.