

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра общей физики

**Экспериментальные исследования цифровых приемно-передающих  
модулей УВЧ диапазона**  
АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 3 курса 431 группы  
направления 03.03.02 «Физика» физического факультета  
Жиронкина Евгения Сергеевича

Научный руководитель

д.т.н., профессор

 Л.С. Сотов  
01.06.2018

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

 А.А. Игнатьев  
01.06.2018

Саратов 2018

## **Введение**

Сегодня во многих странах интенсивно развиваются цифровые технологии, одним из ключевых направлений которых, является развитие беспроводных коммуникаций в сфере межмашинного взаимодействия и Интернета вещей (англ. Internet of Things (IoT)). Например, в июле 2017 г. Ассоциация интернета вещей, внесла проект российского стандарта связи для Интернета вещей – NB-Fi в Росстандарт. Эта технология рассчитана на передачу небольших объемов данных в сфере ЖКХ, электроэнергетики, транспорта и логистики, в рамках концепции «умного города». Предполагается, что внедрение стандарта позволит собирать данные с минимальными затратами на установку устройств, унифицировать процесс сбора информации и унифицировать устройства сбора информации от разных производителей [12]. При выборе устройств и технологий беспроводной передачи данных, является актуальным вопрос о соотношении качества-цены к дальности связи. В данной работе показана возможность создания локальной беспроводной сети, с использованием не лицензируемого диапазона частот, расстоянии до 5 км. Были проведены экспериментальное исследование и сравнение UWB, UNB устройств связи УВЧ диапазона. Такие передатчики имеют малые габариты и могут работать длительное время от небольшого, по объему, аккумулятора.

**Целью работы является** экспериментальное исследование беспроводной системы связи для передачи координат подвижного объекта по радиоканалу в диапазоне частот 431-434 МГц.

В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие **задачи:**

1. Аналитический обзор аппаратурных средств и технологий передачи информации для Интернета вещей.
2. Разработка экспериментальной установки для исследования спектров колебаний исследуемых модулями.

3. Оценка параметров исследуемых модулей по спектрам генерируемых колебаний.
4. Сравнение эффективности применения различных антенн для передачи информации.
5. Исследование предельной дальности связи.

### Блок-схема экспериментальной установки

Для выполнения измерения исследуемых модулей была собрана экспериментальная установка. Плата Atlys Xilinx создает и отправляет сообщение на исследуемое устройство, которое в свою очередь отправляет его по радиоканалу на антенну спектроанализатора. Для исследования необходимо было поймать на спектроанализаторе начало передачи сообщения, точнее код преамбулы, для этого была реализована синхронизация передачи и приёма сообщения с помощью кабеля. Плата Atlys Xilinx, перед началом передачи сообщения, генерирует сигнал на спектроанализатор, после чего тот начинает сканирование заданного диапазона частот.

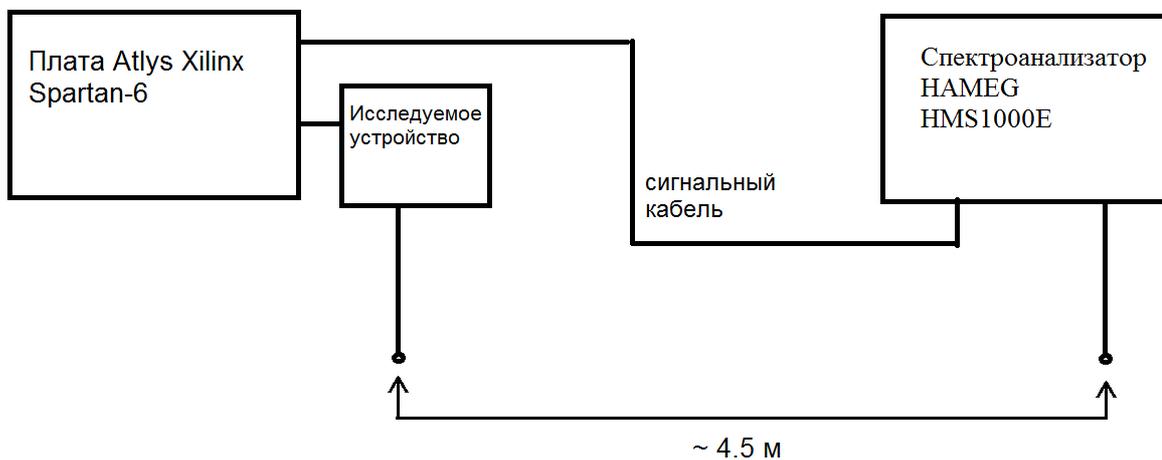


Рисунок 18 – блок-схема экспериментальной установки.

## Исследование спектров генерируемых колебаний

Перед измерением уровня приема сигнала на расстоянии, необходимо было узнать реальную мощность выходного сигнала с радиомодулей, для этого вывод антенны подключался на прямую к антенне спектроанализатора через ослабитель 20 дБ в связи с ограничениями измерительного устройства по входной мощности.

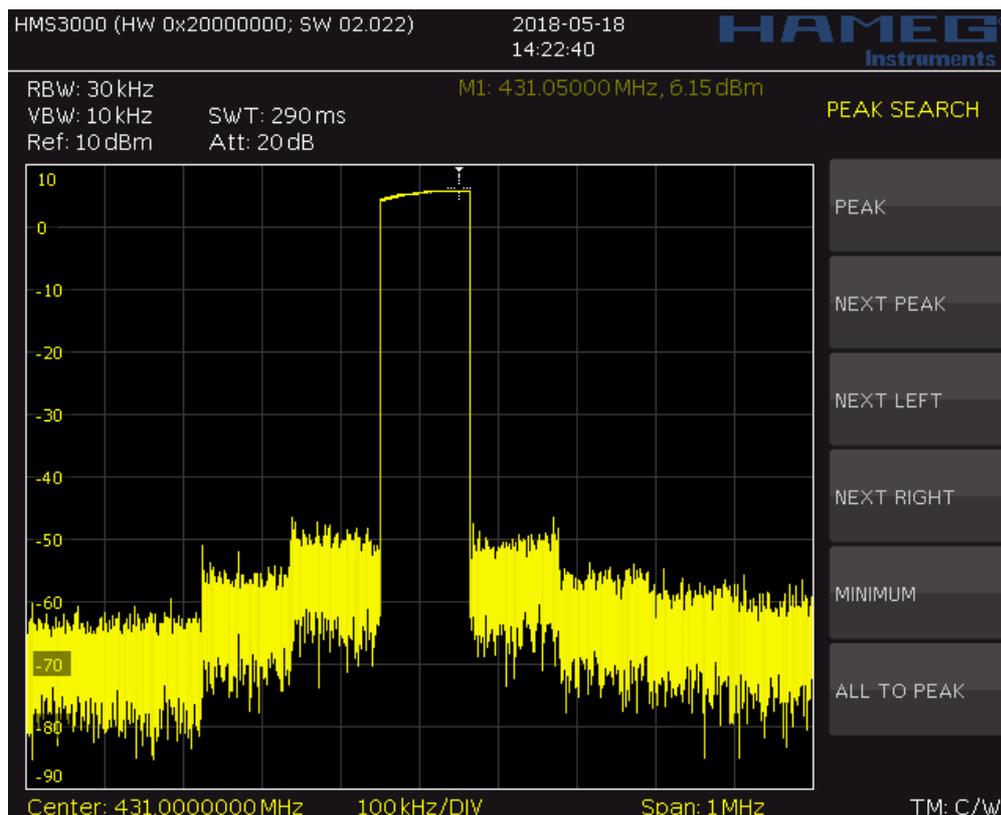


Рисунок 19 – уровень сигнала с платы E32-TTL при напряжении 3.3 В

При 3.3 Вольтах мощность сигнала на выходе составила примерно 26 дБм, в описании устройства обозначена работа при 2.8 - 5.5 Вольт. При 5 Вольтах мощность достигает заявленного значения в 1 Ватт (30 дБм).

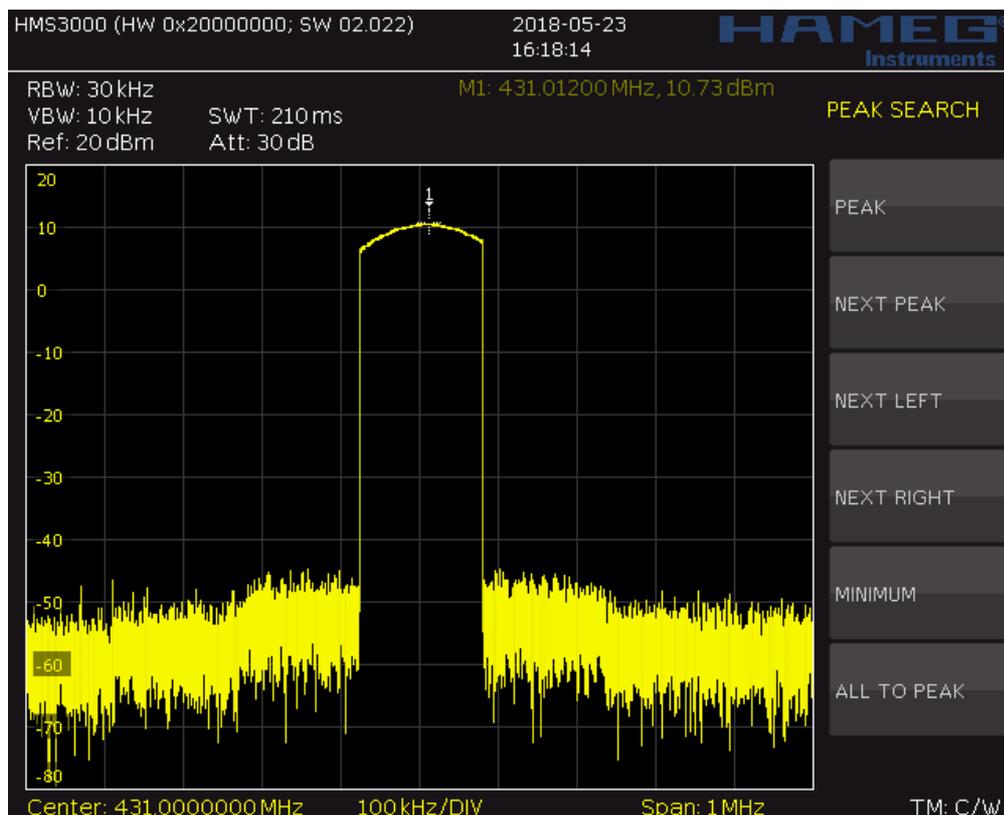


Рисунок 20 – уровень сигнала с платы E32-TTL при напряжении 5 В

Устройство HC-12 не показало ожидаемой выходной мощности ни при напряжении 3.3 ни при 5 Вольт. Не преодолело отметку в 10 дБм (10 мВт) и осталось на уровне  $5 \pm 0.5$  дБм ( $\sim 4$  мВт), что при заявленной мощности 100 мВт (20 дБм), может говорить о возможных дефектах устройства.

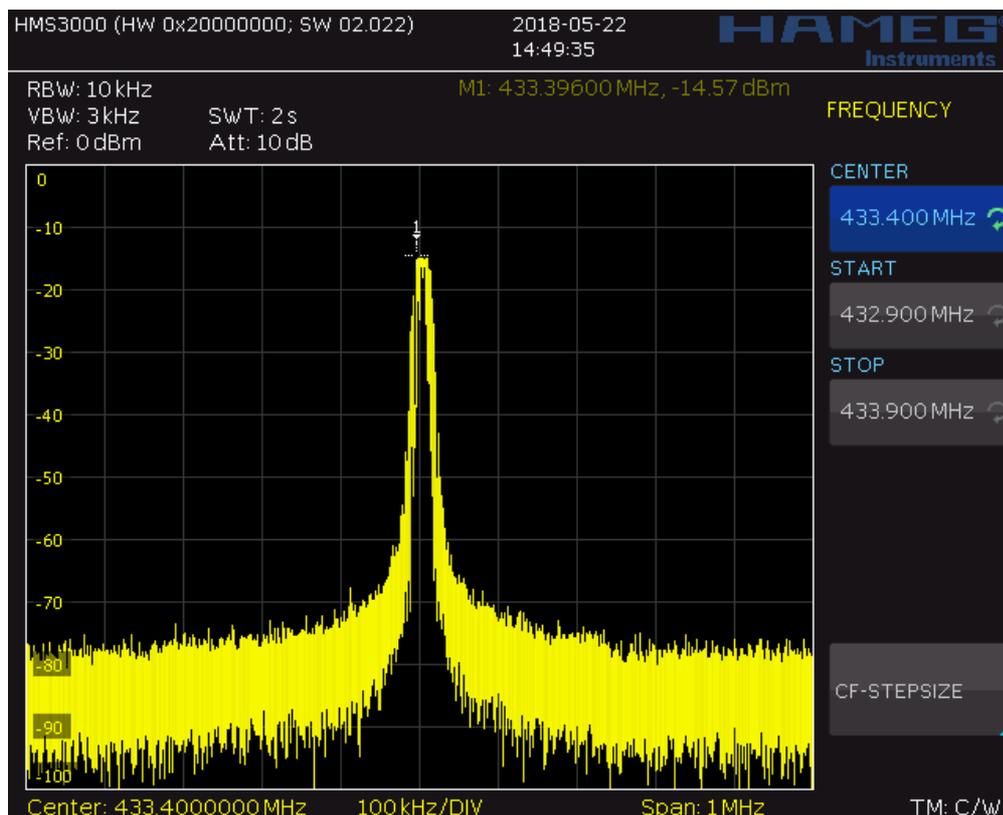


Рисунок 21 – уровень сигнала с платы НС-12 при напряжении 3.3 В

### Исследование различных типов антенн для передачи информации

В исследовании антенн принимали участие 5 экземпляров, 2 одинаковые короткие штыревые антенны Т1 и Т2, Спиральная антенна СП, самодельная штыревая антенна СН, и штыревая антенна с платформой СН.

На спектроанализаторе была установлена одна антенна типа СН на протяжении всего исследования. Расстояние между антеннами составляло ~4.5 метра. Было сделано по 5 снимков на каждую антенну на 2 устройствах, E32-TTL работал на частоте 431 МГц, НС-12 на 433 МГц. Результат представлен ниже в таблице 4 и 5.

Таблица 5 – уровень приёма сигнала дБм на расстоянии 4.5 метров E32-TTL.

№ эксперимента	1	2	3	4	5	Стандартное отклонение	Среднее арифметическое
Т1	-30,27	-28,99	-29,62	-29,13	-32,22	1,18	-30,05
СП	-34,63	-35,89	-36,40	-34,99	-34,58	0,72	-35,30

T2	-31,36	-32,44	-31,13	-31,92	-32,56	0,57	-31,88
CA	-31,68	-31,42	-31,54	-32,08	-30,94	0,37	-31,53
CH	-20,35	-20,36	-20,02	-20,22	-19,83	0,20	-20,16

Таблица 6 – уровень приёма сигнала дБм на расстоянии 4.5 метров НС-12.

№ эксперимента	1	2	3	4	5	Стандартное отклонение	Среднее арифметическое
T1	-53,75	-53,02	-53,90	-53,88	-51,95	0,75	-53,30
СП	-62,83	-63,16	-62,03	-60,85	-60,58	1,03	-61,89
T2	-57,86	-58,80	-57,14	-57,73	-56,30	0,83	-57,57
CA	-45,87	-44,55	-43,78	-44,21	-44,18	0,72	-44,52
CH	-46,98	-47,08	-46,59	-47,08	-46,76	0,19	-46,90

Как видно из таблицы, чувствительность спиральной антенны оказалась слишком низкой и для работы с маломощными устройствами, для передачи данных на большие расстояния, не подходит. Штыревые антенны T1 и T2 показали себя незначительно лучше. Антенна CH показала, сравнительно, отличный уровень приема, её показатели наиболее приближённые к ожидаемому уровню  $\sim -15$  дБм для E32-TTL, и примерно соответствуют с результатами CH-12, средняя разница для всех антенн между E32-TTL и НС-12 примерно  $\sim 23$  дБм. Самодельная антенна показала, во втором случае, результаты значительно лучше, чем в первом, разница составила  $\sim 13$  дБм, что вероятнее всего связано с ее более узким диапазоном работы и резонансной частотой ближе к 433 МГц, чем к 431 МГц.

### 2.1. Исследование предельной дальности передачи информации

За основу расчетов была взята формула FSPL – Free-Space Path Loss, также часто встречается сокращенная формулировка FSL:  $L = 20 \log_{10} \frac{4\pi d}{\lambda}$ , где  $d$  – расстояние между передатчиком и приёмником,  $\lambda$  – длина волны.

По сути FSL это обратное значение формулы Гарольда Фрииса, используемая

в телекоммуникациях для определения мощности, которую получает антенна приемника от антенны передатчика при идеальных условиях и коэффициентах усиления равных единице:  $\frac{Pr}{Pt} = GrGt\left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2$ , где

$Pr$  – мощность принимающей антенны Вт (без учета потерь)

$Pt$  – мощность передающей антенны Вт (без учета потерь)

$Gr$  – коэффициент принимающей антенны

$Gt$  – коэффициент передающей антенны

$R$  – расстояние между антеннами в метрах

Антенны находились на линии прямой видимости

С помощью FSL была найдена, на расстоянии  $d = 4.5$  м, “минимальная” потеря мощности в дБм:  $38.19 = 20 \log_{10} \frac{18\pi}{\lambda}$ .

Далее с помощью модели Эрцгега-Гринштейна были найдены теоретические потери на необходимом нам расстоянии. Уравнение Гринштейна добавляет в FSL некие потери на местности и для этого вводятся 4 константы которые имеют 3 варианта А, В, С, в зависимости от типа местности, где А имеет самые большие потери, а С самые низкие.

Таблица 7 – параметры уравнения Эрцгега-Гринштейна

Параметр	Режим		
	А	В	С
<b>a</b>	4.6	4	3.6
<b>b</b>	0.0075	0.0065	0.005
<b>c</b>	12.6	17.1	20
<b>s, дБ</b>	10.6	9.6	8.2

Далее было решено использовать режим В для нахождения среднего результата.  $\Delta Lf$  – поправочный коэффициент для другой частоты,  $\Delta Lh$  – поправочный коэффициент высоты антенны.

$$\Delta Lf = 6 \log_{10} \frac{f}{2000},$$

$$\Delta Lh = 10,8 \log_{10} \frac{hms}{2} \text{ (для режима А и В)}$$

hms – высота приёмной антенны (от 2 до 10 метров).

Всё уравнение выглядит следующим образом:

$$L = 20 \log_{10} \frac{4\pi d_0}{\lambda} + \gamma 10 \log_{10} \frac{d}{d_0} + s + \Delta Lf + \Delta Lh$$

$d_0 = 100$  м – минимальное расстояние работы формулы.  $\gamma$  – поправочный коэффициент  $\gamma = a - b * h_{bs} + \frac{c}{h_{bs}}$ , где  $h_{bs}$  – высота антенны БС (от 10 до 80 метров).

При расчете, на расстоянии 6000 метров потери составляют  $\sim 160$  дБм, что при бюджете канала 161 дБм для E32-TTL приемлемый результат.

## Заключение

1. Среди устройств беспроводной передачи небольших по объёму данных на дальние расстояния (LPWAN) можно выделить два типа устройств: сверхширокополосные (LoRa) и сверхузкополосные (Sigfox, Стриж). Проведена их сравнительная характеристика. Наиболее гибкими по функциональным свойствам являются микросхемы SX12xx фирмы Сименс (LoRa).

2. На базе ПЛИС SPARTAN-6 разработано устройство формирования тестового сигнала и синхронизации с анализатором спектра.

3. Исследованы спектры сигналов, генерируемые модулями E32-TTL и HC-12. Выходная мощность E32-TTL равна  $30,0 \pm 1,5$  дБм при напряжении питания 5 В и снижается до  $25,0 \pm 1,5$  дБм при напряжении питания 3,3 В, что соответствует технической характеристике E32-TTL. Выходная мощность HC-12 составила  $6,0 \pm 1,5$  дБм, что не соответствует технической характеристике HC-12.

4. Исследованы уровни принимаемых сигналов для пяти различных антенн. На расстоянии 4,5 метров потери мощности от тракта передатчика до приемника для различных антенн составляли от 45 дБ до 60 дБ. Расчеты по формуле Фрииса показали потери 38 дБ.

В рамках модели Эрцгега-Гринштейна определена дальность связи. Для модуля E32-TTL она составляет 5 км.

## Список использованной литературы

1. Википедия [Электронный ресурс] : свободная энциклопедия / текст доступен по лицензии Creative Commons Attribution-ShareAlike ; Wikimedia Foundation, Inc, некоммерческой организации. Электрон, дан. Wikipedia®, URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%B1%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C> (дата обращения: 12.05.2018). Загл. с экрана. Последнее изменение страницы: 14:30, 7 марта 2018 года. Яз. рус.
2. dxdt. [Электронный ресурс] : [сайт]. URL: <https://dxdt.ru/2016/07/01/7996/> (дата обращения 13.05.2018). Загл. с экрана. Яз. рус.
3. iTech [Электронный ресурс] : [сайт]. URL: <https://itechinfo.ru/content/%D0%BE%D0%B1%D0%B7%D0%BE%D1%80-%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8-lora> (дата обращения 14.05.2018). Загл. с экрана. Яз. рус.
4. XILINX [Электронный ресурс] : [сайт]. URL: [http://www.xilinx.com/support/documentation/university/XUP%20Boards/XUPAtlys/documentation/Atlys\\_rm.pdf](http://www.xilinx.com/support/documentation/university/XUP%20Boards/XUPAtlys/documentation/Atlys_rm.pdf) (дата обращения: 14.05.2017). Загл. с экрана. Яз. англ.
5. dx [Электронный ресурс] : [сайт]. URL: <http://www.dx.com/ru/p/hc-12-si4463-wireless-mcu-serial-port-module-w-spring-antenna-blue-389940#.WwBxJkSzx-4> (дата обращения: 25.05.2018). Загл. с экрана. Яз. рус.
6. Geektimes [Электронный ресурс] : [сайт]. URL: <https://geektimes.ru/post/256268/> (дата обращения: 14.05.2017). Загл. с экрана. Яз. рус.

7. cyclowiki [Электронный ресурс] : [сайт]. URL: <http://cyclowiki.org/wiki/8-N-1> (дата обращения 20.05.2018 19:36). Загл. с экрана. Яз. рус.
8. Радио Лоцман [Электронный ресурс] : [сайт]. URL: <https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=164400> (дата обращения 20.05.2018 18:58). Загл. с экрана. Яз. рус.
9. Википедия [Электронный ресурс] : свободная энциклопедия / текст доступен по лицензии Creative Commons Attribution-ShareAlike ; Wikimedia Foundation, Inc, некоммерческой организации. Электрон, дан. Wikipedia®, URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80> (дата обращения 20.05.2018 19:05). Загл. с экрана. Яз. рус.
10. Стриж [Электронный ресурс] : [сайт]. URL: <https://strij.tech/publications/tehnologiya/lpwan-strij-lora.html> (дата обращения 01.06.2018 17:14) . Загл. с экрана. Яз. рус.
11. rohde-schwarz [Электронный ресурс] : [сайт]. URL: [https://cdn.rohde-schwarz.com/hameg-archive/HAMEG\\_MAN\\_D\\_E\\_HMS10XX\\_30XX.pdf](https://cdn.rohde-schwarz.com/hameg-archive/HAMEG_MAN_D_E_HMS10XX_30XX.pdf) (дата обращения: 01.06.2018 20:03). Загл. с экрана. Яз. англ.
12. Бестселлеры Российского IT-рынка [Электронный ресурс] : [сайт]. URL: <https://www.itbestsellers.ru/products/detail.php?ID=38152>(дата обращения 02.06.2018). Загл. с экрана. Яз. рус.

 26.05.2018 Е.С. Жиронкин