

УДК 621.396.969.11

Д. В. Богданов, Д. В. Гайворонский
 Санкт-Петербургский государственный электротехнический
 университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина)

Выбор и анализ структуры пользовательского радиointерфейса локальной системы позиционирования

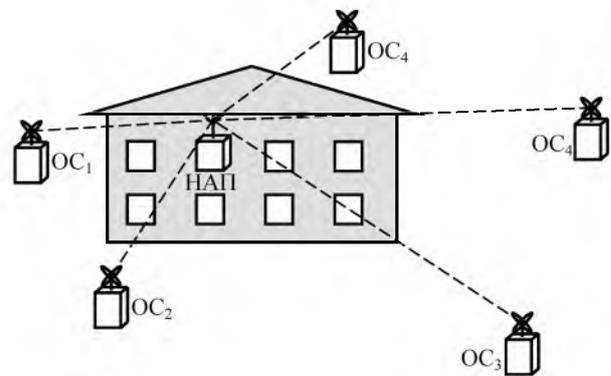
Рассмотрено построение пользовательского радиointерфейса локальной системы позиционирования. Показано, что для обеспечения сантиметровой точности позиционирования необходимо применение технологии сверхширокополосных сигналов с отдельной передачей информационного сообщения.

Сверхширокополосные сигналы, локальная система позиционирования, дальномерный код, радионавигация, ослабление сигнала, кодовое разделение

Применяемые в настоящее время системы позиционирования в помещении и локальных зонах пространства [1] наряду с высокой точностью позиционирования обладают рядом недостатков, значительно ограничивающих сферу возможных применений. К ним относится необходимость синхронизации между опорными станциями (ОС) посредством локальной или другой проводной сети, предварительного развертывания сети ОС и возможность работы только в зоне прямой видимости либо в пределах одного помещения или комнаты. Для обеспечения нужд спецподразделений МВД и МЧС необходима разработка системы позиционирования, работоспособной в условиях сложной городской обстановки, с возможностями быстрого развертывания и беспроводной синхронизации между ОС.

Для решения поставленной задачи в 2011–2013 гг. на базе ОАО "Российский институт радионавигации и времени" проведена серия экспериментальных исследований макета локальной системы позиционирования (ЛСП) на основе серийного приемопередающего модуля "Пикор". Анализ результатов позволяет при продолжении работ по созданию системы ориентироваться на обеспечение ключевых для работы в городских условиях тактико-технических характеристик: радиуса зоны покрытия и возможности работы при затенении из-за наличия одного или нескольких препятствий на пути следования сигнала. Структура предложенной ЛСП изображена на рисунке, где $ОС_k$ – k -я опорная станция; НАП – навигационная аппаратура потребителя.

В перечне основополагающих задач при разработке ЛСП отметим следующие:



- выбор рабочего диапазона частот;
- выбор формата пользовательского интерфейса, включая способ разделения сигналов ОС, вид дальномерного кода (ДК) и информационного сообщения;
- необходимое и достаточное количество ОС, а также геометрический фактор их положения.

К разрабатываемой ЛСП предъявляются следующие требования:

- количество ОС $n_{ОС} \geq 10$;
- радиус зоны покрытия $r \geq 500$ м при количестве стен на трассе распространения $n_{СТ} = 5$;
- скорость передачи данных $R \geq 1000$ бит/с;
- возможность работы передатчика без получения частного разрешения на использование диапазона частот;
- среднеквадратическое отклонение (СКО) определения координат НАП $\sigma_r \leq 20$ см по всем осям при геометрическом факторе $g \geq 3$;
- скорость перемещения объекта – не более 10 м/с;
- период обновления информации о координатах НАП – не более 2 с.

Результаты оценки ослабления сигнала в строительных конструкциях. На первых этапах разработки ЛСП была проведена серия экспериментов по оценке уровня ослабления сверхширокополосных (СШП) сигналов строительными конструкциями [2]. Испытательная установка представляла собой две антенны, разнесенные на расстояние r , к одной из которых подключен генератор импульсов, ко второй – осциллограф и спектроанализатор. Длительность импульса $\Delta = 5$ нс (что соответствует полосе сигнала $W = 400$ МГц).

Исследовалось затухание сигнала D при прохождении через кирпичную, бетонную и железобетонную стены толщиной h в зависимости от частоты несущей f_0 . Результаты измерений сведены в табл. 1. Из полученных данных можно сделать вывод, что ослабление ($L_{ст}$, дБ) возрастает с повышением f_0 . Однако с понижением рабочей частоты растут габаритные размеры приемной антенны, что критично при создании портативных устройств. Поэтому при выборе несущей частоты для дальномерного сигнала ЛСП следует ориентироваться на диапазон 1...2 ГГц.

Таблица 1

f_0 , ГГц	Материал стены		
	Кирпич	Бетон	Железобетон
	h , м		
	0.48	0.48	0.52
1.1	4	5	18
2.2	9	9	30
3.5	12	9	Не определяются на фоне шума

На следующем этапе проводилось аналогичное испытание с макетом ЛСП на основе модуля "ПИКОР" при удалении потребителя на расстояние до $r = 400$ м и наличии стены на трассе распространения. На основе расчетов оценено ослабление в кирпичной стене толщиной $h = 42$ см, составляющее $L_{ст} = 6.1$ дБ.

Опираясь на приведенные данные экспериментов, при дальнейших энергетических расчетах проектируемой системы разумно положить, что одна стена вносит ослабление $L_{ст}$ порядка 7 дБ [3].

Оценка потенциальных точностных характеристик ЛСП. Прежде чем окончательно выбрать диапазон частот, в котором будет работать система позиционирования, необходимо оценить полосу сигнала, достаточную для высокоточного определения позиции потребителя.

Для оценки точности измерения расстояния от передатчика воспользуемся формулой Вудвор-

да для среднего квадрата ошибки измерения запаздывания сигнала:

$$\sigma_{\hat{\tau}} \approx 1/(2\pi W_{СКВ} q), \quad q \gg 1,$$

где $W_{СКВ}$ – среднеквадратическая ширина полосы сигнала; q – отношение "сигнал/шум" (ОСШ). Тогда СКО измерения расстояния определится как $\sigma_r = c\sigma_{\hat{\tau}}$, где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в свободном пространстве. Значения СКО измерения расстояния в зависимости от $W_{СКВ}$ и q приведены в табл. 2. Из нее следует, что для достижения заданной точности измерения координат при ОСШ $q = 10$ дБ необходимо использовать сигнал с полосой не менее $W = 100$ МГц.

Таблица 2

$W_{СКВ}$, МГц	q , дБ				
	5	10	15	20	25
	q				
	3.16	10	31.6	100	316
20	0.7555	0.2387	0.0755	0.0239	0.0076
50	0.3022	0.0955	0.0302	0.0095	0.0030
100	0.1511	0.0477	0.0151	0.0048	0.0015
200	0.0755	0.0239	0.0076	0.0024	0.0008
500	0.0300	0.0095	0.0030	0.0010	0.0003
1000	0.0151	0.0048	0.0015	0.0005	0.0002

Анализ существующих регламентов выбора диапазона частот. Согласно действующему в Российской Федерации регламенту выделены два субгигагерцовых диапазона, где возможно безлицензионное (не требующее специальных разрешений и регистрации) применение радиопередающих устройств: 443 и 868 МГц [2]. Однако на указанных несущих частотах могут быть выделены полосы с шириной несколько мегагерц, что не позволяет использовать их с точки зрения достижения требуемой точности позиционирования.

Единственной альтернативой реализации ЛСП становится применение технологии СШП-сигналов, предусматривающей передачу данных в широких диапазонах частот, плотность мощности в которых регламентирована FCC [3] и на частотах 1...2 ГГц не должна превышать $S = -75.3$ дБ/МГц. Как показывают расчеты, такая мощность не позволяет обеспечить требуемые точностные характеристики, поэтому целесообразно работать в диапазоне от 1.66 ГГц и выше, где на плотность мощности накладывается более мягкое ограничение $S = -61.3$ дБ/МГц [4]. Максимальная излучаемая

Таблица 3

W , МГц	100	200	300	400	500
$P_{изл}$, нВт	74.1	148.3	222.4	296.5	370.7

мощность одной ОС разрабатываемой ЛСП определяется как $P_{\text{изл}} = 10^{S/10} W$. Результаты расчета в зависимости от ширины полосы W сведены в табл. 3.

Длина информационного сообщения. В разрабатываемой ЛСП с использованием СШП-сигналов в навигационном сообщении передаются сведения о номере передающей станции, координатах, времени, служебная информация и т. д. Исходя из требуемой точности позиционирования объекта и количества ОС, с учетом служебной информации и проверочных бит длина сообщения составит $n = 200$ бит.

Оценка динамического диапазона работы системы при кодовом разделении сигналов ОС. На основании требований к разрабатываемой ЛСП и представленных результатов ограничимся полосой сигнала $W > 100$ МГц, количеством ОС $n_{\text{ОС}} = 10$ и скоростью передачи данных R не менее 1000 бит/с. В табл. 4 приведены некоторые наиболее широко используемые аппаратно-реализуемые ДК при кодовом разделении сигналов, а также минимальный уровень максимально возможной помехи множественного доступа (ПМД) $\min(\rho_{\text{max}})$. Из представленных данных $\min(\rho_{\text{max}}) = -42$ дБ, Ограничим динамический диапазон разрабатываемой системы этим уровнем.

Таблица 4

Ансамбль	Длина N	$n_{\text{ОС}}$	ρ_{max} , дБ
Критерий – число каналов $n_{\text{ОС}} \geq 10$			
Голда	127	129	-17.46
Голда	511	513	-23.79
Голда	1023	1025	-23.94
Касами	255	16	-23.52
Касами	1023	32	-29.82
Критерий – $\min(\rho_{\text{max}})$			
Голда	8191	8193	-36.05
Голда	16383	16385	-36.08
Касами	4095	64	-35.98
Касами	16383	128	-42.07
Укороченный Голда	5115	100	-23.5
Укороченный Голда	10230	100	-26.4
Укороченный Касами	10230	128	-26.4

Для оценки требуемого динамического диапазона рассмотрены два возможных сценария работы ЛСП. При отсутствии на пути распространения строительных конструкций и удалении НАП от передатчиков на расстояние от $r_{\text{min}} = 10$ м до $r_{\text{max}} = 500$ м динамический диапазон должен быть не менее

$$\Delta D = 20 \lg(r_{\text{max}}) - 20 \lg(r_{\text{min}}) = 34 \text{ дБ.}$$

При возможности наличия на пути распространения пяти стен с ослаблением в каждой $L_{\text{СТ}} = 7$ дБ и том же интервале удаления НАП динамический диапазон составляет

$$\Delta D = 20 \lg(r_{\text{max}}) + 5L_{\text{СТ}} - 20 \lg(r_{\text{min}}) = 69 \text{ дБ.}$$

Из расчетов видно, что при кодовом разделении сигналов ОС выбранный ансамбль ДК должен иметь максимальный уровень ПМД менее -69 дБ, что в настоящее время не может быть реализовано при условии ограничения на длину ДК, составляющем 1...10 тысяч элементов. Поэтому последовательности с кодовым разделением не применимы в ЛСП. Остается вариант использования временного разделения сигналов ОС.

Расчет ослабления сигнала на трассе распространения и уточнение структуры сигнала. Разрабатываемая система позиционирования должна предоставлять точные координаты в помещении в зоне покрытия радиусом не менее $r_{\text{max}} = 500$ м. Для расчета ослабления сигнала на трассе использована модель распространения радиоволн в свободном пространстве при зафиксированном ослаблении в одной стене $L_{\text{СТ}} = 7$ дБ. Оценку потерь мощности в свободном пространстве получим из формулы для мощности сигнала на входе приемной антенны [5]:

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{изл}} D_{\text{изл}} D_{\text{пр}} \lambda^2}{(4\pi r)^2},$$

где $P_{\text{пр}}$, $P_{\text{изл}}$ – мощности на входе приемной антенны и выходе передающей антенны соответственно; $D_{\text{изл}}$, $D_{\text{пр}}$ – коэффициенты направленного действия излучающей и приемной антенн соответственно; λ – длина волны; r – расстояние между антеннами.

Полагая, что в разрабатываемой ЛСП приемной антенной будет изотропный излучатель ($D_{\text{пр}} = 0$ дБ), а излучающей – фазированная антенная решетка, позволяющая добиваться узкой диаграммы направленности порядка 20° и коэффициента направленного действия $D_{\text{изл}} = 18$ дБ, формула для расчета потерь в свободном пространстве примет вид

$$\begin{aligned} L_{\text{СВ}} &= 10 \lg L_{\text{СВ}} = \\ &= 20 \lg(\lambda) + D_{\text{изл}} - 20 \lg(4\pi) - 20 \lg(r). \end{aligned}$$

Таблица 5

f_0 , ГГц	L , дБ	f_0 , ГГц	L , дБ
0.5	104.4	2.0	116.4
1.0	110.4	2.5	118.3
1.5	113.9		

При наличии на трассе распространения стен с дополнительным ослаблением $L_{CT} = 7$ дБ, выразив длину волны через скорость света и несущую частоту сигнала, получим окончательную формулу расчета ослабления сигнала в используемой модели:

$$L = -14.4 - 20 \lg(f_0) - 20 \lg(r) - L_{CT} n_{CT}.$$

В этой формуле f_0 выражается в мегагерцах, r – в километрах.

Выполним модельные расчеты, положив $n_{CT} = 5$, $r = 500$ м (табл. 5).

Для оценки скорости безошибочной передачи данных учтем значения параметров, представленных в табл. 5, приведенные в табл. 3 сведения о максимально разрешенной излучаемой мощности, а также формулу расчета вероятности ошибки на бит для BPSK-сигналов [6]:

$$BER = Q(\sqrt{2E_b/N_0}),$$

где E_b – энергия сигнала, приходящая на один бит; N_0 – спектральная плотность мощности шума.

В табл. 6 представлены оценки достижимой скорости передачи данных на расстояние $r = 500$ м при $n_{CT} = 5$ стенах на трассе распространения и вероятности правильного декодирования $p = 0.999$. Из оценок следует, что полное обновление информации от всех ОС с учетом временного разделения составит сотни секунд, что, естественно, непригодно для мобильных применений.

Таблица 6

W , МГц	f_0 , ГГц				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
R , бит/с					
100	20.1	5	2.23	1.25	0.8
200	40.3	10	4.47	2.51	1.61
500	100.7	25.1	11.1	6.2	4

В связи с невозможностью передачи необходимого объема информации от ОС к потребителю принято решение отдельно передавать ДК, используя технологию СШП, а передачу информационного сообщения перенести в другой диапазон частот, где требования по ослаблению сигналов не столь жесткие.

Оценка времени накопления дальномерного кода. При задании значений ложной тревоги

$p_{Л.Т} = 0.01$ и правильного обнаружения $p_{П.О} = 0.99$ [4] получена оценка ОСШ $q = 10.824$. Далее рассчитывается энергия сигнала $E = qN_0$ и с учетом максимальной $P_{ИЗЛ}$ – необходимое время накопления дальномерного сигнала:

$$T = \frac{qN_0}{P_{ИЗЛ} 10^{L/10}}.$$

В табл. 7 сведены данные о времени накопления ДК T при различных полосах сигнала, а следовательно и излучающей мощности. В указанном интервале значений полосы время накопления ДК, полученного от одной ОС, составляет

Таблица 7

W , МГц	T , мс	W , МГц	T , мс
100	146	400	37
200	73	500	29
300	49	–	–

29...146 мс. При обработке информации от 20 ОС, работающих в режиме временного разделения каналов, НАП будет обновлять информацию о собственных координатах с интервалом 0.6...3 с, что вполне приемлемо для задач, решаемых ЛСП.

Выбор возможных кандидатур ДК и оценка времени поиска сигнала. Минимальная длина ДК ограничивается временем принятия однозначного решения по дальности: $T_{ОДН} = r/c$. При $r = 500$ м с учетом скорости распространения электромагнитных колебаний в свободном пространстве (скорости света) имеем $T_{ОДН} = 1.7$ мкс. Минимальная длина дальномерного кода составляет $N = T_{ОДН} / (S_{И} \Delta)$, где $S_{И}$ – скважность следования импульсов.

Приняв $T_{ОДН} = 2$ мкс (что примерно соответствует $r = 600$ м) и $S_{И} = 2$, получим допустимую длительность импульсов и длину ДК в зависимости от ширины полосы частот ЛСП (табл. 8).

Таблица 8

W , МГц	Δ	N	W , МГц	Δ	N
100	20.0	50	400	5.0	200
200	10.0	100	500	4.0	250
300	6.7	150			

Выбор кандидатур на роль ДК разрабатываемой ЛСП ограничен существующими кодами с хорошими автокорреляционными функциями и длинами, близкими к данным табл. 8, среди которых предпочтительными являются М-последовательности и их укороченные аналоги. В табл. 9 сведена информация о подходящих кандидатурах ДК, ап-

Таблица 9

$N_{\text{ДК}}$	ρ_{max} , дБ	$N_{\text{кор}}$	W , МГц	$\overline{T}_{\text{п}}$, мс
М-последовательность				
63	-35.99	252	200	36.5
127	-42.08	508	300	24.5
Укороченная М-последовательность				
50	-18.42	200	100	73.0
100	-18.42	400	200	36.5
200	-20.00	800	400	18.5

паратных затратах при реализации приемного устройства и времени поиска сигнала. В табл. 9 приняты следующие обозначения: $N_{\text{ДК}}$ – длина дальномерного кода; $N_{\text{кор}}$ – требуемое число аппаратно реализованных в НАП корреляторов; $\overline{T}_{\text{п}} = T_{\text{пmax}}/2$ – среднее время поиска.

Согласно табл. 9 для построения ДК и обеспечения однозначного принятия решения по дальности в рабочей зоне 500 м следует ориентироваться на М-последовательности длиной до 200. При этом обеспечивается приемлемое время поиска сигнала. Выбор окончательной кандидатуры обусловлен окончательной фиксацией значения полосы системы и аппаратными возможностями конкретного кристалла НАП.

Информационное сообщение. Для выбора несущей частоты, на которой будет передаваться информационное сообщение, рассмотрим существующие стандарты беспроводной связи, не требующие разрешения.

В России, в соответствии с решениями Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) от 7 мая 2007 г. № 07-20-03-001 "О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия" [2] и от 20 декабря 2011 г. № 11-13-07-1 [5], использование Wi-Fi без получения разрешения на использование частот возможно для организации сети внутри зданий, закрытых складских помещений и производственных территорий в полосах 2400...2483,5 МГц (стандарты 802.11b и 802.11g; каналы 1...13) и 5150...5350 МГц (802.11a и 802.11n; каналы 34...64). Для легального использования вне офисной беспроводной сети Wi-Fi (например, радиоканала между двумя соседними домами) необходимо получение разрешения на использование частот (как в полосе 2,4 ГГц, так и 5 ГГц) на основании заключения экспертизы о возможности использования заявленных радиоэлектронных средств и их электромагнитной совместимости с действующими и планируемыми для использования средствами.

Максимальная разрешенная мощность излучения в диапазоне 2.4 ГГц согласно стандарту 802.11b составляет $P_{\text{изл}} = 100$ мВт. Опираясь на оценку максимальной скорости передачи в канале связи, приведенную ранее, получим скорость передачи информационного сообщения $R = 84$ Кбит/с.

При принятой скорости с учетом временного разделения каналов, $n_{\text{СТ}} = 10$ ОС и объема информационного сообщения в 200 бит, обновление будет происходить с периодом 24 мс, что укладывается в требуемые временные рамки, связанные с мобильностью потребителя. Таким образом, для реализации канала данных в ЛСП можно воспользоваться открытым диапазоном Wi-Fi 2.4 ГГц.

Основные параметры ЛСП. На основе анализа ранее приведенных результатов несущую частоту ЛСП следует выбирать в диапазоне $f_0 = 1.9...2.2$ ГГц. При этом помимо малого ослабления сигнала в строительных конструкциях также обеспечивается применение малогабаритных приемных антенн, что крайне важно в портативной аппаратуре НАП.

Для обеспечения точности позиционирования $\sigma_r \approx 20$ см, зоны покрытия $r = 500$ м, при наличии пяти стен на трассе распространения и безлицензионного использования технологии СШП, полоса сигнала должна быть не менее $W = 300$ МГц. При этом мощность передатчика должна быть не менее $P_{\text{изл}} = 222.4$ нВт.

Для обеспечения заданных качественных показателей системы и требуемого динамического диапазона предлагается использовать временное разделение сигналов опорных станций.

ДК передается потоком СШП-импульсов в полосе W . С учетом простоты генерации и минимального уровня ПМД выбраны М-последовательности и их укороченные аналоги. Время накопления ДК от одной ОС не превышает 200 мс, что при числе ОС 10, обеспечит обновление координат пользователя с интервалом 2 с. При таком сценарии необходимое число корреляторов НАП не превысит нескольких сотен.

Для передачи нужного объема навигационной информации объемом не менее 200 бит канал данных возможно реализовать в диапазоне 2.4 ГГц при $P_{\text{изл}} = 100$ мВт в полосе $W = 22$ МГц. Информационное сообщение от всех 10 ОС будет передано потребителю за 24 мс с вероятностью $p = 0.99$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sahinoglu Z., Gezici S., Guven I. Ultra-Wideband Positioning Systems: Theoretical Limits, Ranging Algorithms, And Protocols. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. 263 p.
2. О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия // Решение ГКРЧ при Мининформсвязи России от 07.05.2007 № 07-20-03-001 (ред. от 30.06.2015). URL: <https://minprom.ru/reshenie-gkrch-07-20-03-001-ot-07-05-2007/> (дата обращения: 05.02.2017).
3. Revision of Pt. 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems: FCC 02-48 released April 22, 2002. URL: https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-02-48A1.pdf (дата обращения: 05/02/2017).
4. Радиотехнические системы. Под ред. Ю.М. Казаринова. М.: Издательский центр "Академия", 2008. 592 с.
5. Решение ГКРЧ при Минкомсвязи России от 20 декабря 2011 г. № 11-13-07-1 «О внесении изменений в решение ГКРЧ от 07.05.2007 № 07-20-03-001 "О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия"». URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70016642/> (дата обращения: 05.02.2017).
6. Ипатов В. П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения: пер. с англ. М.: Техносфера, 2007. 487 с.

Статья поступила в редакцию 3 февраля 2017 г.

Для цитирования: Богданов Д. В., Гайворонский Д. В. Выбор и анализ структуры пользовательского радиоинтерфейса локальной системы позиционирования // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2017. № 1. С. 49–55.

Богданов Денис Валерьевич – магистр по направлению "Радиотехника" (2012), ассистент кафедры радиотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина). Автор двух научных публикаций. Сфера научных интересов – спутниковая радионавигация, сверхширокополосная радиолокация и радиосвязь.
E-mail: bogd13@inbox.ru

Гайворонский Дмитрий Вячеславович – кандидат технических наук (2010), доцент (2014) кафедры радиотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина). Автор 50 научных публикаций. Сфера научных интересов – сверхширокополосная радиолокация и радиосвязь.
E-mail: dvgayvoronschi@gmail.com

D. V. Bogdanov, D. V. Gayvoronsky
Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"

Selection and Analysis of Interface User Structure of the Local Positioning System

Abstract. Building of user interface of the local positioning system is considered. It is shown that to achieve centimeter positioning accuracy the application of ultra-wideband signal technology with separate transmission of data message is required.

Key words: Ultra-Wide Band Signal, Local Positioning System, Ranging Code, Radio Navigation, Signal Attenuation, Code Division

REFERENCES

1. Sahinoglu Z., Gezici S., Guven I. Ultra-Wideband Positioning Systems: Theoretical Limits, Ranging Algorithms, And Protocols. Cambridge, Cambridge University Press, 2008, 263 p.
2. O vydelenii polos radiochastot ustroystvam malogo radiusa deistviya. Reshenie GKRCCh pri Mininformsvyazi Rossii ot 07.05.2007 № 07-20-03-001 (red. ot 30.06.2015) [About allocation of strips of radio frequencies to devices of small radius of action//the Solution of GKRCCh at the Ministry of Information Technologies and Communications of Russia from 5.7.2007 No. 07-20-03-001 (an edition from 30.06.2015)]. Available at: <https://minprom.ru/reshenie-gkrch-07-20-03-001-ot-07-05-2007/> (accessed 05 February 2017). (In Russian)
3. Revision of Pt. 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems: FCC 02-48 released April 22, 2002. Available at: https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-02-48A1.pdf (accessed 05 February 2017).
4. Radiotekhnicheskie sistemy [Radio equipment systems]: ed. by Yu. M. Kazarinov. Moscow, Academia, 2008, 592 p. (In Russian)
5. O vydelenii polos radiochastot ustroystvam malogo radiusa deistviya. Reshenie GKRCCh pri Mininformsvyazi Rossii ot 20.12.2011 № 11-13-07-1 [About allocation of strips of radio frequencies to devices of small radius of action//the Solution of GKRCCh at the Ministry of Information Technologies and Communications of Russia from 12/20/2011 No. 11-13-07-1]. Available at: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70016642/> (accessed 05 February 2017) (In Russian)
6. Ipatov V. P. Spread Spectrum and CDMA. Principles and Applications. Hoboken, John Wiley & Sons Inc., 2004, 398 p.

Received February, 3, 2017

For citation: Bogdanov D. V., Gayvoronsky D. V. Selection and Analysis of Interface User Structure of the Local Positioning System. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Rossii. Radioelektronika* [Journal of the Russian Universities. Radioelectronics]. 2017, no. 1, pp. 49–55. (In Russian)

Denis V. Bogdanov – Master's Degree in radio engineering (2012), the assistant of the department of Theoretical Basics of Radio Engineering of Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI". The author of two scientific publications. Area of expertise: satellite radio navigation; ultra-wideband radar and radio communication.
E-mail: bogd13@inbox.ru

Dmitry V. Gayvoronsky – PhD in engineering (2010), Associate Professor (2014) of the department of Theoretical Basics of Radio Engineering of Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI". The author of 50 scientific publications. Area of expertise: ultra-wideband radar and radio communication.
E-mail: dvgaivoronschi@gmail.com