

# СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

4

2024

В номере:

**НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ И ТОЧКА:**  
квантовые точки – будущее электроники

**НАЗАД В БУДУЩЕЕ:**  
прообраз «Теслы» из России

**IoT В КОСМОСЕ:**  
перспективные технологии связи  
для мобильных устройств

YouTube



Telegram



**Новая продукция**  
от АО «Завод «СНЕЖЕТЬ»  
СНЦ144С, СНП336, СНП337



Реклама

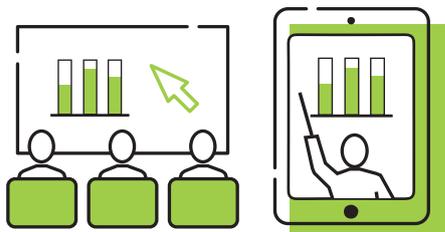
WWW.SNEGET.RU



**СНЕЖЕТЬ**

Разработка и производство электрических соединителей

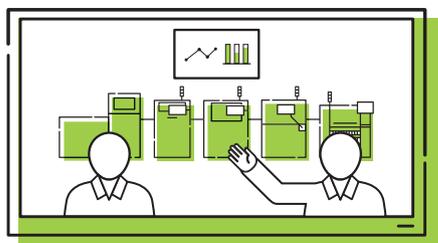
# АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСТЕК-СМТ



СЕМИНАРЫ  
ОНЛАЙН И ОФЛАЙН



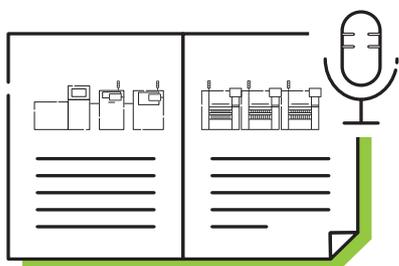
ПРОФИЛЬНЫЕ КАНАЛЫ  
В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ



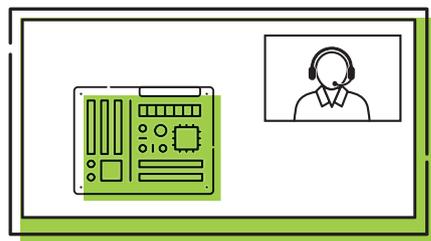
РЕПОРТАЖИ И КЕЙСЫ  
С ПРОИЗВОДСТВ



ВИДЕООБЗОРЫ  
РЕШЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ



ЭКСПЕРТНЫЕ  
СТАТЬИ И ИНТЕРВЬЮ



ВИДЕОПРЕЗЕНТАЦИИ  
И ЗАПИСИ ВЕБИНАРОВ

Реклама





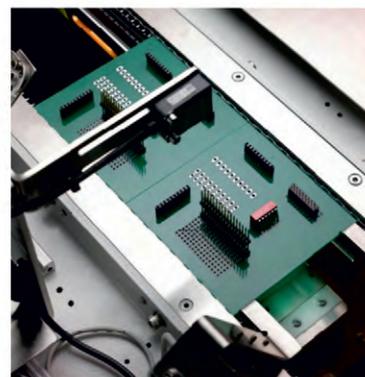
ООО «Совтест АТЕ»  
представляет:

ОБНОВЛЁННАЯ  
МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ  
СЕЛЕКТИВНОЙ ПАЙКИ  
**NuFlex-i2**

Сочетание высокой производительности,  
точности и надёжности!

КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИ:

- двухсекционный роликовый конвейер  
максимальный размер печатной платы  
**508x891 мм;**
- сдвоенный прецизионный каплеструйный  
флюсователь;
- модули ИК-преднагрева сверху и снизу;
- сдвоенный модуль пайки из титана;
- камеры для наблюдения за процессом пайки  
для каждого модуля пайки;
- функция контроля высоты волны припоя;
- приводы ШВП на всех осях перемещения.





Здравствуйте, уважаемые друзья!

Мобильные устройства и, соответственно, беспроводные коммуникации стремительно совершенствуются. Какие же стандарты связи в настоящее время демонстрируют наиболее интересный потенциал? Об этом читайте в нашем журнале.

Мы продолжаем делать обзоры перспективных технологий в области разработки устройств с крайне низким энергопотреблением, а также получающих питание от альтернативных, необычных источников энергии. Сегодня мы расскажем о некоторых решениях на базе этих технологий.

Многочисленные отклики на опубликованные нами статьи про цифровые индикаторы уровня звука побудили нас продолжить данную тему, и сегодня перед вами статья, посвящённая ещё одному интересному решению – двухканальному индикатору уровня звука на основе микроконтроллера со сверхнизким энергопотреблением и OLED-дисплеем.

Продолжаем мы и тему квантовых точек, которые многие считают перспективными «строительными кирпичиками» для микроэлектроники будущего. В первой части публикуемой статьи были рассмотрены общие аспекты нанокристаллов как заключительной триады полупроводников с квантово-размерным эффектом и описано открытие квантовых точек в стеклянных матрицах, сделанное Алексеем Екимовым в 1981 году в ГОИ им. Вавилова. Вторая часть посвящена коллоидным квантовым точкам.

Читайте в этом выпуске журнала исторический очерк о первых отечественных электромобилях, об очистке воды и контроле степени её чистоты для нужд микроэлектроники, о биоакустической частотной спектроскопии, а также о многом другом!

По-прежнему приглашаем вас посетить наш обновлённый информационный портал [www.cta.ru](http://www.cta.ru), где вы найдёте и сможете совершенно бесплатно читать самые свежие новости из мира электроники и промышленной автоматизации, а также все статьи из наших журналов!

Спасибо, что остаётесь с нами, читайте с удовольствием. Всего вам доброго!

Юрий Широков, главный редактор

Журнал «Современная электроника»

Издаётся с 2004 года

Главный редактор Ю. В. Широков

Заместитель главного редактора А. В. Малыгин

Редакционная коллегия А. Е. Балакирев, В. К. Жданкин, С. А. Сорокин, Р. Х. Хакимов

Вёрстка А. М. Бабийчук

Обложка Д. В. Юсим

Распространение С.Ю. Чепурова ([shop@cta.ru](mailto:shop@cta.ru))

Реклама И. Е. Савина ([shop@cta.ru](mailto:shop@cta.ru))

Учредитель и издатель ООО «СТА-ПРЕСС»

Генеральный директор К. В. Седов

Адрес учредителя и издателя:

117279, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 108,  
пом/ком/эт1/67/тех

Почтовый адрес: 117437, г. Москва,  
Профсоюзная ул., 108

Тел.: (495) 232-00-87

[shop@cta.ru](mailto:shop@cta.ru) • [www.cta.ru](http://www.cta.ru)

Производственно-практический журнал

Выходит 9 раз в год. Тираж 10 000 экз.

Цена свободная

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия (свидетельство ПИ № ФС77-18792 от 28 октября 2004 г.)

Отпечатано: ООО «МЕДИАКОЛОР».

Адрес: Москва, Сигнальный проезд, 19,  
бизнес-центр Вэлдан.

Тел./факс: (499) 903-69-52

Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции.

Ответственность за содержание рекламы несут рекламодатели.

Ответственность за содержание статей несут авторы.

Материалы, переданные редакции, не рецензируются и не возвращаются.

Мнение редакции не обязательно совпадает с мнением авторов.

Все упомянутые в публикациях журнала наименования продукции и товарные знаки являются собственностью соответствующих владельцев.

© СТА-ПРЕСС, 2024

ЧИТАЙТЕ  
ЖУРНАЛ



в ЭЛЕКТРОННОЙ ВЕРСИИ

на сайте [www.cta.ru](http://www.cta.ru)

и

в ПЕЧАТНОЙ ВЕРСИИ

по подписке

# СОДЕРЖАНИЕ 4/2024

## РЕКЛАМОДАТЕЛИ

AdvanteX	4, 29
LiteMax	57
Raystar	55
Rfcore	37
Yonggui	3-я стр. обл.
ИРБИС	7, 27
Компонента	19
Медиана фильтр	51
Микроволновая электроника	31
МикроЛАБ Системс	5
Морион	4
Новэл	39
ОСТЕК-СМТ	2-я стр. обл.
Снежить	1-я стр. обл., 6
Совтест АТЕ	1, 6
Центр Профессиональной Обуви	4-я стр. обл., 6
Элеконд	7, 49
Эркон	17

Смотрите на канале  
**СОВРЕМЕННАЯ  
ЭЛЕКТРОНИКА**

**Вместе  
мы сила!**



Иван Покровский, АРПЭ



## РЫНОК

### 4 Новости российского рынка

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### 8 Перспективное развитие дальности и устойчивости связи для IoT вплоть до космоса. Технологии и стандарты Wi-Fi, RAN с поддержкой NTN и спутниковой связи VSAT: от SCPC к TDM/MF-TDMA

Жосс Бомон

### 18 Особенности построения сетей IoT на базе протокола LoRaWAN

Алексей Ищенко

### 24 Электронные датчики и радары в системе беспроводной связи OTA, LOP и E-peas

Андрей Кашкаров

### 32 Новые методы альтернативной биометрии: биоакустическая «подпись». Обзор особенностей и перспектив

Антти Эс

## ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

### 38 Обзор рынка анализаторов спектра и сигналов

Антон Тимонович, Ангелина Корнеева

## ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

### 42 Двухканальный индикатор уровня звука на базе микроконтроллера EFM8LB12 и дисплея OLED 1306

Алексей Кузьминов

## ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

### 50 Частицы в ультрачистой воде

Владимир Смирнов, Светлана Якименко

## СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

### 52 Открытие квантовых точек и разработка технологии их массового производства. Часть 2. Коллоидные полупроводниковые квантовые точки

Виктор Алексеев

### 58 Первые электромобили отечественного производства

Галина Морозоватая

# Новости

## ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

### Синтезатор опросных частот FFS-10M

ООО «АДВАНТЕХ» (Advantex), российский разработчик и производитель СВЧ-узлов и систем, анонсирует универсальный синтезатор опросных частот для цезиевых стандартов частоты «фонтанного» типа. Синтезатор отличается низким уровнем фазовых шумов в области малых отстроек, малым шагом перестройки частоты, широкими функциональными возможностями и полной совместимостью с зарубежными аналогами.



Основные характеристики:

- центральная частота 9,2 ГГц;
- диапазон перестройки ±5 МГц;
- шаг перестройки 0,0001 Гц;

- уровень фазового шума на частоте 9,2 ГГц (не более):
  - -57 дБн/Гц при отстройке 1 Гц,
  - -83 дБн/Гц при отстройке 10 Гц,
  - -95 дБн/Гц при отстройке 100 Гц;
- выходная мощность от -20 до +10 дБм с шагом 0,1 дБ;
- частота внешнего опорного сигнала 5/10/100/1000 МГц;
- интерфейс управления RS-232.

[www.advantex.ru](http://www.advantex.ru)  
+7 (495) 721-47-74

### Прецизионный источник частоты и времени

ААО «Морион» представляет прецизионный источник частоты и времени, предназначенный для формирования сигнала опорной частоты в измерительных системах и системах связи.



Построение недорогих приборов такого класса стало возможным благодаря наличию на предприятии отлаженного процесса производства собственных кварцевых и рубидиевых генераторов, а также многолетнему опыту разработок и мелкосерийному производству различного автоматизированного измерительного оборудования для внутреннего применения.

Точность и стабильность выходного сигнала данных приборов полностью соответствует параметрам используемых в них генераторов. В зависимости от применения, источники частоты и времени могут иметь в своём составе дополнительные выходы стабильных частот, что позволяет сэкономить на приобретении дополнительных усилителей – разветвителей опорного сигнала.

Дополнительная информация представлена на сайте [www.morion.com.ru](http://www.morion.com.ru), а также доступна по тел. +7 (812) 332-50-36.

### Основные параметры базового варианта

Этапы	Что включают	Срок постановки производства
1	Рубидиевый генератор 1PPS вход и выход 6 выходов x 10 МГц 1 выход x 5 МГц 1 выход x 2048 кГц 1 вход 110...220 В Интерфейс управления – RS-232 Holdover 400 нс/сутки	2024
2	Дополнительные опции. Дополнительный модуль расширения выходных сигналов 2 входа питания 110...220 В с автопереключением на резервную линию Интерфейс управления – LAN (RS-232 – как опция) Планируется ввод следующих вариантов исполнения. Рубидиевый генератор + кварцевый генератор с улучшенными фазовыми шумами (со снижением параметра Holdover до 200 нс/сутки) Только кварцевый малошумящий генератор (с Holdover до 1 мкс/сутки)	2025
3	IRIG сигнал Снижение Holdover до 100 нс/сутки для вариантов исполнения с рубидиевым генератором Встроенный ГНСС приемник NTP-сервер 100+ клиентов Расширение опций резервного питания Дополнительная поддержка аудиочастот (комплектация подлежит уточнению)	2025–2026

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

## TAMMC G3 SDK – новая среда разработки ПО управляющих контроллеров модулей AMC, PM и CU для систем MicroTCA фирмы МикроЛАБ Системс

Фирма МикроЛАБ Системс (г. Москва) выпустила релиз G3 среды TAMMC SDK для разработки ПО управляющих контроллеров, являющихся обязательным компонентом всех аппаратных модулей для систем стандарта PICMG MicroTCA. Среда TAMMC соответствует спецификациям стандартов PICMG@ 3.0 R3.0, AMC.0 R2.0, MTCA.0 R2.0, IPMI v1.5, NPM.1 R1.0 и позволяет быстро встраивать ядро управляющего контроллера в прикладное ПО верхнего уровня для комплексного управления и мониторинга состояния модуля. При этом от пользователя не требуется знание указанных спецификаций.

Обновлённая среда TAMMC G3 включает поддержку функционала управляющих eMMC-контроллеров модулей управления питанием (PM) и вентиляцией (CU) инфраструктурных компонентов систем MicroTCA в дополнение к существующей поддержке MMC-контроллеров прикладных модулей AdvancedMC (AMC). Кроме того, добавлен генератор описателей для

MicroTCA Carrier/Shelf FRU Data EEPROM, которая устанавливается на кросс-плату шасси MicroTCA и содержит описатели её топологии и технических характеристик для автоматического конфигурирования системных контроллеров MCMC и ShMC системы MicroTCA в соответствии с конкретным шасси MicroTCA. Таким образом, новая среда TAMMC G3 SDK поддерживает MMC/eMMC-контроллеры всех инфраструктурных и прикладных компонентов систем MicroTCA, за исключением системных контроллеров MCMC и ShMC системы MicroTCA, которые поддерживаются отдельным пакетом TASMCDK фирмы МикроЛАБ Системс.

Среда TAMMC имеет конфигурируемую модульную архитектуру и построена на базе OCPB, отвечающей за диспетчеризацию задач ядра MMC/eMMC-контроллера и задач верхнего уровня для управления и мониторинга модуля. Поддерживаются открытые OCPB FreeRTOS фирмы Amazon WEB Services (AWS) и Microsoft Azure ThreadX, в зависимости от требований по эксплуатации и сертификации модуля. OCPB FreeRTOS обеспечивает приемлемую надёжность и среднюю производи-

тельность, но не имеет промышленных сертификатов, в то время как OCPB ThreadX более сложна, но обеспечивает максимальную надёжность и производительность, а также имеет промышленные сертификаты.

Среда TAMMC поддерживает микроконтроллеры с 32-битными ядрами ARM Cortex-M7 и Cortex-M4, а также 8-битные микроконтроллеры XMEGA фирмы Microchip. Портирование среды TAMMC на аппаратные средства модуля просто и заключается в редактировании нескольких строчек в конфигурационном файле проекта. Среда TAMMC G3 поставляется вместе с отладочным AMC-модулем для тестирования разрабатываемого ПО MMC-контроллера AMC-модулей для всех поддерживаемых типов микроконтроллеров.

По оценочным данным, использование среды TAMMC SDK для разработки ПО MMC/eMMC-контроллеров в среднем экономит от 8 до 20 месяцев труда квалифицированного программиста.

Фирма МикроЛАБ Системс обеспечивает пожизненную техническую поддержку и обновление среды TAMMC SDK.

[www.mlabsys.ru](http://www.mlabsys.ru)  
[info@mlabsys.ru](mailto:info@mlabsys.ru)  
 +7 (499) 900-62-08



Комплексные Решения ЦОС

# Системы ЦОС TORNADO-MTCA

Системы MicroTCA и модули AdvancedMC с ПЦОС-ARM-ПЛИС



- Телекоммуникация
- Радиомониторинг
- SDR, радиосвязь
- Радиолокация
- DPI, системы СОРМ
- Измерительные системы
- Запись РЧ-сигналов и потоков
- Интеллектуальные РЧ-джаммеры, РЭБ
- Обработка изображений и системы ИИ
- Распределенные системы ЦОС
- Промышленные и медицинские системы

**TORNADO-MC/C6.1**  
 Шасси MicroTCA  
 с 6-ю AMC модулями и  
 источником питания 650Вт

Компактность •  
 Модульная архитектура •  
 Агрегативный трафик 1.5Tbps •  
 Масштабируемость •  
 “Горячая” замена модулей •  
 Изолированные подсети и трафик •  
 Удаленный контроль и мониторинг •




**TORNADO-A6678/FMC**  
 AMC модуль ПЦОС+ПЛИС+FMC




**TORNADO-AZU+/FMC+**  
 AMC модуль ARM+ПЛИС+FMC+




**TORNADO-AZ/FMC**  
 AMC модуль ARM+ПЛИС+FMC




**T/AX-DSFPX**  
 AMC модуль SFP+ LAN/WAN

**TORNADO-M** инфраструктура MicroTCA  
**TORNADO-A** модули AdvancedMC  
**TORNADO-F** модули FMC/FMC+

**WWW.MLABSYS.RU**



РЕГИСТРАЦИЯ  
**СДЕЛАНО В РОССИИ**

## ИНСТРУМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

**Обновление линейки установок селективной пайки мини-волной припоя**

Линейка установок селективной пайки мини-волной припоя, которые поставляет ООО «Совтест АТЕ», пополнилась новой конвейерной моделью NuFlex-i2. Ключевой особенностью модели является наличие двухсекционного роликового конвейера, благодаря которому можно осуществлять одновременную пайку двух печатных плат максимальным размером 508×350 мм или одной печатной платы размером 508×891 мм.

NuFlex-i2 в базовой комплектации оснащена сдвоенным каплеуловителем, модулями ИК-преднагрева сверху и снизу,

сдвоенным модулем пайки. Приводы ШВП с шаговыми двигателями обеспечивают высокую точность позиционирования паяльных наконечников  $\pm 0,05$  мм. Модули пайки новой конструкции имеют быстрый доступ к паяльным насосам и обеспечивают минимальное время для периодического обслуживания.

Особенности базовой комплектации:

- двухсекционный роликовый конвейер;
  - сдвоенный каплеуловитель;
  - модули ИК-преднагрева сверху и снизу;
  - сдвоенный модуль пайки из титана;
  - камеры для наблюдения за процессом пайки для каждого модуля пайки;
  - функция контроля высоты волны припоя.
- Полный перечень опций и подробные



технические характеристики предоставляются по запросу.

[www.sovtest-ate.com](http://www.sovtest-ate.com)  
[info@sovtest-ate.com](mailto:info@sovtest-ate.com)  
 +7 (4712) 54-54-17

## СОБЫТИЯ

**Ведущий российский производитель антистатической обуви примет участие в выставке ExpoElectronica 2024**

Центр Профессиональной Обуви (ООО «ЦПО»), созданный в 2000 году, специализируется на выпуске рабочей и защитной обуви под собственной торговой маркой «ЦПО». Более 10 лет назад ЦПО первым в России начал выпускать антистатическую обувь, предлагая своим клиентам уникальную продукцию, прошедшую самые серьезные испытания на соответствие ключевым требованиям по безопасности средств индивидуальной защиты, а также защите электронных устройств от электростатических явлений (ESD). Обувь сертифицирована на соответствие требованиям ТР ТС 019/2011, ГОСТ 12.4.124-83, ГОСТ Р ЕН ИСО 20345-2011, ГОСТ ИЕС 61340-5-1-2019, ГОСТ ИЕС 61340-4-3-2020, ГОСТ Р 12.4.187-97, ГОСТ 28507-99.

Линейка антистатической обуви ЦПО сегодня включает уже более 20 базовых моделей (<https://proshoes.ru/product-category/antistat/>) с верхом из натуральной кожи, выполненных в белом и черном цветах. Антистатическая обувь под брендом «ЦПО» поставляется широкому кругу потребителей, в число которых, в первую очередь, входят предприятия радиоэлектронной отрасли, включая подведомственные структуры Минобороны, Ростеха и Роскосмоса. Растущие требования к современным «чистым» производствам, где выпускается чувствительная к воздействию электростатических разрядов продукция радиоэлектроники, машиностроения и приборостроения, на фоне решения актуальных задач импортозамещения делают антистатическую обувь ЦПО всё более востребованной.

В целях предметного ознакомления потенциальных потребителей с ESD-продукцией предприятия Центр Профес-

сиональной Обуви примет участие в 26-й Международной выставке ExpoElectronica 2024. В экспозиции ЦПО будут представлены как уже проверенные временем, так и совершенно новые модели антистатической обуви в корпоративном стиле с улучшенными эргономическими характеристиками.



Ждём вас в МВЦ «Крокус Экспо» с 16 по 18 апреля 2024 года на нашем стенде E 5153 в павильоне 2, зал 9, 3 этаж.

[www.proshoes.ru](http://www.proshoes.ru)  
[proshoes@mail.ru](mailto:proshoes@mail.ru)  
 +7 (495) 380-11-05

## ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

**Новая продукция от АО «Завод «Снежить» СНЦ144С, СНП336, СНП337**

АО «Завод «Снежить» в 2024 году запустил в производство номенклатурную линейку соединителей СНЦ144С, СНП336, СНП337.

**Соединители цилиндрические низкочастотные СНЦ 144С**

Быстросоединяемые соединители предназначены для работы в электрических цепях постоянного, переменного (частотой до 3 МГц) токов при напряжении до 850 В.

Соединители взаимозаменяемы и взаимосоединяемы с соединителями серии III по MIL-DTL-38999.



Соединители предназначены для внутреннего монтажа.

Соединитель СНЦ144С по техническим требованиям, габаритным, установочным и присоединительным размерам соответствует соединителю 8D-series III MIL-C-38999.

**Соединители электрические прямоугольные одинарные СНП336 и сдвоенные СНП337**

Соединители электрические низкочастотные прямоугольные малогабаритные для

объёмного монтажа типов СНП336 (одинарные) и СНП337 (сдвоенные) предназначены для работы в электрических цепях постоянного, переменного (частотой до 3 МГц) и импульсного токов. Соединители СНП336, СНП337 ЦСНК.434427.001ТУ (ВП) и СНП336, СНП337 ВЖАЯ.430420.012ТУ (ОТК) взаимозаменяемы и взаимосоединяемы с соединителями низкочастотными типа РПКМ1-4 АВ0.364.040ТУ.

Соединители СНП336, СНП337 являются дублирующей продукцией ОАО «Завод «Исеть».

Срок производства 65 рабочих дней.

+7 (4832) 78-81-50  
[sales@sneget.ru](mailto:sales@sneget.ru)

## Алюминиевые оксидно-электролитические чип-конденсаторы K50-97 производства АО «Элеконд»

Сегодня в электронной аппаратуре всё большее применение находят алюминиевые оксидно-электролитические чип-конденсаторы. АО «Элеконд» в рамках импортозамещения разработало малогабаритные конденсаторы K50-97, совместимые с современными технологиями поверхностного монтажа. По техническим и ценовым показателям, а также сопоставимым габаритным размерам они полностью соответствуют таким аналогам зарубежного производства, как:

- серия WT, UD, Nichicon;
- серия FK, FC, Panasonic;
- серия ELV, Hitano;
- серия MVE, Nippon Chemi-Con;

- серия AFK, Cornell Dubilier и др.

Особенностью чип-конденсаторов K50-97 являются их компактные габаритные размеры и работоспособность в жёстких условиях эксплуатации. Основные технические характеристики:

- диапазон рабочих температур от  $-60$  до  $+105^{\circ}\text{C}$ ;
- наработка до отказа при  $T_{\text{окр}} 55^{\circ}\text{C}$ ,  $U = 0,7 U_{\text{ном}}$  не менее 35 000 часов;
- высокая надёжность и длительный срок службы конденсаторов, до 20 лет;
- высокая стойкость к воздействию внешних механических факторов.

Изделиям характерна стабильность ёмкости, низкое эквивалентное последовательное сопротивление (ESR), низкие токи утечки. Упаковка конденсаторов в блистерную ленту обеспечивает возможность

как автоматического, так и ручного монтажа на плату.



Конденсаторы K50-97 начали успешно применяться в автоэлектронике. В настоящее время проходят квалификационные испытания на соответствие требованиям AEC-Q200.

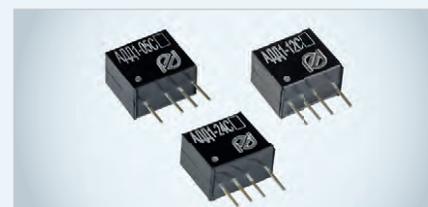
Полную информацию об алюминиевых оксидно-электролитических чип-конденсаторах K50-97 и всей продукции АО «Элеконд» можно получить на сайте [www.elecond.ru](http://www.elecond.ru).

## DC/DC-преобразователи «ММП-ИРБИС»

В рамках импортозамещения выпущены новые одноканальные стабилизирующие модули мощностью 1 Вт. Предназначены они для питания напряжением постоянного тока радиоэлектронной аппаратуры. Вид климатического исполнения – УХЛ категории 2.1 по ГОСТ 15150.

Конструктивно элементы выпускаются в пластмассовом корпусе, залитом компа-

ундом. Масса модуля составляет не более 5 г. Типовой КПД равен 80%. Преобразователи имеют двукратный диапазон входного напряжения, а также низкие выходные пульсации и помехи. Электрическая прочность изоляции «вход-выход» – 1500 В постоянного тока. Есть защита от перегрузки и короткого замыкания с автоматическим восстановлением. Модули могут работать в широком диапазоне рабочих температур от  $-40$  до  $+80^{\circ}\text{C}$  и имеют стойкость к воз-



действию механических и климатических факторов. Срок службы – 15 лет.

[www.mmp-irbis.ru](http://www.mmp-irbis.ru)  
+7 (495) 927-10-16

## НОВОСТИ МИРА

### Китай создал 14-нм процессор ИИ на 90% дешевле ГП США для обхода санкции

Китайский производитель чипов выпускает 14-нм процессор искусственного интеллекта, который на 90% дешевле графических процессоров – чип стоимостью 140 долларов обходит санкции США.

Китайский производитель Intellifusion представляет блоки искусственного интеллекта DeepEyes с заявленной производительностью 48 TOPS за 1000 юаней, или примерно 140 долларов США. Использование техпроцесса 14 нм (вероятнее всего) ASIC – это ещё один способ для Китая обойти санкции и сохранить конкурентоспособность на рынке искусственного интеллекта.

Первый блок искусственного интеллекта «Deep Eyes» в 2024 году использует SoC DeepEdge10Max для производительности 48 TOPS при обучении int8. В блоке H2 Deep Eyes 2024 года будет использоваться DeepEdge10Pro с производительностью до 24 TOPS, и, наконец, в блоке H1 Deep Eyes 2025 года планируется зна-

чительное повышение производительности благодаря рейтингу DeepEdge10Ultra до 96 TOPS. Цены на эти перспективные модели более высокого класса неясны. Тем не менее, если Intellifusion сможет поддерживать начальную стоимость в ~1000 юаней в долгосрочной перспективе, она сможет достичь своей цели – «на 90% дешевле аппаратного обеспечения искусственного интеллекта», которое по-прежнему «охватывает 90% сценариев».



Всё вышеперечисленное оборудование полностью отечественного производства использует специальный чип

нейронной сети Intellifusion NNP400T. Помимо других ожидаемых компонентов SoC, этот специализированный (2+8-ядерный RISC-процессор с тактовой частотой 1,8 ГГц, графический процессор с частотой до 800 МГц в DeepEdge 10) и мощный встроенный NPU делают его довольно привлекательным вариантом на своем рынке.

Для справки: чтобы соответствовать заявленным требованиям Microsoft к «ПК с искусственным интеллектом», современные ПК должны иметь производительность NPU не менее 40 TOPS. Таким образом, ближайшая траектория развития Intellifusion, похоже, скоро станет пригодной для многих рабочих нагрузок искусственного интеллекта, особенно с учётом того, что большинство существующих NPU имеют скорость всего 16 TOPS. Тем не менее, позднее в этом году чипы Snapdragon X Elite будут иметь производительность 40 TOPS наряду с лучшей в отрасли производительностью iGPU.

[russianelectronics.ru](http://russianelectronics.ru)

# Перспективное развитие дальности и устойчивости связи для IoT вплоть до космоса. Технологии и стандарты Wi-Fi, RAN с поддержкой NTN и спутниковой связи VSAT: от SCPC к TDM/MF-TDMA

Жосс Бомон

В статье рассмотрено современное состояние и перспективное развитие технологий сотовой, спутниковой, беспроводной (Wi-Fi) и гибридной связи с поддержкой стандартов RAN и NTN – в том числе для автоматизации и увеличения дальности управления устройствами в системе Интернета вещей (IoT). Раскрываются особенности каждого вида связи с упором на расширение дальности и покрытия устойчивой связи, в том числе организованной через спутники околоземной орбиты.

## От старого к новому

В век космических скоростей вся связь, особенно в формате международного трафика сетей Интернет, идёт через спутниковую коммуникацию. О чём говорить, если современная ракета-носитель выводит на космическую орбиту спутник всего за 108–110 секунд. Сотовые операторы активно задействуют спутниковую связь. Используются либо низколетящие спутники, при достаточном количестве группировки обеспечивающие

зоной охвата всю Землю, либо спутники на геостационарной орбите.

Если говорить об анахронизмах эпохи, условно устаревшие сети сотовой связи охватывают более 80% населения мира, но менее 40% поверхности суши и менее 20% общей поверхности планеты Земля – только из-за невозможности расположить ретрансляторы повсеместно. В то же время спутники более 30 лет используются для обеспечения устойчивой связи в формате максимального, повсеместного покрытия. Один из реальных примеров – телефоны-коммуникаторы спутниковой связи. Другое дело, что высокая стоимость ограничивает их использование очень специфическими сценариями, такими как телевидение и радиовеща-

ние, связь высших должностных лиц, связь для обеспечения критической инфраструктуры и в условиях боевых действий.

## Почему будущее за спутниковой связью VSAT и NTN?

До сего дня оборудование спутниковой связи не является доступным для массового обывателя, однако благодаря современным разработкам в области РЭА и покорению космического пространства в сфере IoT спутниковая связь всегда была разумной альтернативой сотовой связи, а теперь стала и её частью. Впрочем, спутниковые телефоны за 30 лет прошли путь значительной модернизации, и форм-фактор их изменился. Если три десятка лет назад это был «чемодан», современный спутниковый телефон приобрёл вид, приближенный к обычному сотовому телефону. Стоимость же спутниковых телефонов разного функционала отличается в разы. Если представленная на рис. 1 модель Thuraya XT-LITE продаётся свободно по цене 18 тыс. руб., то наиболее перспективная модель спутникового телефона Iridium 9575 Extreme с всенаправленной антенной, общим весом 247 г и ёмкостью аккумулятора 2300 мА/ч стоит более 230 тыс. Кроме непосредственно связи он обеспечивает сигнал SOS, отслеживание местоположения, Интернет, GPS. Спутниковые терминалы, такие как Iridium GO (рис. 2) и спутниковые трекеры моделей NAL Research Iridium 9602-LP или Iridium SBD «Linkpoint SmallCraft», позиционируются в ценовом сегменте 130–180 тыс. руб. На рис. 3 представлен спутниковый трекер Iridium SBD «Linkpoint SmallCraft».

В отличие от мобильного телефона, терминал спутниковой связи обладает значительно более широким функцио-



Рис. 1. Вид спутникового телефона модели Thuraya XT-LITE с бесплатной SIM



Рис. 2. Вид спутникового терминала модели Iridium GO

налом, может содержать средства для банковских транзакций, а также ориентирован на стационарное подключение к стандартной электрической сети 230–240 В. В терминал также встроены аккумулятор повышенной относительно спутникового телефона ёмкости – для случаев автономного использования оборудования.

Поговорим об определениях и смысле. Технология VSAT (Very Small Aperture Terminal) относится к малой спутниковой станции, терминалу спутниковой связи с антенной небольшого размера и используется с начала 1990-х годов. По современной классификации к VSAT относятся абонентские спутниковые станции с антеннами диаметром менее 2,5 м, типичными считаются размеры антенн для волн 1,8–2,4 м в С-диапазоне, от 0,9 до 1,8 м в Ku-диапазоне и до 1–1,2 м в Ka-диапазоне. Для антенн размером в десятки сантиметров, применяемых на мобильных спутниковых станциях, иногда используется название «микро-VSAT». Название VSAT применяется к станциям, оснащённым как зеркальными антеннами («тарелками»), так и антенными решётками аналогичной апертуры. Как правило, для VSAT применяется упрощённая процедура получения разрешений на использование частот [5].

Сеть радиодоступа RAN (Radio access network) позиционируется как часть мобильной телекоммуникационной системы с современной технологией беспроводного радиодоступа между электронными цифровыми устройствами (смартфон, ПК, ПЛИК и даже ПДУ, адаптированным в системе IoT) и обеспечивает взаимодействие с базовой сетью. В зависимости от стандарта связи РЭА, подключённую по беспроводной сети, называют пользовательским оборудованием, терминальным оборудованием, мобильной станцией и др. При этом функциональность RAN обеспечивается кремниевым чипом, расположенным как в базовой сети, так и в пользовательском оборудовании.

NTN – вовсе не производитель подшипников с производством в Японии. 5G и 6G NTN (Non-Terrestrial Networks) – это стандарт, разработанный изначально в Samsung Electronics для взаимодействия в мобильном формате планшетных компьютеров, смартфонов и других электронных устройств в Internet of Things (IoT). Нередко о том же говорят, как о пятом и шестом поко-

лениях сотовой связи. Околоземные сети (NTN) обеспечивают глобальный доступ к таким сервисам, как мобильный Интернет, голосовая связь и передача текстовых сообщений, видеоконтент, автоматическое дистанционное командное управление и др.

В последние годы стоимость решения VSAT и NTN снизилась. Как и оборудование для RAN, эти системы становятся всё более доступными по цене не только шейхам из ОАЭ, где доходы от нефтедобычи являются предметом вождения и зависти олигархов со всего цивилизованного мира. В результате экономически целесообразно использовать связь NTN для устройств Интернета вещей через спутниковые системы и обеспечить «связи повсюду». NTN превратилась в предпочтительный канал связи в различных сценариях, включая сеть экстренной связи или разгрузку трафика из наземных сетей в часы пик. Такие отрасли, как автомобилестроение, энергетическая инфраструктура, сельское хозяйство, морское судоходство, железные дороги и другие, нуждаются в непрерывной и устойчивой глобальной связи. Классический пример системы спутниковой связи – канал SCPC (Single Channel per Carrier – один канал на несущую). Технология SCPC используется для организации выделенного спутникового канала «точка-точка». Таков принцип работы по выделенной частоте для индивидуальных спутниковых телефонов, которые, впрочем, вполне можно применять и в формате «конференции» между несколькими корреспондентами. На спутнике выделяются две полосы частот: одна – для работы «станции 1» в направлении «станции 2», вторая – для работы «станции 2» в обратном направлении. В такой системе каналаобразующими устройствами являются спутниковые модемы: осуществляющие преобразование последовательных данных в радиочастотный сигнал и обратно, а также помехозащитное кодирование передаваемых данных.

Каналы SCPC активно используются операторами сотовой связи посредством модемов с интерфейсами G.703, можно через спутник даже подключить удалённую базовую станцию сотовой сети. Эти возможности наряду с другими определяют перспективы развития IoT при связи и управлении РЭА через спутник. Ещё интереснее тенденции развития спутниковой связи в направ-



Рис. 3. Спутниковый трекер Iridium SBD «Linkpoint SmallCraft»

лении от SCPC к TDM/MF-TDMA. Подробнее об этом в [12].

Центральная земная станция (ЦЗССС) – специальный тип станции спутниковой связи наземного базирования, обслуживающей связь между абонентскими станциями и объединяющей их в спутниковую сеть. Радиочастотное оборудование ЦЗССС, обеспечивающее передачу сигналов синхронизации в цифровом формате, может использоваться одновременно модемами разных направлений. Однако из-за того, что количество информации, передаваемой в единицу времени, на центральной станции больше, чем на периферийных, ЦЗССС должна иметь антенну большего размера и большую мощность передатчика [12].

Такая сеть будет эффективной, если все направления загружены равномерно и постоянно. Однако трафик реальных сетей со связью через Интернет пульсирующий: телефонные разговоры могут начинаться и заканчиваться внезапно, в разное время суток оборудование используется по-разному. В такой ситуации сеть типа «звезда» (прообраз см. рис. 5) на основе закреплённых каналов будет работать плохо. Одно направление может быть перегружено, в это же время другое направление не востребовано. Полосы закреплены за каждым направлением, и использовать полосу одного направления для нужд другого невозможно. Одно из возможных, но спорных с точки зрения эффективности связи решений – арендовать и оплачивать ёмкость на спутнике, выбранную исходя из максимальных потребностей всех направлений, хотя фактическая загрузка может быть меньше в разы [12].

### Сеть спутниковой связи МСРС/SCPC и полосы, занимаемые на спутнике

Частично проблема разрешается использованием более современ-



Рис. 4. Иллюстрация скоростей при устойчивой связи на разном расстоянии между корреспондентами, участвующими в радиосвязи по Wi-Fi

ной технологии MCPC/SCPC. MCPC – Multiple Channels per Carrier – несколько каналов на одну несущую. Условно центральная (основная) станция использует для передачи всем абонентским станциям сети единственную несущую. Разделение данных, предназначенных разным абонентским станциям, осуществляется не по частоте, а по времени. ЦЗССС передаёт данные для абонентских станций в едином цифровом потоке. Каждая абонентская станция принимает весь поток, а свои данные выбирает на уровне данных, по служебным маркерам-заголовкам. Это иллюстрация возможности относительно более эффективно использовать полосу, предназначенную для передачи «от центра к периферии»: основная станция перераспределяет трафик в динамическом режиме в зависимости от потребностей конкретной абонентской станции. Однако на ЦЗССС сохраняется набор модемов по количеству направлений, для каждой абонентской станции требуется новая выделенная полоса. Сети MCPC/SCPC используют в случаях, когда небольшое количество периферийных станций потребляют большой и непредсказуемый (пульсирующий) трафик, а обратный трафик от станций невелик и стабилен.

В качестве реального примера можно привести сети DVB-S2/SCPC на оборудовании фирмы Advantech. Каждая абонентская станция принимает данные в общем, разделяемом по времени канале DVB-S2 (частный случай MCPC), а передаёт в персональном выделенном канале SCPC. Платформа Advantech интересна тем, что позволяет быстро и относительно недорого построить корпоративную сеть, а с ростом числа абонентов с минимальными затратами перейти к типичной VSAT формата TDM/MF-TDMA.

В нашей реальности пока много территорий и участков на планете Земля за пределами покрытия сотовой связи. Экстремальные виды спорта требуют

наличия подключённого устройства на случай чрезвычайной ситуации, могут помочь гибридные (совмещённые) устройства с подключением к сотовой связи и NTN. То есть доступные и компактные спутниковые телефоны, о которых мы рассказали выше. То же касается техногенных катастроф и боевых действий в условиях намеренного глушения эфира. Удалённые промышленные установки также нуждаются в спутниковом IoT. Морские перевозки, нефтяные вышки в акваториях по всему миру и даже поезда – из-за не сплошного покрытия территории сотовыми операторами – эпизодически оказываются за пределами зоны действия сотовой связи. Подробнее об этом в [3].

NTN может обеспечить надёжное соединение для мониторинга и управления устройствами и автоматически системами на основе РЭА даже в удалённых местах. К примеру, 3GPP разработал собственные стандарты, обеспечивающие рост рынка как для широкополосной связи NTN, так и для IoT-NTN-LTE-M и NB-IoT. Для обеспечения стандартизации Российский институт стандартизации под эгидой Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии с запозданием, но всё же выпустил в 2022 году ТУ для системы спутниковой связи «Спутник-А» разработки инженеров России, где регламентированы процессы формирования кадровой структуры, канального кодирования, модуляции для системы цифровой спутниковой связи. Подробнее о регламенте в [7].

### Ожидаемое расширение зоны действия Wi-Fi

Стандарт Wi-Fi HaLow, он же IEEE 802.11ah, представлен ассоциацией Wi-Fi Alliance ещё 8 лет назад. Недавно поставлен рекорд в дальности передачи данных по Wi-Fi на 3000 метров. На расстоянии в 3 км обеспечивался видеопоток с артефактами – некри-

тичными для восприятия искажениями видеоконтента, но с качественным звуком [6].

Формат беспроводной передачи данных Wi-Fi HaLow предназначался для поддержки устройств с низким энергопотреблением и ограниченным радиусом действия, тем не менее значительно превышающим типичный Wi-Fi. Недавние тесты показали, что Wi-Fi HaLow обеспечивает стабильное соединение на относительно дальних расстояниях. Но есть нюанс: скорость передачи данных в таком режиме снижается с удалением между корреспондентами, участвующими в связи. На рис. 4 представлена иллюстрация разных скоростей при устойчивой связи на разном расстоянии между корреспондентами, участвующими в радиосвязи по Wi-Fi.

### Новые форматы

Возможность подключения к околоземной сети (NTN) определила новый тип микросхем для IoT, позволяя развёртывать подключённые устройства и установки на больших расстояниях от планеты Земля. Некоторые электронные устройства оснащаются автономными чипами, ориентированными на связь только со спутниковым оборудованием, в то время как другие используют гибридные наборы микросхем с поддержкой как наземной, так и околоземной связи. Да, стандарт беспроводной связи Wi-Fi HaLow имеет сверхнизкое энергопотребление, особенно в сравнении с новейшим Wi-Fi 7. Перспективность технологии Wi-Fi 7 продемонстрировали тесты, показавшие, что микросхема Morse Micro MM6108 с Wi-Fi HaLow (рис. 5) способна поддерживать соединение на расстоянии до 3 км. Эти разработки только условно могут заменить Wi-Fi 6 или перспективный Wi-Fi 7, но использование предложенной инновации окажется эффективным в ряде сценариев.

Wi-Fi HaLow функционирует в диапазоне 850–950 МГц на узких полосах в 1/2/4 или 8 ГГц. Так удаётся полу-

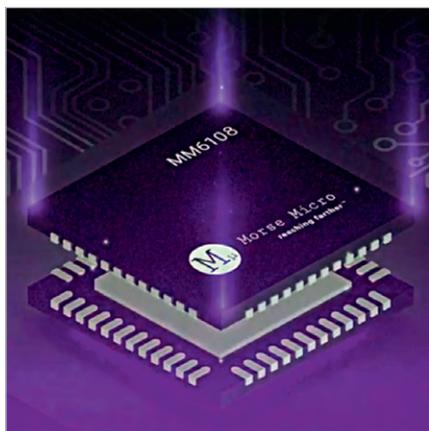


Рис. 5. Внешний вид Morse Micro MM6108 со встроенным модулем Wi-Fi HaLow

чить высокую проникаемость сигнала сквозь пространство и материалы и хорошую производительность в «шумных» средах, переполненных гаджетами. Означенные преимущества позволяют реализовать поддержку «умных домов» и в целом зданий, IoT (Интернет вещей), носимых устройств и критически важной инфраструктуры. Wi-Fi HaLow работает с тысячами одновременно подключённых электронных устройств, обеспечивая пропускную способность 32 Мбит/с и выше. Такой скорости достаточно, чтобы отказаться от обустройства систем видеонаблюдения с использованием дорогих и неудобных в прокладке кабелей. Подробнее об этом в [4].

Вернёмся к недавнему эксперименту по увеличению дальности связи по Wi-Fi, подробно описанному в [6]. Для определения дальности и скорости сигнала один из участников эксперимента совершил видеозвонок и начал отдаляться от точки доступа Wi-Fi. «Тестеру» удалось отойти на расстояние в 3000 метров: видеопоток стал прерываться с ухудшением изображения, а скорость снизилась до 1 Мбит/с. При этом сигнал оставался и качество звука не ухудшалось. Тестирование проводилось на пляже, примыкающем к оживлённой автомагистрали вблизи жилого района (рис. 6). Wi-Fi HaLow продемонстрировал, что теория сходится с практикой – обилие помех не повлияло на качество и дальность приёма сигнала. Можно говорить о некоторых перспективных направлениях по разработке устройств для новых стандартов Wi-Fi и целеполагании для достижения лучших и конкурентных результатов в дальности обеспечения связи. Уже сейчас с использованием микросхемы Morse

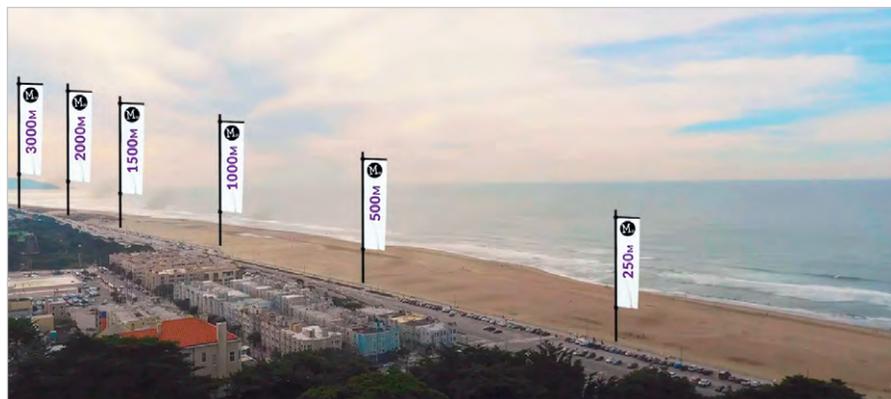


Рис. 6. Иллюстрация к эксперименту на дальность распространения сигнала Wi-Fi

Micro MM6108 с встроенным модулем Wi-Fi HaLow удалось достигнуть:

- условно неограниченного диапазона (скорость передачи данных до 32,5 Mbps);
- низкого энергопотребления;
- хорошего (устойчивого) проникновения сигнала через материал стен и конструкций;
- высокой скорости передачи данных для Интернета вещей с устойчивым доступом в Интернет.

Такие перспективы видятся для развития беспроводной связи бытового и некритичного промышленного назначения.

### Минусы беспроводной техники связи

Минусы любой беспроводной технологии достаточно известны, и среди них – подверженность влиянию средств глушения радиоволн. Эта особенность касается и всех рассматриваемых систем беспроводной связи. На рис. 7 представлено устройство-глушитель в корпусе небольшого формата, позволяющее на дистанции до 50 метров нейтрализовать связь по радиоканалу не только любых сотовых операторов и GPS, но и Wi-Fi. Ещё 5 лет назад такое устройство можно было приобрести вполне легально по цене до 10 тыс. руб. [5].

### Ограничения в России и перспективы Wi-Fi

Wi-Fi 6E работает на частоте 6 ГГц как более быстрый относительно предыдущих версий Wi-Fi по скорости передачи данных, а потому эффективный и востребованный стандарт. Однако для полноценного использования необходимо официальное разрешение на использование диапазона частот. Поэтому устройства, использующие эти стандарты, пока работают только в тестовом режиме с огра-



Рис. 7. Устройство – глушитель радиоканалов TG2000-121A

ническим функционалом, что мешает широкому распространению в России. Наш портал недавно сообщал о проблеме явления в России [1].

Производители устройств и продавцы электронной техники фирм DNS, Huawei, Samsung и др. обратились в Минцифры России с просьбой обновить список радиоэлектронных устройств, требующих регистрации в Роскомнадзоре, и закрепить конкретный диапазон частот за Wi-Fi формата 6E и 7E. Напомним, что распределение частот и в целом политика лицензирования РЭА в области связи, в том числе космической, «бытовой» и радиолобительской, в компетенции подразделения Роскомнадзора – Главного радиочастотного центра (ГРЧЦ). Легализация и регламент частот для условно новых форматов Wi-Fi (6E и 7E относительно давно используют в Европе и США) ускорят внедрение новых технологий в России и повысят конкурентоспособность российской электронной промышленности. Это необходимо сделать как можно скорее. Упомянутые стандарты Wi-Fi, работающие на частоте 6 ГГц, и отмечается, что по состоянию на начало 2024 года известно, что Госкомиссия выделила диапазон частот для использования Wi-Fi 6E.

### Некоторые нюансы

Однако этот диапазон до сих пор не является закреплённым исключи-

тельно за стандартом Wi-Fi, что может вызвать проблемы при использовании устройств, работающих на данных частотах [1, 11]. То есть документ, касающийся регистрации оборудования, не приведён в соответствие с решением комиссии. В правоприменительной практике нашей страны это объясняется шаблонностью, типичностью и традициями: любой указ до самого высшего уровня исполнительной власти или постановление гражданской администрации не является моментальным посылом к действию. Для органов исполнительной власти вслед за «высоким решением» любого уровня разрабатывается порядок исполнения постановления (указа). Это типичная норма, по сути – регламент, где прописано «как», «кто», «когда» и «что». По времени между постановлением и регламентированным порядком иногда проходит более одного года. Это мешает полноценной работе в стране многих устройств и может затруднить распространение Wi-Fi 7. Проблема проявляется не только в правовом поле: современные устройства Wi-Fi функционально определяют своё местоположение и транслируют данные о нём в цифровом виде, то есть – каждое под контролем. Ещё одна деталь: возможно, ушедшие из России производители не обновят настройки своего оборудования и при завершении оформления стандарта в России. Но не будем «падать раньше выстрела», дождёмся событий, ибо понятно, что осложнения на рынке РЭА никому не нужны, даже ушедшим производителям оборудования. В этой связи особенно интересным становятся новые инициативы и достижения в области связи через околоземную орбиту по спутниковой технологии – стандарту RAN с поддержкой NTN и др., о чём поговорим далее.

### О попытках ограничения связи

В январе 2024 года три региона России – Псковская, Новгородская и Ленинградская области объявили, что ограниченное время, примерно 5 ночей, на территории не будет работать мобильный Интернет LTE (технология 4G) всех операторов [6, 11]. В анонсах сообщалось, что отключение сетей необходимо для проведения работ «по перенастройке частот вещания». При этом после отключения формата 4G продолжает работать

стандарт 3G – несколько устаревший и не обеспечивающий выдающейся скорости передачи данных при прочих равных условиях. Сложно ли в таких обстоятельствах оперативно вызвать оперативные службы, такси (по сотовой связи и в мобильном приложении к ней) или пользоваться услугами банкоматов, пока установить не удалось. Однако по авторскому опыту ясно, что ситуация влияет на скорость передачи данных в глобальной сети Интернет, в частности, при скачивании и передаче условно больших объёмов информации; при объёмах в несколько гигабайт скорость обмена данными снижалась по ночам примерно в 3 раза. Понятно, что ограничивают не столько сотовую связь, сколько Интернет как способ оперативного общения и информационную систему.

Возможно, отключение сетей по технологии 4G связано с визитом на эти территории высокопоставленных лиц в сопровождении Федеральной службы охраны (ФСО). В указанные даты проходил визит в Россию президента Белоруссии Александра Лукашенко, встречи на высшем уровне проводили в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. Ещё одна версия состоит в том, что ограничение скорости Интернета, которое в некоторых изданиях называли «отключением», сделано для обеспечения беспомехового пространства для БПЛА, ибо с их помощью в ночное время обеспечивались меры безопасности. Разумеется, экстренное «глушение Интернета» произойдёт в любое время, если поступит соответствующее распоряжение. Надо заметить, что в последнее время связь «бытового» (бытового) электронного оборудования со спутниками GPS претерпевает изменения, есть примеры, когда сигнал GPS воспринимается искажённым даже на уровне восприятия автомобильных систем – путевых навигаторов. Прямо говоря – не обеспечивается точность определения объектов, что делает некоторое специфическое электронное оборудование условно бесполезным. Предполагается, что для наведения на цель БПЛА используют сигнал GPS (именно поэтому его специально искажают), в дневное время собственные камеры наблюдения, в ночное – ориентацию на вышки-ретрансляторы сотовой связи на земле или в комплексе навигационных факторов.

### История вопроса и реалии сегодня

В июле 2023 г. (как и эпизодически ранее) в России проводились тестовые учения по отключению российского сегмента Интернета от метавселенной (глобальной сети) с сохранностью работы российских сервисов. Мероприятия проводили в Центральном федеральном округе ночью и только на мобильных сетях связи [6]. Случаются и общие «сбои». Так, сбой функционала сайтов в зоне RU 30 января 2024 года побудил многих вспомнить об инфраструктуре «суверенного рунета». Уместно вспомнить о Национальной системе доменных имен (НСДИ), действующей как структура Роскомнадзора. Использование НСДИ осуществляется операторами связи, собственниками или иными владельцами технологических сетей связи, организаторами распространения информации в сети Интернет, пользователями услуг связи, а также иными лицами, которым необходимы сведения, содержащиеся в национальной системе доменных имён. В НСДИ хранится копия корневой зоны DNS с информацией о всех доменах верхнего уровня, а «оригиналом» корневой зоны DNS управляет международная организация ICANN. Исходно НСДИ создавалась и позиционировалась как защита от других рисков – гипотетического удаления зоны RU по желанию ICANN. Роскомнадзор после сбоя публично порекомендовал использовать национальную систему через резолвер, «чтобы пользователи всегда имели возможность доступа к ресурсам» [6, 11].

### Перспективы Wi-Fi 7 и не только

Роутер с Wi-Fi 7 модели BE3600 2.5G представила компания Xiaomi. Такой модем обеспечивает высокую пропускную способность до 3,57 Гбит/с, поддерживая до 128 подключённых устройств. От конкурентов девайс отличается высокая производительность до 3600 Мбит/с, «интеллектуальное» подключение – с автоматическими подстройками и небольшая цена, примерно 3010 рублей в пересчёте с юаней по состоянию на январь 2024 года. Благодаря поддержке Wi-Fi 7 роутер может объединить 2 диапазона передачи данных (технология MLO), а именно 2,4 ГГц и 5 ГГц для достижения максимальной скорости. Устройство превосходит стандарт Wi-Fi 6 примерно на 44% по фактической пропускной спо-



Рис. 8. Внешний вид маршрутизатора Xiaomi BE3600 2.5G



Рис. 9. Элемент, созданный по многослойной технологии для поверхностного монтажа

способности и на 48% – в теоретической [14]. Также маршрутизатор поддерживает технологию квадратурной амплитудной модуляции 4KQAM и технологию OFDMA (множественный доступ с ортогональным частотным разделением). Это позволяет оптимально распределять ресурсы в зависимости от потребностей подключённых устройств. Внешний вид устройства представлен на рис. 8.

Xiaomi BE3600 2.5G оснащён 4-ядерным процессором от Qualcomm с частотой до 1,1 ГГц (мощность 10120 DMIPS), 256 Мбайт памяти и четырьмя антеннами с высоким коэффициентом усиления. Благодаря им роутер может похвастаться максимально широким радиусом покрытия со стабильным сигналом. Для проводного соединения предусмотрен 2,5 гигабитный WAN-порт, а также три LAN-порта по 1 Гбит/с каждый. Есть поддержка подключения к IoT-устройствам и возможность объединения до 10 роутеров для создания единой сети.

### Тенденции спутниковой связи для автоматизации устройств Интернета вещей

По обоснованным динамикой подключений и статистическими данными прогнозам IoT Analytics, количество пользователей спутникового IoT в период с 2021 по 2026 год резко (с прибавлением на 22% в среднем в год) вырастет: с 5,5 млн в 2022 году оно достигнет к 2026 году 13,5 млн [2]. Спутниковая связь NTN для носимых устройств и маломощных устройств Интернета вещей действительно развивается, об этом можно прочитать в [4, 8, 13].

В продукты, соответствующие стандартам Wi-Fi 6E и Wi-Fi 7, использующие высокоскоростную беспроводную связь, устанавливают несколько антенн

для повышения скорости и качества связи. Тенденция прослеживается и в уменьшении в сторону компактности «электронной части» устройств на основе микропроцессоров, с акцентом на новые материалы и конфигурацию антенны. Так, компания Murata разработала современное решение и электронное устройство, чтобы повысить эффективность антенны за счёт магнитной связи паразитного элемента с антенной. Таким образом уменьшаются потери полезного сигнала. Это первое в мире (по состоянию на 2023 год) решение для продуктов Wi-Fi 6E и Wi-Fi 7. Разработчикам смартфонов, планшетов, сетевых маршрутизаторов, игровых консолей и другой компактной электроники это позволяет создавать эффективные антенны – ключевое требование для многих современных устройств с ограниченной дистанцией распространения сигнала. Для этих целей компания Murata представила устройство сопряжения элементов, изготовленное по многослойной технологии в виде четырёхконтактного компонента для поверхностного монтажа размером всего 1,0×0,5×0,35 мм (рис. 9).

Для решения задачи компактности устройства требуется разработать антенны малого размера из современных наноматериалов с высоким КПД и низкими потерями, определяя при настройке и выбор места размещения антенного хозяйства, приближённого к «1» коэффициента стоячей волны (КСВ). А это для приемлемого согласования импеданса возможно только для антенн узкого диапазона волн. При этом разработчики учитывают, что эффективность широкополосных антенн снижается при их миниатюризации, и конструируют «компромиссные» решения, обеспечивающие как миниатюризацию, так и высокую

производительность оборудования. При уменьшении размера антенны ёмкостная связь между антенной и паразитными элементами (противовесом) уменьшается, а связь между элементами антенны и землёй увеличивается. В этом направлении уместно совершенствовать методы проектирования миниатюрных антенн с минимальным влиянием на эффективность антенного хозяйства в относительно широком диапазоне волн (связи). Антенна может вызвать несогласование импеданса при использовании в широком диапазоне, что ведёт к ухудшению производительности и дальности беспроводной связи. Кроме того, при подключении антенны с несогласованным импедансом с помощью коаксиального кабеля относительно большой длины, то есть притом что оборудование связи стандарта Wi-Fi и антенное хозяйство устанавливают стационарно в разных помещениях или удалённо друг от друга, потери сигнала увеличиваются. Теперь есть возможность улучшить согласование антенн и сохранить пользу беспроводной связи даже при использовании длинных кабелей [10].

Представленный элемент для установки в антенные конструкции связи уместно использовать в различных устройствах, где предусмотрены антенны, включая ноутбуки и смартфоны, ПК и ПЛК, цифровые видеокамеры, игровые приставки, маршрутизаторы-роутеры, устройства для телевидения, автоматизации, ПДУ, xR (AR, VR) и многое другое. Нелишним будет заметить, что антенны в устройствах микроэлектроники могут иметь разную конфигурацию, в том числе для устройств, работающих на частотах гигагерцового диапазона радиоволн, это могут быть даже небольшие спиральные или прямоугольной формы участки печатной платы, направленные

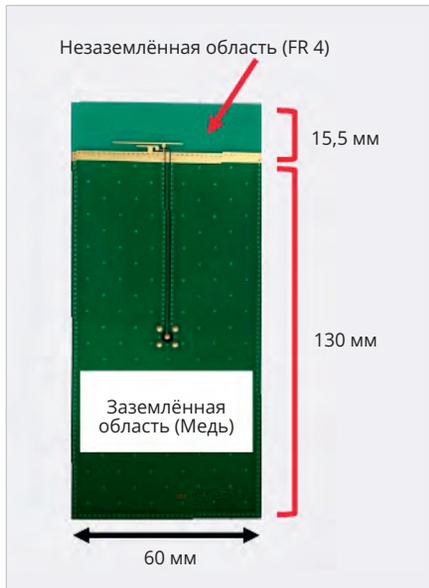


Рис. 10. Подключение антенного модуля к коммуникациям с волновым сопротивлением 50 Ом

ные в виде вектора (подключённые к элементам схемы только с одной стороны). Способы улучшений согласованности антенн для сверхвысокочастотных устройств связи представлены на рис. 10 (без кабеля) и рис. 11 с использованием участка коаксиального кабеля. Причём во втором случае разработчики признают эффективность в увеличении расстояния для связи и уменьшении влияния сторонних факторов – помех разного свойства [10].

Устройство связи «паразитных элементов», разработанное в фирме Murata, соединяет питающую антенну с другими элементами более эффективно, чем это возможно через свободное пространство (см. рис. 12).

Представлена иллюстрация устройства связи с паразитным элементом и эффекта в виде широкой полосы пропускания сигнала и в целом – улучшения КПД антенны. Элемент (рис. 12) по форм-фактору является крошечным устройством, но обеспечивает высокую

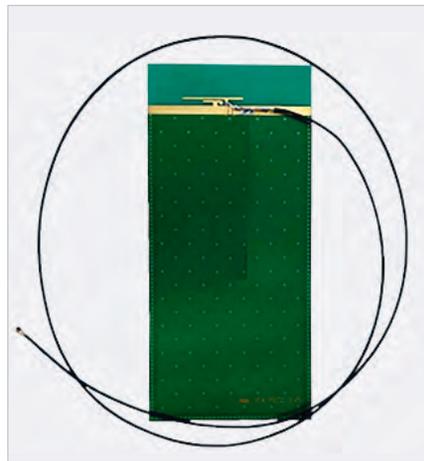


Рис. 11. Подключение в виде элемента антенны участка коаксиального кабеля длиной 700 мм

производительность связи без использования магнитных материалов, что было бы неуместно на сверхвысоких рабочих частотах. Элемент с низкими вносимыми потерями с одной стороны подключается между ВЧ-выходом радиочастотной электронной схемы устройства и основной антенной. Другая сторона элемента подключается между противовесом (заземлением) и «паразитным элементом». В результате инновация позволяет улучшить резонансные характеристики всей антенны. А это обеспечивает эффективную работу в более широком диапазоне частот и в нескольких дискретных диапазонах [10].

На рис. 13 представлена схема подключения антенны без нового элемента. На рис. 14 – вид антенной конструкции с инновационным типом антенного элемента, улучшающим характеристики всей системы связи.

### Особенности новых элементов спутникового оборудования для системы IoT

Компании Skylo и Murata в сотрудничестве работают над расширением

доступности спутниковой связи для широкого спектра IoT-устройств и носимых устройств для обеспечения новых «прорывных» возможностей, запросов клиентов и вызовов завтрашнего дня. Команда Anritsu провела первое тестирование спутника 5G NB-IoT в 2023 году [13]. На мировом рынке современной электроники решения от Skylo «бесшовной связи в одном модуле» оценили по достоинству; ведущие OEM-производители и разработчики применяют их для обеспечения связи в разных условиях и задачах. На наших глазах создают новый класс систем Интернета вещей без усложнения конструкции и дополнительных затрат на оборудование. Skylo Technologies – поставщик услуг NTN, базирующийся в Маунтин-Вью, штат Калифорния (США), позволяет смартфонам и сотовым устройствам IoT подключаться напрямую через действующие на орбите спутники. Устройства, подключённые через спутник, управляются и обслуживаются коммерческой виртуальной сетью vRAN NTN Skylo, включающей облачную базовую станцию и ядро на основе стандартов 3GPP. С помощью совместимых сотовых устройств связи доступна возможность переключения между радиосвязью, организованной в разных слоях воздушного пространства (атмосферы Земли), от зоны, отдалённой на 20 км от поверхности (тропосферы), до стратосферы, мезосферы, термосферы, ионосферы к экзосфере – околоземной космической орбите для спутников. А это уже «космические высоты» с расстоянием до Земли в 10 000 км и более. Таковы технологии, основанные на новейших стандартах RAN с поддержкой NTN и др. Околоземные сети (NTN) состоят из спутников геостационарной экваториальной орбиты (GEO), средней околоземной орбиты (MEO) и низкой околоземной орбиты (LEO), а также систем на высотных платформах (HAPS), в том числе могут использоваться беспилотные дирижабли или самолёты с высотой «полётного потолка» более 20 км, а также БПЛА и дроны [8].

### NTN-элементы и модуль OpenMCU к спутнику NB-IoT

Сочетание околоземной сети Skylo (NTN) с усовершенствованным, сверхмалым, маломощным сотовым IoT-модулем Type 1SC (LBAD0XX1SC) от Murata обеспечивает бесперебойное



Рис. 12. Принцип включения нового антенного элемента

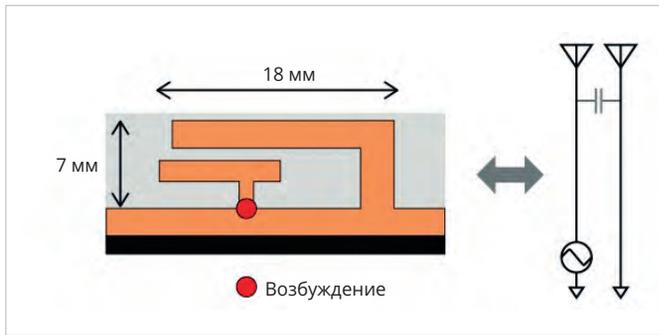


Рис. 13. Вид типичной высокочастотной антенны без нового элемента

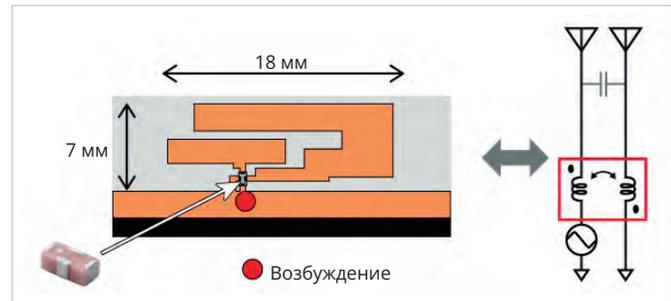


Рис. 14. Вид антенной конструкции с инновационным типом антенного элемента, улучшающим характеристики всей системы связи

и повсеместное подключение. Skylo Technologies – поставщик услуг NTN, базирующийся в Маунтин-Вью, штат Калифорния (США), позволяет смартфонам и сотовым устройствам IoT подключаться напрямую через действующие на орбите спутники. Устройства, подключённые через спутник, управляются и обслуживаются коммерческой виртуальной сетью vRAN NTN Skylo, включающей облачную базовую станцию и ядро на основе стандартов 3GPP. Модуль Type 1SC (с встроенным элементом, показанным на рис. 12) претендует на звание самого маленького модуля форм-фактора LTE Cat M/NB-IoT со спутниковой NTN. Модуль, внешний вид которого представлен на рис. 15, поддерживает GPS/GNSS, OpenMCU и интегрированную SIM-карту, что позволяет использовать новое ПО и приложения, среди которых двухрежимный сотовый Интернет вещей.

Модуль адаптирован к современным спутниковым системам и не требует замены уже действующего оборудования. В табл. 1 представлены технические и эксплуатационные характеристики модуля Type 1SC для LTE Cat M/NB-IoT со спутниковой NTN [9].

На рис. 16 представлена блок-схема модуля Type 1SC (LBAD0XX1SC) от Murata.

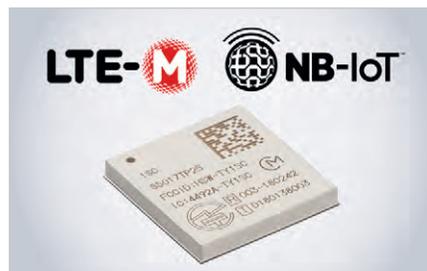


Рис. 15. Модуль Type 1SC для LTE Cat M/NB-IoT со спутниковой NTN

Отечественным разработчикам будет полезна сопутствующая информация о LTE-M – аббревиатуре LTE Cat-M1, или Long Term Evolution (4G), категория M1. Такая технология позволяет устройствам Интернета вещей подключаться напрямую к сети 4G без шлюза и, как правило, с автономным питанием от батарей. LTE-M, включающий eMTC (расширенная связь машинного типа) – тип стандарта радиотехнологии малой мощности глобальной сети (LPWAN), разработанный 3GPP для обеспечения широкого спектра сотовых устройств и услуг (в частности, для адаптации и взаимодействия разных устройств связи) и приложений IoT. В марте 2019 года Глобальная ассоциация поставщиков мобильной связи сообщила, что более 100 операторов развернули/запустили сети NB-IoT

Таблица 1. Технические и эксплуатационные характеристики модуля Type 1SC для LTE Cat M/NB-IoT со спутниковой NTN

Наименование	LBAD0XX1SC
Назначение	Промышленный
Поддержка диапазона LTE	Низкие диапазоны 5, 8, 12, 13, 14 (только CAT M1), 17, 18, 19, 20, 26, 28 Средние диапазоны 1, 2, 3, 4, 25
Чипсет	Altair ALT1250
Модуляция	LTE Cat. M1/NB-IoT, выпуск 13 (выпуск 14 – обновление ПО)
Антенна	Внешняя
Системные часы	Встроенный 26 МГц (ТСХ0) и 32 кГц (XTal)
Мин. рабочая температура, °C	-40
Макс. рабочая температура, °C	+85
Тип монтажа	LGA
Габариты	11,1×11,4×1,5 мм (макс.)
Напряжение интерфейса	1,8 В
Напряжение питания	2,85–4,35 В
Мощность передачи	+23 дБм макс.
Класс мощности	Оптимизирован для вых. мощности LTE класса 3
Ток спящего режима	Потребление тока eDRX (в среднем)/LTE-M: 43 мкА Потребление тока PSM (в среднем)/LTE-M: 1,4 мкА
Хост-интерфейс	UART
РоХС	Да
Возможности программного обеспечения	AT-команды, стек IPv4/IPv6 с протоколами TCP и UDP, SSL/TLS, MQTT, OpenMCU (опционально), GPS/ГЛОНАСС (опционально), iUICC (опционально)
Проверка стандартов	FCC/IC/RED/TELEC/KC/NCC GCF/PTCRB
Варианты исполнения	1СК-DM 1СК-СМ 1СК-iUICC 1СК-GPS/ГЛОНАСС 1СК-Открытый MCU

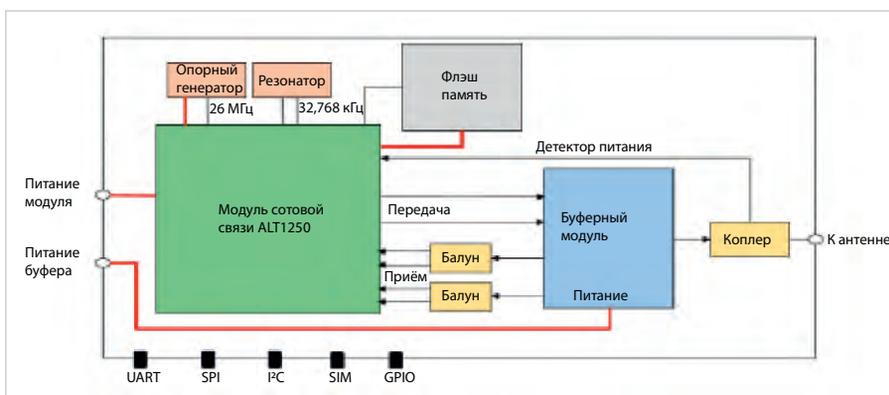


Рис. 16. Блок-схема модуля Type 1SC (LBAD0XX1SC) производства Murata

Таблица 2. Некоторые характеристики модулей улучшения связи со спутниками от компании Murata

Модуль части	Тип	Вносимые потери (тип.)*		DCR (Макс)
		Частота измерений	ИЛ (дБ)	(Ом)
LXPC15ANA1-001	Для среднего/высокого диапазона	1,7 ГГц	0,1	0,2
LXPC15AHR1-002	Для среднего/высокого диапазона (зеркальный тип -001)			
LXPC15ALA1-003	Для нижнего диапазона	1,7 ГГц	0,1	0,4
LXPC15ALR1-005	Для нижнего диапазона (зеркальный тип -003)			
LXPC15AJA1-008	Для диапазона Sub6G	3,3 ГГц	0,2	0,3
LXPC15AUR1-009	Для диапазона Sub6G (тип зеркала -008)			
LXPC15AWA1-012	Для Wi-Fi 6E	6 ГГц	0,35	0,3
LXPC15AWR1-013	Для Wi-Fi 6E (тип зеркала -012)			

\*Измерения проводились с открытыми портами 3 и 4 и подключёнными портами 1 и 2; данные включают поправку на потери на отражение порта 2.

или LTE-M. Подробно об этом на сайте GSMA в [15].

LTE-M имеет более высокую скорость передачи данных, поддерживает мобильность и передачу голоса по сети, но требует большей пропускной способности, чем NB-IoT, и не может быть помещён в диапазоны частот защитной полосы, как NB-IoT.

В табл. 2 представлены некоторые характеристики модулей улучшения связи со спутниками от компании Murata.

### Отличительные особенности околоспутниковых сетей (NTN) GEO и LEO

Действующие спутниковые системы, используемые для услуг связи IoT/M2M, основаны на спутниках GEO и LEO. Бытует мнение, что спутниковые группировки GEO связаны с условно устаревшими системами спутниковой связи, тогда как спутниковые услуги LEO предоставляются сочетанием существующих и новых возможностей. Система спутников LEO позиционируется предпочтительным вариантом для операторов, предлагающих услуги подключения в формате IoT/M2M как относительно быстрое и недорогое средство создания и развёртывания сети, каналов связи с высокой добротностью и доступностью орбитальных маршрутов. Кроме того, LEO обеспечивает лучшее прохождение сигнала, чем GEO, из-за меньшей высоты их орбиты [8].

GEO обеспечивает большую зону действия, поэтому для глобального покрытия требуется меньше спутников. Это преимущество. Спутники GEO кажутся неподвижными, если

увидеть их с помощью специального оборудования из фиксированной точки, они вращаются с той же скоростью и направлением, что и планета Земля. Поэтому наземные антенны ориентируются на спутник без необходимости отслеживать его положение, примерно так же, как установленная в одной точке (стационарно) гиперболической формы антенна спутниковой связи принимает сигнал спутникового ТВ. Такой же подход позволяет использовать технологии GEO относительно недорогим способом, в то же время спутниковое оборудование имеет длительный срок службы.

Время прохождения для спутника GEO составляет примерно 600–800 мс, тогда как спутник LEO передаёт данные в оба направления в диапазоне 30–50 мс. Это может создать впечатление, что группа спутников LEO лучше обеспечивает функционал приложений реального времени. Однако современные сети IoT LEO имеют ограниченное количество спутников на орбите, которые пока не способны обеспечить непрерывную связь корреспондентов между любыми точками, а обеспечивают лишь периодическую связь. Цифровые данные в стабильном режиме можно получать с устройств IoT только несколько раз в 24 часа во время движения спутников на участках околоспутниковой орбиты. В результате группировки GEO лучше подходят для приложений, работающих в режиме, близком к реальному времени, чем спутники формата LEO.

### Будущее Интернета вещей

Будущее IoT, повышение автоматизации и управляемости, а также стабиль-

ности и устойчивости связи на высоких частотах волн (диапазон ГГц) к внешним воздействиям выглядит перспективным и зависит от развития и внедрения технологий в области сотовой связи RAN, спутниковой связи VSAT и eSAT стандарта TDM/MF-TDMANTN и надёжности соединений в связи NTN. Для повышения эффективности и надёжности соединений NTN разрабатываются электронные устройства с низким энергопотреблением в области радиосвязи и усовершенствованные схемы модуляции. Из других исследований мы знаем, что основной конкурентный тренд в разработках АКБ и в целом источников питания для переносных устройств (в том числе связи) стремится к преобразованию энергии солнца, ветра, воды, движения конечностей и даже пота человека. На малых дистанциях развивается направление Li-Fi – передача информации на расстояние с помощью световых трансиверов. Можно говорить о том, что перспективы развития дальности связи новейших стандартов Wi-Fi не ограничены тремя километрами, а простираются вплоть до космоса, однако это пока не так. Тем не менее технологии продолжают развиваться и совершенствоваться. Компании операторов связи настойчиво работают над сокращением затрат на запуск и обслуживание спутников LEO, делая нетрадиционную пока связь с использованием NTN для приложений IoT доступной для предприятий любого масштаба.

С развитием технического прогресса возможность подключения NTN, Wi-Fi, VSAT и др. всё более востребована в удалённых и труднодоступных районах. В космосе всё больше спутников на основе современной РЭА. Поэтому следует ожидать развития Интернета вещей на всех уровнях, включая «космический» и бытовой с подключениями в означенных форматах. Основные же направления конструкторской мысли определены в обеспечении дальности и устойчивости качества связи, создания миниатюрных эффективных элементов питания для автономных электронных устройств (в том числе связи) и обеспечения защиты информации, передаваемой посредством беспроводной связи, в том числе её кодирования, модулирования и корректного восприятия команд управления электронными устройствами на большом расстоянии.

**Литература:**

1. В настоящее время в России не узаконены частоты для Wi-Fi 6E и Wi-Fi 7 // URL: <https://www.cta.ru/news/soel/178199.html>.
2. Запуск IoT на орбите // URL: <https://www.eenewseurope.com/en/running-iot-through-the-skies/>.
3. *Кашкаров А.П.* Электронные устройства, управляемые компьютером, и не только. М.: ДМК Пресс, 2013. 112 с.
4. *Кашкаров А.П.* Управление и настройка Wi-Fi в своём доме. М.: ДМК Пресс, 2016. 64 с.
5. *Кашкаров А.П.* Электронные устройства для глушения беспроводных сигналов (GSM, Wi-Fi, GPS и некоторых радиотелефонов). М.: ДМК Пресс, 2016. 96 с.
6. Перекрывают рубильник. В России по ночам отключают мобильный Интернет LTE. Зачем? // URL: <https://www.dk.ru/news/237197350>.
7. Росстандарт. ТУ для Системы спутниковой связи «Спутник-А» // URL: [https://www.murata.com/products/connectivitymodule/lpwa/overview/lineup?type-1sc?parent-baobab-id=ls7m8xuz7c](https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1707045837&tld=ru&lang=ru&name=78290.pdf&text=%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82%20%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%B8&url=https%3A%2F%2Ffiles.stroyinf.ru%2FData%2F782%2F78290.pdf&lr=2&mime=pdf&110n=ru&sign=e44f797347f5739a424983c8dafbaa89&keyno=0&seprParams=tm%3D1707045837%26tld%3Dru%26lang%3Dru%26name%3D78290.pdf%26text%3D%D1%2581%25D1%2582%25D0%25B0%25D0%25BD%25D0%25B4%25D0%25B0%25D1%2580%25D1%2582%2B%25D1%2581%25D0%25BF%25D1%2583%25D1%2582%25D0%25BD%25D0%25B8%25D0%25BA%25D0%25BE%25D0%25B2%25D0%25BE%25D0%25B9%2B%25D1%2581%25D0%25B2%25D1%258F%25D0%25B7%25D0%25B8%26url%3Dhttps%253A%2F%2Ffiles.stroyinf.ru%2FData%2F782%2F78290.pdf%26lr%3D2%26mime%3Dpdf%26110n%3Dru%26sign%3De44f797347f5739a424983c8dafbaa89%26keyno%3D0).
8. Спутниковая связь NTN для носимых устройств и маломощных устройств Интернета вещей // URL: <https://www.eenewseurope.com/en/satellite-ntn-connectivity-for-wearables-and-low-power-iot-devices/>.
9. Тип 1SC LBAD0XX1SC // URL: <https://www.murata.com/products/connectivitymodule/lpwa/overview/lineup?type-1sc?parent-baobab-id=ls7m8xuz7c>.
10. Устройства сопряжения паразитных элементов // URL: <https://www.murata.com/en-eu/products/antenna/parasitic-element-coupling-device>.
11. Шесть забытых гигагерц. Легализация нового диапазона для Wi-Fi в России затормозилась // URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6467626>.
12. Эволюция сетей спутниковой связи VSAT: от SCPC к TDM/MF-TDMA // URL: <https://satcomservice.ru/dvbrcs.html>.
13. A World's First: Murata Enables Better Wi-Fi 6E and Wi-Fi 7 Antenna Design with Cutting-Edge Parasitic Element Coupling Device // URL: <https://www.murata.com/en-eu/news/antenna/parasitic-element-coupling-device/2023/1207>.
14. Xiaomi представила самый дешёвый роутер с Wi-Fi 7 // URL: <https://hi-tech.mail.ru/news/106094-xiaomi-predstavila-svoj-samyj-deshevyj-wi-fi-7-router/>.
15. Long Term Evolution for Machines: LTE-M // URL: <https://www.gsma.com/iot/mobile-iot-technology-lte-m/>.
16. 3000 метров: поставлен рекорд в дальности передачи данных по Wi-Fi (видео) // URL: <https://hi-tech.mail.ru/news/106166-postavlen-rekord-v-dalnosti-peredachi-dannyh-po-wi-fi/?from=swap&swap=2>.





# ЭРКОН

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ

**ПРОИЗВОДСТВО, РАЗРАБОТКА И ПОСТАВКА ПОСТОЯННЫХ РЕЗИСТОРОВ, АТТЕНУАТОРОВ И ЧИП-ИНДУКТИВНОСТЕЙ**

- Современная производственная база
- Высокое качество
- Индивидуальный подход к потребителю
- Изделия по вашему ТЗ

**НОВИНКИ**

Эквиваленты нагрузок ПР1-24 (от 50 Вт-2000 Вт)  
 Атенуаторы ПР1-25 (от 50 Вт - 2000 Вт)  
 ТПИ - тепловые чип-перемычки  
 СВЧ-резисторы Р1-160 (до 40 ГГц)  
 Мощные СВЧ-резисторы Р1-170 (до 1000 Вт)  
 Силовые резисторы Р1-150М (до 1500 В)

603104, Г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д.6.  
 тел. :8 (831) 202 - 24 - 34 (многоканальный)  
 8 (831) 202 - 25 - 52 (отдел продаж)  
 E-mail: gr@erkon-nn.ru  
 www.erkon-nn.ru

Реклама

# Особенности построения сетей IoT на базе протокола LoRaWAN

Алексей Ищенко

В данной статье рассказано о том, какими методами и с помощью каких технических решений при соблюдении всех ограничений протокола LoRaWAN можно обеспечить довольно высокую информационную насыщенность и функциональность на примере реализации разработанного в нашей компании решения «К-СБик» («Компонента – Система Безопасности и Контроля»). В частности, рассмотрены методы снижения загруженности эфира благодаря использованию локальной нейросети и специальной логики обмена данными.

## Введение

Для построения различных информационных систем мониторинга и контроля, объединяющих большое число датчиков, сенсоров и прочих «умных» устройств, в последние годы всё чаще используют вместо привычных и давно освоенных технологий широкополосной передачи данных – таких как Wi-Fi и GPRS/UMTS/LTE – специализированные технологии и протоколы, обеспечивающие выделение телеметрических данных из общего информационного потока. Это позволило не только разгрузить традиционные сети связи общего доступа, но и организовать для передачи телеметрических данных более приспособленную среду. Такое сочетание специализированных протоколов и специализированного оборудования получило название «Интернет вещей».

Нужно заметить, что под «вещами» в данном случае подразумеваются разного рода электронные устройства, предназначенные для сбора в автоматическом режиме, т.е. без участия человека, различных данных, возможно, предварительной их обработки и дальнейшей передачи результата на некий сервер, где уже будет выполняться финальная обработка всех этих данных перед тем, как результат будет представлен человеку. Устройствам такого рода не нуж-

ны ни высокая скорость передачи большого объёма данных, ни постоянное подключение к серверу, ни одинаковые полосы для скачивания и выгрузки, так как чаще всего обмен идёт только в одну сторону: от устройства к серверу. При этом одним из главных требований к таким устройствам является максимальное время автономной работы – до одного года, а лучше несколько лет от одного элемента питания. Этим основным требованием обусловлено несколько дополнительных:

- ограничение на излучаемую мощность, которая не должна быть больше необходимой для работы на текущей дистанции;
- снижение объёма передаваемой информации до минимально возможного;
- снижение скорости передачи данных;
- как можно более редкое вещание в эфире.

Нужно отметить, что на том этапе развития микроэлектроники, когда подобные устройства стали появляться массово, а следовательно, возникла потребность в унификации их характеристик и стандартизации способов взаимодействия между собой, как отдельными фирмами, так и целыми консорциумами, начали разрабатываться и обеспечивающие подобное взаимодействие и учитывающие все требования Интернета вещей специализированные коммуникационные протоколы, которых к настоящему моменту насчитывается уже более десятка. Часть из них были и остаются проприетарными, то есть используются ограниченно, но есть и достаточно большое число открытых протоколов, использовать которые разрешено

всем без какого-либо дополнительного лицензирования.

Обсуждаемый протокол LoRaWAN как раз и разрабатывался с учётом всех требований Интернета вещей, которые перечислены выше, и является одним из нелицензируемых, т.е. бесплатных в использовании, протоколов. По различным оценкам, в некоторых регионах мира до половины всех текущих устройств из Интернета вещей создано именно на базе этого стандарта. Для работы с этим протоколом выпускается очень широкая номенклатура различных ЧИПов, а также доступно бесплатное ПО, обеспечивающее поддержку протокола в мобильных устройствах.

Стандарт содержит целый ряд требований, ограничений и процедур, направленных на снижение времени занятия эфира каждым отдельным устройством в частности и повышения общей эффективности работы всей системы в целом. В частности, этим стандартом предусматриваются ограничения, приведённые в табл. 1.

Приказом от 22 декабря 2023 г. Росстандарт утвердил ГОСТ Р 71168-2023 «Информационные технологии. Интернет вещей. Спецификация LoRaWAN RU». Стандарт начнёт действовать с 1 июля 2024 года. Что это означает? Принятие этого ГОСТ фактически легализует применение устройств, созданных на базе LoRaWAN на территории России, – разумеется, при условии соблюдения производителем локальных российских требований. Иными словами, теперь информационные системы на базе протокола LoRaWAN могут использоваться не только в отдельных коммерческих проектах, но при условии соответствия региональным требованиям протокола LoRaWAN RU могут применяться и в более ответственных проектах, вплоть до государственных.

Но даже для неискущённого в радиотехнике специалиста после ознакомления с вышеизложенными цифрами становится очевидным, что различия между обычным, если так можно выразиться, «Интернетом общего пользования» и Интернетом вещей – разительны. И возникает вопрос: можно

Табл. 1. Некоторые характеристики устройств стандарта LoRaWAN

Скорость передачи данных	от 0,3 до 50 Кбит/с
Объём передаваемых данных	В зависимости от выбранной скорости передачи данных – от 51 до 242 байт
Максимальная излучаемая мощность	Не более 25 мВт
Время нахождения в эфире	< 1%

ли вообще в Интернете вещей использовать что-то более сложное, чем датчики и сенсоры? Можно ли в принципе адаптировать для работы в среде Интернета вещей те, условно говоря, «большие» умные устройства, которые свободно работают через Wi-Fi или Bluetooth, передавая при этом большой объём телеметрических и прочих данных? Говоря в общем, можно ли в принципе реализовать на базе Интернета вещей некую информационно-насыщенную систему, обеспечивающую более высокую информативность, чем примитивные «температура-влажность-освещённость»?

В данной статье мы расскажем, как решали подобные вопросы при реализации одной из разработок нашей компании – системы мониторинга персонала на базе средства индивидуальной защиты (СИЗ) типа «строительная каска» под рабочим наименованием «К-СБиК» (Компонента – Система Безопасности и Контроля).

Краткое описание К-СБиК представляет собой программно-аппаратный комплекс, развёртываемый на территории предприятия заказчика с повышенной опасностью, где действуют



Рис. 1. Структура решения К-СБиК

требования по обязательному использованию СИЗ, в частности, защитных касок (рис. 1).

Комплекс состоит из:

- интегрированных в строительную каску модулей kPoint, обеспечивающих сбор и предварительную обработку телеметрических данных с

различных сенсоров с последующей передачей результатов по радиоканалу Интернета вещей по протоколу LoRaWAN;

- роутеров kHub, представляющих собой базовые станции стандарта LoRaWAN, обеспечивающие обмен информацией между модуля-



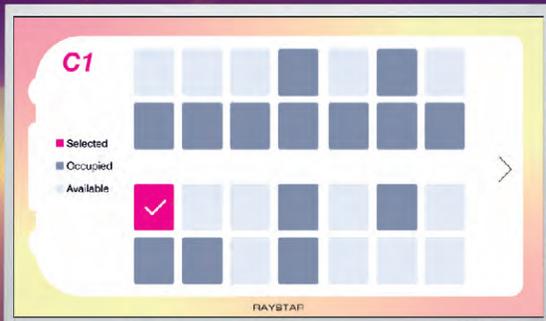
**RAYSTAR**  
OLED Display Provider

**15.6" дюймовый  
IPS TFT ЖК-дисплей  
1920x1080**

С поддержкой eDP-интерфейса

Яркость изображения: **450 нит**  
Партномер: **RFA515600A-1WW-LEN**

**НОВИНКА!**



На правах рекламы



**Komponenta**® АО «Компонента» – официальный дистрибутор Raystar в России

 8 495 150 2 150
 [www.komponenta.ru](http://www.komponenta.ru)
 [info@komponenta.ru](mailto:info@komponenta.ru)

ми kPoint и сервером приложения kFace, а также сбор и передачу на сервер информации о текущем атмосферном состоянии;

- автоматизированной системы управления персоналом (АСУП) – программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего как управление модулями kPoint, так и финальную обработку получаемых от них данных для выдачи её оператору АСУП через интерфейс программы kFace в удобном и лёгком для восприятия виде.

Модуль kPoint позволяет собирать следующие типы информации:

- 1) данные акселерометра/магнитометра, позволяющие получать информацию об уровне активности работника;
- 2) данные с модуля GPS/GLONASS – геоданные и точное время;
- 3) температура внутри модуля kPoint;
- 4) информацию с датчика приближения – надета ли каска на голову;
- 5) состояние и текущий режим работы аккумулятора.

Этот небольшой в целом набор источников данных позволяет тем не менее при соответствующей обработке получать очень обширный объём информации о работнике и делать выводы о его текущем местоположении, характере и уровне его активности, а также отслеживать нарушения трудовой дисциплины: нарушение трудового распорядка, оставление рабочей зоны, снятие каски. Помимо этого, фиксируются и различные чрезвычайные ситуации: удары по каске и падение работника.

### Оптимизация К-СБиК под LoRaWAN

Прежде всего, необходимо отметить, что уже в самом протоколе LoRaWAN заложен целый ряд возможностей для рационального использования эфирного времени.

### Использование поля «Port»

В каждом сообщении протокола LoRaWAN всегда присутствует поле «Port». Это поле может иметь значение от 0 до 255. Исключая так называемые служебные порты, свободными для программирования сообщений остаются более 230 разных значений. Они нужны для того, чтобы можно было сообщения разного формата и с разным содержимым направлять на различные порты. Это чрезвычайно

упрощает декодирование для систем со сложной информационной структурой, такой как у К-СБиК, например. Благодаря разбиению на порты не нужно закладывать в само сообщение какую-то дополнительную информацию о том, какие данные заложены в данное конкретное сообщение и как его нужно декодировать.

### Адаптивная скорость передачи – ADR

Стандартом LoRaWAN также предусмотрена технологическая возможность повышения скорости обмена информацией для случая, когда оконечное устройство находится вблизи базовой станции LoRaWAN, и уровень сигнала более чем достаточен. В этом случае базовая станция может попытаться передать на оконечное устройство команду «перейти на более высокую скорость обмена», что позволит сократить время передачи, т.е. время нахождения в эфире. Единственным условием является поддержка ADR на самом оконечном устройстве.

### Снижение числа сообщений, требующих подтверждения

В стандарте LoRaWAN любое сообщение можно передать с запросом на подтверждение. Подтверждением является ретрансляция этого же самого сообщения приёмной стороной обратно. Сами разработчики стандарта рекомендуют не злоупотреблять запросом на подтверждение и использовать его только в тех случаях, когда это действительно необходимо.

### Дополнительная оптимизация

Перечисленные меры, конечно, способствуют разгрузке эфира от лишних сообщений, но их явно недостаточно. Чтобы реально и значительно сократить время вещания каждого из модулей kPoint внутри системы К-СБиК, потребовалось значительно модернизировать внутреннюю логику работы модуля, добавив в неё большой объём предварительной обработки информации и заложив в систему гораздо больший, если так можно выразиться, «интеллектуальный» потенциал.

Первый шаг в оптимизации работы К-СБиК под стандарт LoRaWAN заключался в разделении всех сообщений на два типа:

1) аварийные сообщения – отправляются немедленно в случае некоего события, требующего чёткой фиксации времени происшествия. Например, снятие работником каски в рабочее время, удар по каске или падение работника, а также технические уведомления типа разряда батареи, внутренней неисправности и т.п.;

2) периодические сообщения – отправляются по определённому расписанию с периодичностью, зависящей от профиля работника и других факторов (об этом подробнее будет рассказано далее). Содержат информацию о текущем уровне активности и данные геолокации.

Также в системе «К-СБиК» существуют служебные сообщения, которыми модуль kPoint обменивается с сервером в самом начале работы, но в рамках данной статьи их можно не рассматривать.

Если с аварийными сообщениями всё очевидно: произошло некое важное событие – направляем уведомление о нём, то с периодическими сообщениями как раз начинается основная работа по оптимизации.

Так как каждая каска выдаётся конкретному работнику, то мы заранее знаем должность этого работника, поэтому можем предположить и характер его деятельности. На текущем этапе в системе К-СБиК используются следующие профили для работников.

- «Рабочий» – подразумевает высокий уровень активности и более строгий контроль за перемещениями по рабочей площадке.
- «Оператор» механизма или транспортного средства – средний уровень активности, вполне может находиться на одном и том же месте весь рабочий день.
- «Руководитель».

Очевидно, что для профиля «Руководитель» не имеет смысла постоянно отслеживать местоположение, при этом он может покинуть рабочую площадку в любое время, а уровень активности у него может резко меняться (сценарий типа «обошёл с проверкой стройплощадку и затем занялся делами в вагончике-бытовке»). Соответственно, для этого профиля передачи геоданных – одни из самых затратных по ресурсам сообщения – можно оставить только для аварийных сообщений, а в периодические сообщения эту информацию даже не включать. Сер-

вер АСУП будет знать, что для данного пользователя редкая передача регулярных сообщений – норма, и не будет выдавать оператору никаких уведомлений.

Схожая ситуация с профилем «Оператор». Такой работник, как правило, находится на своём рабочем месте весь рабочий день, поэтому для него тоже нет необходимости постоянно обновлять геоданные и следить за его уровнем активности. А вот покинуть пределы рабочей зоны он не должен. Поэтому для такого работника тоже можно резко сократить число передаваемых сообщений и увеличить интервал между их отсылкой.

Самая сложная ситуация с профилем «Рабочий». Здесь надо корректно и отслеживать его перемещение по рабочей зоне, и анализировать уровень активности. Причём делать это надо регулярно. Например, если рабочий пропадает большую часть дня в «курилке», с крайне низким уровнем активности, то об этом стоит уведомить его начальника. Как и о факте, что такой рабочий вообще покинул рабочую зону. Но даже и в этом случае есть возможность оптимизировать передаваемые сообщения: если работник нормально активно трудится в одном и том же месте, нет необходимости постоянно передавать одни и те же геоданные; достаточно подтверждать актуальность ранее переданных.

Периодичность принимаемых сообщений от каждого из работников отслеживается АСУП и сверяется с заданным профилем работника. Если пропущено несколько (2 или 3) сеансов связи, то оператор АСУП получает уведомление о том, что модуль kPoint в каске такого-то работника, скорее всего, неисправен, так как с ним давно не было связи, и эту каску предлагается заменить.

Помимо этого, сервер может передать модулю kPoint команду изменить интервал отправки сообщений – увеличить или уменьшить его либо затребовать экстренную отправку каких-либо данных.

Помимо вышеперечисленных механизмов, в самом стандарте LoRaWAN заложен механизм отслеживания так называемого бюджета – времени нахождения устройства в эфире. Если этот бюджет установлен специальной командой от сервера, то после того, как его порог достигнут, дальнейшая пере-

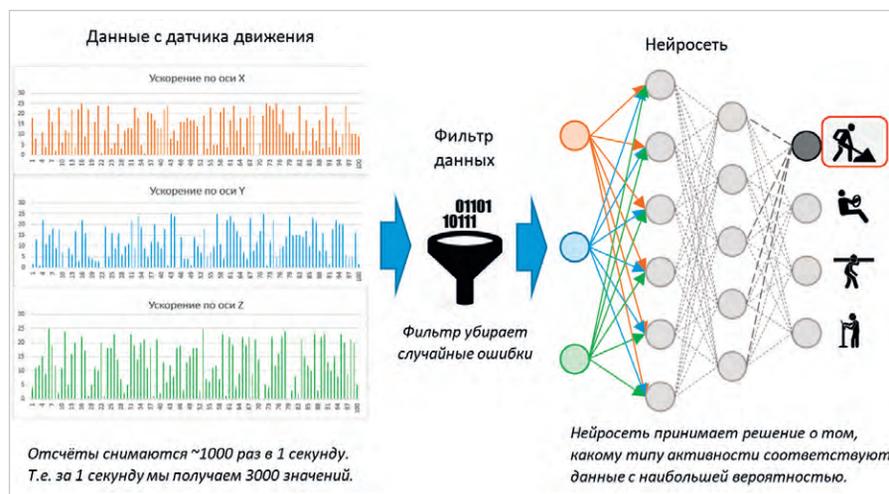


Рис. 2. Принцип обработки данных акселерометра нейросетью

дача информации с оконечного устройства блокируется.

Все эти меры призваны обеспечить соблюдение требований стандарта на ограничение времени нахождения каждого конкретного устройства в эфире, сохранив при этом информационную целостность системы.

### Обработка данных акселерометра

Информация с акселерометра/магнитометра представляет собой практически непрерывный поток данных, собираемых 1000 раз в секунду. Эти данные в любом случае требуют некой предварительной обработки, так как могут быть ещё и сильно зашумлены. Но даже после предварительной фильтрации передавать их непосредственно по такому небыстрому и узкому каналу связи, как LoRaWAN, мало того что технически невозможно, так ещё и бессмысленно.

Поэтому эти данные проходят два этапа статистической обработки: на первом этапе встроенная в модуль нейросеть принимает решение о характере текущей активности работника за ближайшее прошедшее время – до минуты, а затем, уже на основании накопленных данных от нейросети, вычисляется индекс средней активности работника за время, прошедшее с момента последней передачи данных (рис. 2).

Локальная нейросеть представляет собой специфический набор фильтров, обеспечивающий статистическую обработку переданных на его вход данных с выдачей решения в заданном формате. Такой нейросети не нужно какое-либо подключение к публичной сети Интернет, она работает совершенно автономно в составе внутреннего про-

граммного обеспечения модуля kPoint. Предварительная настройка фильтров выполняется на стадии проектирования путём обучения, т.е. при помощи предварительно отобранных и классифицированных данных. В дальнейшем в процессе работы никакое дополнительное обучение данной нейросети не выполняется.

Как уже было упомянуто чуть раньше, на стороне АСУП каждому из профилей работников соответствует некий средний индекс активности. Если у кого-то из работников индекс активности слишком сильно отличается от заданного в профиле, то оператору АСУП выводится соответствующее предупреждение.

Выявление данных об ударе по каске или падении работника происходит ещё на этапе предварительной фильтрации потока данных от акселерометра, до их обработки нейросетью, что обеспечивает высокую оперативность выдачи аварийного сообщения. С учётом задержек в самой сети LoRaWAN и, возможно, низкой скоростью передачи информации в текущем сеансе связи задержка от момента наступления события до появления уведомления на экране может составлять до нескольких секунд.

### Обработка геоданных

Работа с данными со спутников GPS/GLONASS на небольших мобильных устройствах всегда сопряжена с целым рядом трудностей.

1. Сам по себе модуль GPS/GLONASS во время работы потребляет ощутимый объём электроэнергии от батареи. По этой причине держать его постоянно в активном состоянии на устройстве с автономным питанием

нецелесообразно, и большинство современных модулей GPS/GLONASS поддерживают режим работы «по расписанию», когда через заданные интервалы времени модуль сам активируется, обновляет текущие координаты, после чего снова уходит в режим ожидания. Такой режим достаточно экономичен, но требует отслеживания времени, когда были получены последние координаты.

2. Текущие координаты – это числа, состоящие из большого количества цифр. Чтобы полностью передать всю информацию о текущих координатах, требуется не менее 8 байт. Для сообщений LoRaWAN, где буквально «на счету каждый байт», это много. Передавать такое число байт при каждом обновлении данных как минимум неэкономично.

Существенно снизить объём передаваемой информации в тех случаях, когда обмениваться данными о текущих координатах необходимо, можно, применяя различные ухищрения.

Во-первых, можно оттолкнуться от того факта, что территория мониторинга системы К-СБиК весьма ограничена. Даже если нужно развернуть такую систему мониторинга на крупном предприятии, всё равно речь будет идти максимум о нескольких километрах. В этом случае гораздо проще выбрать некую базовую точку и передавать при каждом сеансе связи не полные текущие координаты, а разницу между координатами базовой точки и текущими. В качестве базовой точки может быть выбрано, например, место установки базовой станции kHub.

Как вариант, модуль может принять за базовую точку самые первые координаты, установленные в начале рабочего дня, а дальше уже передавать только разницу между ними и текущими.

Но самым эффективным решением этого вопроса является передача не самих координат, а информации об их актуальности. Имеется в виду, что модуль kPoint в первых сеансах связи передаёт данные о текущих координатах целиком, а затем может только подтверждать их актуальность. С учётом того, что погрешность определения местоположения у гражданских модулей может достигать до 10 метров, а, например, оператор может целый день находиться на одном месте, то смысла передавать каждый раз даже нулевую разницу в координатах нет; гораздо проще передать один байт,

имеющий значение «данные актуальны/данные неактуальны».

### Выход за пределы рабочей зоны

Самовольное оставление рабочей зоны работником в течение рабочего дня является существенным нарушением производственной дисциплины. При этом, если на производственном предприятии, размещённом на охраняемой территории, работнику тяжелее покинуть рабочую зону просто в силу более строгого пропускного режима и надёжной, находящейся под наблюдением оградой, то на объектах строительства территория стройки хотя и должна быть обнесена забором, покинуть её гораздо проще.

Для отслеживания случаев самовольного покидания работником заданной рабочей зоны в К-СБиК предусмотрен алгоритм отслеживания выхода работника за её пределы с соответствующим уведомлением оператора АСУП о факте такого нарушения. Реализован этот алгоритм на базе внутренних возможностей использованного в kPoint модуля GPS/GLONASS: он имеет возможность сравнивать полученные текущие координаты с заранее заданными границами; если текущие координаты находятся вне заданных границ, модуль формирует соответствующее сообщение, которое пересылается на сервер АСУП в формате аварийного (срочного) сообщения.

Самым сложным в этой задаче является передача нескольких координат, обозначающих периметр рабочей зоны, от сервера АСУП на устройство kPoint для соответствующей настройки модуля GPS/GLONASS. Модуль может одновременно анализировать до 8 отдельных таких зон, перекрывающих друг друга или нет. Таким образом, это может быть объём информации вплоть до 256 байт – 8 байт на каждую точку × 4 точки у одной зоны × 8 зон. Для сети LoRaWAN это очень большой объём. Причём крайне важно удостовериться, что все эти данные были полностью приняты kPoint – об этом может свидетельствовать возвращаемая на АСУП контрольная хэш-сумма полученных координат. Первоначально координаты передаются в kPoint сразу после её инициализации и подготовке к работе. Сохраняются эти координаты в энергонезависимой памяти центрально-

го процессора kPoint. Всё остальное время между модулем kPoint и сервером АСУП сверяется только хэш.

Если понадобится изменить координаты рабочей зоны – сделать это лучше всего в нерабочее время, когда каска находится на зарядке в техническом помещении рядом с базовой станцией. В этом случае контроллером LoRaWAN сети будет выбрана максимальная скорость передачи, и передача столь большого объёма данных займёт минимальное время.

### Синхронизация времени

Одной из важнейших задач kPoint является фиксация точного времени произошедшего события. Так как передача сообщений через сеть LoRaWAN осуществляется не мгновенно, а занимает несколько секунд, а в случаях, если передача сообщения с подтверждением с первого раза не удалась, и попытки передачи будут повторяться снова и снова, – время, прошедшее между самим событием и получением сообщения об этом будет значительно больше. В связи с этим возникает необходимость к каждому сообщению, содержащему важную информацию о некоем важном событии, прикладывать так называемый «штамп времени» – TimeStamp. Особенно важной фиксация времени будет для событий из разряда чрезвычайного происшествия: «удар», «падение», «снятие каски» и т.п.

Возникает вопрос: а как синхронизировать точное время между сервером АСУП и модулем kPoint? В микроконтроллере, использованном в качестве центрального процессора, присутствует блок «Часы реального времени» – RTC, позволяющий сохранять и отсчитывать точное время, но как внести в него значение времени в самом начале работы?

В стандарте LoRaWAN RU, как и в исходном международном стандарте, присутствуют специальные команды для синхронизации времени, но предлагаемый алгоритм синхронизации времени является недостаточно гибким: нужно либо синхронизировать время специальной командой от сервера, причём устройство само должно изначально запросить эту команду, либо устройство должно использовать время от модуля GPS/GLONASS, но в этом случае оно не должно запрашивать время от сервера приложений.

В К-СБиК использован более гибкий алгоритм синхронизации времени. Для управления процессом синхронизации используется специальный индикатор: «Статус синхронизации времени».

При начальном запуске модуля kPoint в работу этот статус имеет значение «Время не установлено» – этот статус наряду с другой служебной информацией о состоянии kPoint передаётся на сервер АСУП в начале работы.

Как только сервер АСУП получает такой статус от устройства, он в ответ направляет сообщение, содержащее время, установленное на сервере. После получения такого сообщения и установки RTC в соответствии с полученными данными kPoint устанавливает статус синхронизации времени «Время достоверно», то есть некое время от сервера получено, но из-за задержек в сети LoRaWAN оно имеет большую погрешность установки и требует дальнейшей синхронизации с более точным источником.

Более точным источником «на борту» kPoint является модуль GPS/GLONASS, но придётся ожидать момента первого получения текущих координат. Только тогда, когда текущие координаты будут получены со спутников, этот модуль сможет выдать в RTC реальное точное время. После получения данных о текущем времени от модуля GPS/GLONASS статус синхронизации времени устанавливается в состояние «Синхронизировано».

В дальнейшем не менее одного раза в сутки kPoint снова выполняет синхронизацию времени по данным от модуля GPS/GLONASS. Значение статуса синхронизации времени при этом не меняется.

Также на сервере АСУП предусмотрен механизм для случая, если сам сервер обнаруживает, что получаемые таймстампы от модуля kPoint слишком отличаются от текущего серверного времени – на час и более. Такая ситуация может возникнуть в случае перезаписи информации в RTC некорректными данными. В этом случае сервер также направляет устройству сообщение, содержащее текущее серверное время, после чего само устройство уже должно выполнить синхронизацию времени по данным GPS/GLONASS заново.

## Заключение

Подводя итог всему вышесказанному, можно с уверенностью утверждать, что хотя сам по себе Интернет вещей и предназначен для обмена очень короткими сообщениями с малой скоростью, это ещё не означает, что на подобных протоколах нельзя строить информационно-насыщенные системы с широким спектром возможностей. Об этом свидетельствует решение «К-СБиК» нашей компании, по которому уже успешно завершены стадии макетирования и прототипирования, собран и запущен демонстрационный стенд, на котором проводятся отладочные испытания прототипов модулей касок и всей системы в целом. Этап проверки принципиальной реализуемости и доступных функциональных возможностей давно и успешно завершён, и теперь ведутся работы по подготовке решения к выходу на рынок.

При этом нельзя утверждать, что проект «К-СБиК» уникален и не имеет конкурентов. Подобные решение класса «Умная каска» на рынке уже представлены, но мы абсолютно уверены,

что наш проект значительно превосходит их, прежде всего, в плане заложенных в него информационных возможностей: помимо передачи ситуативных данных с уровнем активности и аварийных состояний передаются и обрабатываются данные геолокации с привязкой к рабочей зоне и уведомлениями о выходе за её пределы. При этом вся беспроводная сетевая инфраструктура строится исключительно в рамках отечественного стандарта LoRaWAN RU.

Нельзя не отметить и тот факт, что в проекте «К-СБиК» заложены очень широкие возможности по адаптации под нужды заказчика. Например, в модуль kPoint, являющийся «мозговым центром» «Умной каски», легко может быть добавлен датчик превышения предельной концентрации какого-либо газа.

А если говорить в общем, то модульность, заложенная в проект «К-СБиК», является продолжением общей концепции системы kSense – масштабируемой и адаптируемой под каждую конкретную задачу, работа над которой идёт в компании уже много лет. Гибкость kSense вкупе с возможностями Интернета вещей позволяет реализовывать самые разнообразные информационные проекты в тех, ранее не охваченных автоматизацией, областях, в которых ещё недавно автоматизация и телеметрия были просто немыслимы: животноводство, аграрный сектор, транспортно-логистический и т.п.

Проект «К-СБиК» убедительно доказывает, что популярный протокол LoRaWAN, имеющий теперь статус российского отраслевого стандарта, вполне пригоден для построения самых разнообразных информационных систем. ©

## НОВОСТИ МИРА

### Huawei налаживает производство чипсетов по 5-нм SMIC-технологии

Руководство компании Huawei объявило о выпуске нового процессора, характеристики которого позволяют сделать вывод об использовании инновационной 5-нм технологии SMIC. Скорее всего, речь идёт о флагманском чипе Kirin 9010, на основе которого будут собираться премиальные смартфоны P70. Их официальный запуск в серийное производство ожидается в ближайшие недели.

Новая разработка – результат активного сотрудничества Huawei с местным электронным гигантом SMIC. Прежде партнё-

рам уже удалось удивить мировую общественность процессором Kirin 9000s, выпущенным по 7-нм процессу и используемым в серии Mate 60.

Контракты, заключаемые руководством Huawei, явно указывают на то, что компания планирует активно продолжать работу по модернизации процессоров, выпуску чипов, соответствующих наиболее строгим мировым требованиям, производительных, мощных, энергоэффективных. Ведётся эта работа вопреки санкциям со стороны США, год от года становящимся всё более жёсткими. Например, недавно был подписан договор с компанией SiCarrier, специализирующейся



на выпуске полупроводников. Партнёрство поможет отработать и протестировать технологию SAQP, очень перспективную в области выпуска технологических чипов.

[acomsupply.com](http://acomsupply.com)

# Электронные датчики и радары в системе беспроводной связи OTA, LOR и E-peas

Андрей Кашкаров

В будущем разработчиков РЭА ожидает эра «одноразовых» устройств: «установил и забыл» – надёжные, устойчивые к внешним воздействиям среды, но не предназначенные для ремонта. Одна из важных решаемых задач – сочетание сбора энергии из среды, её преобразование в электрическую и применение датчиков и микроконтроллеров с крайне низким энергопотреблением. В сочетании с технологиями E-peas (Electronic portable energy autonomous systems – автономные портативные электронные системы), LOR (с низким энергопотреблением) и решениями NXP возникают перспективы датчиков положения, давления и измерения сопутствующих величин от OEM-производителей. С аппаратными настройками и масштабируемостью производительности РЭА в формате процессоров S32R с исключением ошибок в передаче данных аналогового и смешанного сигнала беспроводным способом на небольшие расстояния. В статье представлены примеры системных решений для организации и управления питанием датчиков РЭА, задействованных в беспроводной передаче данных, сетевых технологиях и транспортной технике с беспроводной сетью OTA (Over-the-air – по воздуху).

## Направления разработки датчиков для беспроводной сети и радаров

В сфере применения систем «без источника питания» традиционно выделяются промышленность и устройства с движущимися элементами, насыщенные РЭА. В управлении такими устройствами совершенствуется радиочастотная передача данных в условиях крайне низкого энергопотребления датчиков с передающим СВЧ-радиокаскадом и электронных контроллеров. При этом технологии для современных транспортных средств быстро развиваются: дальность связи, разрешение и защищённость потокового канала постоянно совершенствуются; особенно это заметно в сегменте РЭА с электронными радарными. Для надёжной и устойчивой взаимосвязи между электронным датчиком и контроллером применяют в том числе систему чипов Radar One и др. Особенность в организации питания: оно обеспечивается сбором энергии доступной среды – без применения источников питания. Доступная среда – любая, её свойства с помощью преобразователя энергии воды, ветра, солнца, любого механического движения (вращения) и даже выделения потовых желёз чело-

века преобразовывается в источник энергии сверхмалой мощности. Таково одно из перспективных направлений разработчиков современной РЭА и одновременно конкурентная среда – соревнование между инженерами во всем мире. Безбатарейный источник питания значительно повышает надёжность РЭА, удешевляет конструкцию без потери её качества и надёжности – по принципу «меньше элементов – больше надёжность наработки до отказа». Такие датчики являются неразборными и неремонтнопригодными, при этом рассчитаны на стабильную работу в течение 30–50 лет.

Второе направление инженерной мысли при разработке и эксплуатации электронных систем без традиционных элементов питания, но с передачей данных на расстояние – в дифференциации потоковых данных от датчиков. Датчики разного назначения характеризуются различными свойствами и характеристиками: в одном корпусе могут располагаться несколько чувствительных сенсоров для измерения свойств среды. Поэтому разработчики учитывают частотный диапазон передачи данных, выделенный канал для обеспечения надёжности системы в условиях, когда рядом

задействованы сотни и тысячи систем того же принципа действия.

Интегрированная система электронного радара предназначена для потоковой передачи низкоуровневых данных радиолокационных датчиков со скоростью до 1 Гбит/с, что приближает её к новейшим разработкам для спутниковых архитектур. Это помогает автопроизводителям оптимизировать разбиение ADAS (advanced driver-assistance systems – система помощи водителю) следующего поколения для программно-определяемых автомобилей, обеспечивая при этом плавный переход к новым архитектурам. Это позволяет OEM-производителям внедрять новые программно-определяемые функции в течение всего срока службы автомобиля посредством обновлений по беспроводной сети OTA. Это означает, что обновления прошивки и ПО передаются по беспроводной сети с использованием различных стандартов и протоколов связи, включая сотовую радиосвязь и WLAN, а также по Bluetooth и NFC1 непосредственно на зарядных станциях или автозаправках.

Рассмотрим систему беспроводной связи OTA для электро- и автомобилей на примере электронных датчиков давления воздуха в шинах. Аналогично взаимодействуют посредством беспроводной связи датчики выхлопных газов, наклона, клиренса и др. Все они иллюстрируют взаимодействие электронных устройства в транспортной сфере со многими участниками дорожного движения, находящимися в непосредственной близости друг от друга. К примеру, быстро движущийся мотоцикл рядом с легковыми и грузовыми автомобилями на оживлённой многополосной, в том числе загородной и скоростной автомагистрали. На транспортном средстве установлены современные датчики скорости вращения колеса, уровня топлива, давления шин, кондиционеров (очистителя воздуха) и контроля других сред, обеспечивающие беспроводную передачу данных на электронный контроллер-анализатор согласно принципу взаи-



Рис. 1. Датчик уровня давления воздуха в колесе бескамерного исполнения автомобиля Субару

модействия элементов беспроводной сети ОТА. При этом датчик герметичный, неразборный, не имеет элемента питания. На рис. 1 представлен датчик образца 2006 года модели TPMS 28103-F1000 контроля давления воздуха в колесе бескамерного типа автомобиля Субару Трибека В9 и аналогичных.

Для разных моделей семейства Subaru имеются датчики своей модели, к примеру, WX SE10003, аналогичные по принципу работы. Такой электронный датчик без элемента питания устанавливается с внутренней стороны диска колеса, его «выход» через отверстие в диске направляется наружу, и тем самым выполняет одновременно три функции: подкачка колеса воздухом, замер давления воздуха в колесе бескамерного типа, передача аналоговых данных беспроводным способом с помощью маломощного электронного передатчика радиоволн на электронный контроллер всех систем автомобиля. Такой датчик, по сути, является измерительным преобразователем с функцией радиопередатчика сверхмалой мощности в СВЧ-диапазоне. На рис. 2 представлен современный датчик давления воздуха модели CCLGA-7L, адаптированный для бытовых нужд. В ILPS28QSW встроена функция распознавания аналогового концентратора для подключения аналогового входа и преобразования в цифровой сигнал. Кроме того, датчик с внешними электродами может использоваться для обнаружения утечки воды [3].

Третье направление перспектив в разработке и производстве радиолокационных датчиков – в уменьшении форм-фактора изделий без потери их надёжности. Современный компактный форм-фактор модуля радиолокационных датчиков примерно на 30% меньше датчиков, разработанных ранее. Так эффективнее реализуется потенциал безопасности электрон-

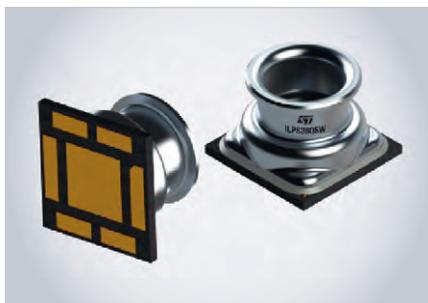


Рис. 2. Современный датчик давления воздуха модели CCLGA-7L/ILPS28QSW

ных систем беспроводной передачи данных (радаров) в электромобилях и автомобилях для повышения безопасности водителя и пассажиров, а в целом – надёжности конструкции транспортного средства [8]. Условным «минусом» таких датчиков является механическая ненадёжность корпуса. Если крышка-«гайка» из-за длительного неиспользования подкачки «прикипает» к выводу датчика (рис. 1), то срывается с резьбы, и подлежит замене вся конструкция.

Благодаря накопленной в движении (от вращения колеса) и затем аккумулярованной ионистором электроэнергии с учётом крайне малого энергопотребления датчик обеспечивает обмен данными с контроллером, даже если транспортное средство законсервировано (не ездит) в течение нескольких лет. Этот электронный датчик с модулем беспроводной связи и «безбатарейным» источником питания (рис. 1) для измерения в постоянном режиме давления воздуха в колесе бескамерного типа и жёстко монтируется на диске колеса (рис. 3).

Для сравнения на рис. 4 представлен вид обычного переходника для подкачки колёс – без электронной начинки.

Эти иллюстрации позволяют отличить авто- и электромобили с контроллером давления воздуха в колёсах – как элемента системы автоматического контроля, сигнализации и безопасности транспортного средства.

### Взаимодействие радара и датчика

Датчик получает (преобразует) энергию от поступательного вращения колеса и аккумулирует её благодаря внутреннему накопителю энергии – ионистору. Принцип действия ионистора подробно рассмотрен в том числе в [2]. Электронный контроллер принимает аналоговые данные с колёс транспортного средства (с установлен-



Рис. 3. Смонтированный на диске колеса электронный датчик с модулем беспроводной связи и «безбатарейным» источником питания

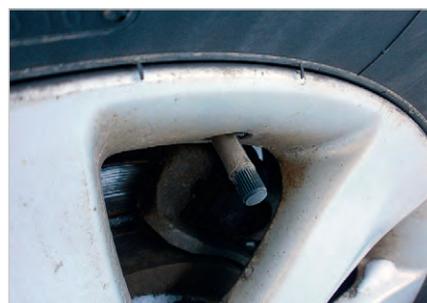


Рис. 4. Вид обычного переходника-ниппеля для накачки колёс

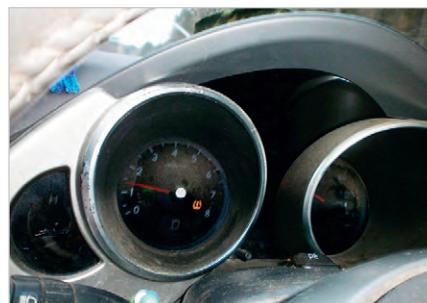


Рис. 5. Вид активного светового сигнала неравномерного давления воздуха в колёсах

ными датчиками радарного типа), преобразует сигнал в цифровой вид, и тем самым обеспечивается контроль равномерного давления воздуха в шинах (колёсах транспортного средства), что является залогом комфортного движения по дороге и безопасности водителя и пассажиров. Если давление в одном или нескольких колёсах отличается более чем на 2% от других колёс, электронный контроллер вырабатывает для водителя сигнал предупреждения, выводимый на переднюю панель контроля параметров. Этот активный индикатор на табло электронного контроля автомобиля Субару представлен на рис. 5.

Таким образом, водитель своевременно, ещё до фактического ощущения детонации при движении транспорт-

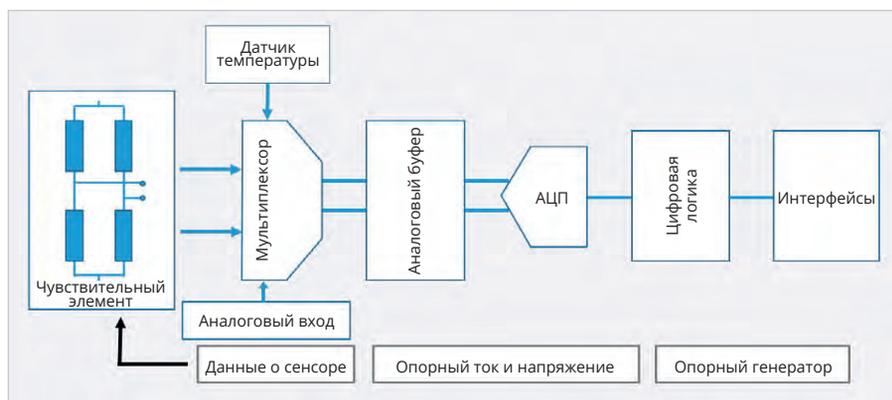


Рис. 6. Блок-схема элементов датчика давления модели ILPS28QSW

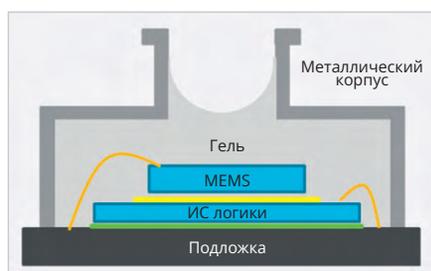


Рис. 7. Иллюстрация внутренней структуры датчика

ного средства, получает информацию о том, что одно (или несколько) колёс повреждено и имеет утечку воздуха или нуждается в подкачке воздуха до равномерного уровня давления во всех колёсах. Данное электронное устройство радарного типа также имеется в транспортных средствах с восьмью и более колёсами – спецтехнике и военных машинах типа БТР-80АК или аналогичных по назначению. В этом практическом примере электронная система не только сигнализирует о недостаточном давлении воздуха в колёсах, но и в автоматическом режиме включает подкачку от внутреннего компрессора – нагнетателя воздуха, ибо в специальных условиях нет времени и возможности на замену колеса, а движение специального транспортного средства необходимо обеспечить для выполнения профильных задач.

### Водонепроницаемый датчик давления MEMS

Водонепроницаемый датчик давления MEMS модели ILPS28QSW компании ST относится к типу электромеханических датчиков давления и имеет гарантированный срок службы 10 лет (рис. 2). Это устройство обеспечивает измерение в двух границах – 1260 гПа и 4060 гПа и реализовано в герметичном цилиндрическом водонепроницаемом корпусе для поверхностного монтажа.

Датчик ILPS28QSW обеспечивает показания абсолютного давления с точностью до 0,5 гПа в диапазоне рабочих температур от  $-40$  до  $+105^{\circ}\text{C}$ . Подходит для электронных приборов учёта газа и воды, мониторинга погоды, кондиционирования воздуха и бытовой техники. Фиксируется с помощью керамической подложки и заливочного геля. Блок-схема элементов датчика давления модели ILPS28QSW представлена на рис. 6.

Корпус имеет степень защиты IP58 и выдерживает погружение в воду на глубину более 1 метра, сертифицирован в соответствии с IEC 60529 и ISO 20653. Кроме того, датчик выдерживает избыточное давление до 10 бар. Модель ILPS28QSW даёт разработчикам РЭА дополнительные преимущества для создания устройств обнаружения утечек жидкости. При рабочем токе всего 1,7 мкА устройство имеет элемент температурной компенсации, память FIFO и цифровой интерфейс связи I<sup>2</sup>C/MIPI-I3C с возможностью выбора скорости выходных данных от 1 Гц до 200 Гц [3]. На рис. 7 представлена внутренняя структура датчика.

### Современные архитектуры транспортных средств

Современная система электронного радарного контроля позволяет решать значительно больший объём задач безопасности ТС, чем описано применительно к беспроводному датчику. Автоматическая система настройки радарной системы не только обеспечивает корректную и безопасную парковку в ситуациях, когда свободное место ограничено и существует много механических препятствий вокруг, но и реально позволяет избежать столкновения с быстро движущимися и меняющими траекторию животными – на трассах и шоссе вне городской застройки. Благодаря

системе контроля по направлениям 360° электронный радар определяет и отслеживает крупное животное на расстоянии до 1000 метров, даже если оно движется в поле, а не на трассе [6]. При сближении животного с движущимся транспортным средством на информационном табло для водителя формируется световой и звуковой сигнал «тревоги». Такие параметры электронного радара, как условия обнаружения, форма животного (препятствия), скорость перемещения и в целом чувствительность устройства для подачи сигнала предупреждения, являются настраиваемыми. Но есть и автоматический режим для ситуаций «город» и «трасса».

Одним из способов, которым разработчики автомобильных систем решают проблему внедрения функций ADAS, является пересмотр структуры и интеграции архитектур электрических и электронных систем. Типичной архитектурой является Edge architecture, состоящая из радарных датчиков, передающих обработанные данные через локальную сеть контроллера или интерфейс Ethernet 100 Мбайт на электронный блок управления ADAS (ECU). Датчики рассчитаны на высокую производительность и состоят из процессора и часто специализированного ускорителя для выполнения быстрого преобразования Фурье (БПФ) по дальности, доплеровскому эффекту и углу, а также имеют встроенные высокоуровневые алгоритмы обнаружения, классификации и отслеживания объектов. Окончательные данные об объекте с каждого датчика радара Edge затем отправляются в блок управления ADAS ECU. На рис. 8 показана архитектура Edge – иллюстрация зон контроля с помощью электронной радарной системы автомобиля.

Централизованная обработка сигналов открывает новые возможности для радаров с высоким разрешением и защищёнными каналами передачи данных. По этому пути следует китайский автопроизводитель SAIC. А в 2022 году производство автомобильных радиолокационных приёмопередатчиков начато в компании Renesas.

### Электронные радары системы SAF85xx и не только

SAF85xx сочетает в себе радиолокационный интерфейс и многоядерный процессор для обработки сигналов на

одном кристалле, обеспечивая на 40% бóльшую вычислительную производительность, чем в моделях-предшественниках. Увеличенная не менее чем в 2 раза радиочастотная производительность является результатом передовой технологии RFCMOS от NXP. С таким РЭА решена задача радиолокационного зондирования свойств окружающей среды в диапазоне 360°, что, в отличие от широко используемых сегодня радиолокационных систем, позволяет идентифицировать объекты, расположенные над уровнем улицы (дороги). Разработчики продолжают совершенствование чипа для полной замены лидарных систем контроля параметров – в направлении улучшения точности передачи данных (разрешения датчиков).

Устройство разработано с использованием технологии Launch-on-packaging (LOP), запатентованной фирмой TI. Технология обеспечивает прямую передачу сигнала от излучающего элемента к 3D-антенне через волновод внутри печатной платы (PCB). Компания TI разработала датчик AWR2544 формата Radar-on-chip (ROC), оснащённый встроенным при-

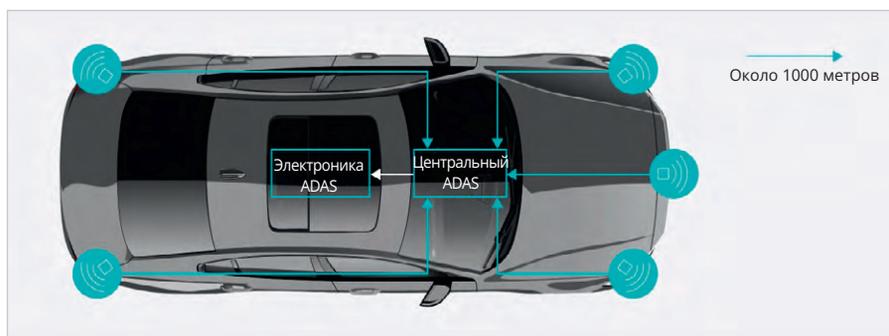


Рис. 8. Иллюстрация действия электронной радарной системы Edge

ёмопередатчиком с частотой 77 ГГц с четырьмя передатчиками и четырьмя приёмниками, обеспечивающими увеличенную дальность обнаружения и лучшую производительность. Он отличается оптимизированным ускорителем обработки сигналов радаров и увеличенной пропускной способностью канала передачи данных благодаря интерфейсу Ethernet со скоростью 1 Гбит/с для генерации и потоковой передачи данных, сжатых в формате RangeFFT. Устройство сертифицировано и отвечает требованиям автомобильной безопасности.

Новый формат SAF86xx имеет общую архитектуру с SAF85xx, но базируется

на 28-нм RFCMOS-технологии, что значительно улучшает возможности датчиков по сравнению с предыдущими 40-нм и 45-нм устройствами. Это позволяет расширить дальность обнаружения до более чем 300 м и более надёжно обнаруживать небольшие объекты – бордюрные камни, уязвимых участников дорожного движения, включая небольших животных, велосипедистов и детей. Как и радар TI, SAF86xx разработан в соответствии с методологией элемента безопасности вне контекста ISO 26262 (SEooC), поддерживающей уровень ASIL. В соответствии со стандартом ISO/SAE 21434 (как компонент) и механизмом безопасности

## ИНВЕРТОРЫ «ММП-ИРБИС»

### ИНК2500-1С-1U ТУ6589-077-40059437-06

**Выходная мощность 2500 Вт/3200 ВА**

Инверторы ИНК2500-1С дополняют сеть оперативного постоянного тока (СОПТ) на электрических подстанциях сетью переменного тока.

Позволяют обеспечить бесперебойным питанием нагрузку до 15 кВт на фазу



Все характеристики серии



30 ЛЕТ  
ММП-ИРБИС

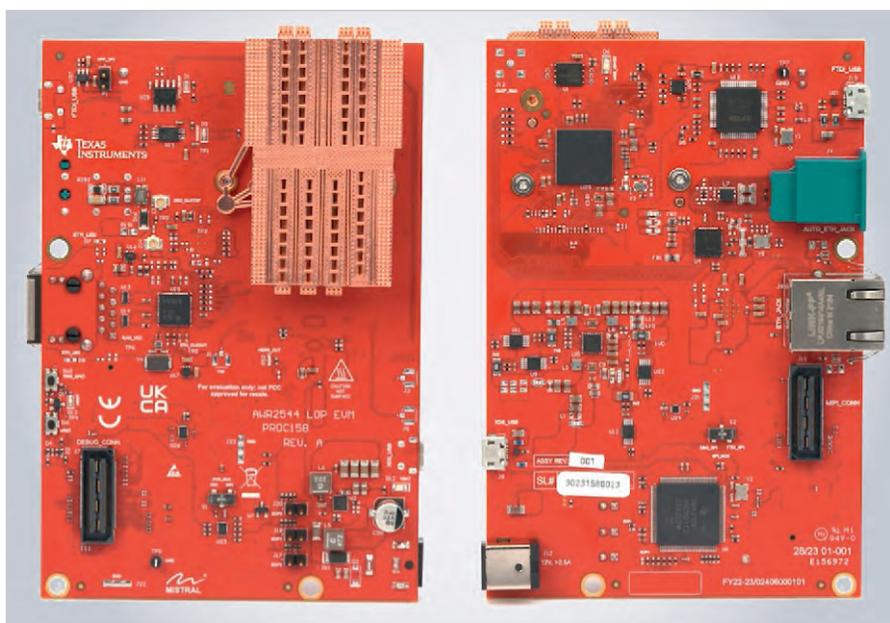


Рис. 9. Модуль электронного радара AWR2544LOP

HSE. Один чип поддерживает функции безопасности NCAP, включая экстренное торможение и обнаружение слепых зон, расширенные приложения ADAS и автономного вождения, включая расширенные функции комфорта для уровней SAE2+ и SAE3, такие как помощь в пробках, помощь при движении по шоссе и помощь при парковке, оповещения о перекрестном движении спереди и сзади, а также предотвращение боковых и задних столкновений [1, 5]. Кроме того, сетевая архитектура подключённых радиолокационных датчиков с программно-определяемыми функциями на выделенном радарном процессоре S32R в распределённой архитектуре позволяет улучшить режим «автопилот».

На рис. 9 показан элемент системы SAF86xx – модуль оценки рисков AWR2544LOP с трёхмерной волноводной антенной.

AWR2544 – это экономически оптимизированный радар с входным радарным чипом 77 ГГц, подключённым через волновод ко второму чипу с процессором ARM Cortex-R52. Во внешней части используется прямая передача сигнала через волновод на печатной плате для повышения точности и минимизации шума, которую TI называет технологией запуска (LOP). Технология LOP помогает уменьшить размер датчика на целых 30% за счёт установки трёхмерной волноводной антенны на противоположной стороне печатной платы. Чип процессора в корпусе имеет интерфейс 1G Ethernet для сжатых данных БПФ, что

позволяет большему количеству радиолокационных датчиков вокруг транспортного средства передавать данные в центральный процессор, а пакет сертифицирован по стандарту ASIL-B.

Радарный датчик с частотой 76–81 ГГц можно использовать для фронтальных радиолокационных систем с дополнительным процессором TI TDA4 Jacinto или грядущего поколения TDA5 и чипом управления с высокой мощностью, обеспечивающим дальность действия до 1000 м. Его можно использовать для спутникового радиолокационного зондирования без дополнительной обработки, причём с меньшей себестоимостью. Контроллер электронных радаров PMIC рассчитан на взаимодействие сразу с несколькими датчиками.

### Особенности современных электронных радаров

Другой монолитный 28-нм радарный чип RFCMOS от NXP Semiconductors (штаб-квартира в Голландии), выпущенный недавно, даёт перспективу развития и совершенствования беспилотных электромобилей формата L4. Речь идёт о модуле SAF86xx, который объединяет четыре радиолокационных приёмопередатчика и приёмника, многоядерный радарный процессор со встроенным аппаратным ускорителем и модуль MACsec для безопасной передачи данных через автомобильный интерфейс Gigabit Ethernet. Под аппаратным обеспечением подразумевают АЦП, фазовращатель, ГУН с низким фазовым шумом, BBE32EP DSP,

ядро ARM Cortex M7 и SRAM для поддержки различных вариантов использования в автомобильных приложениях ближнего, среднего и дальнего действия. Предварительно обработанные данные посредством модуляции и сжатия в формате Range-FFT, через Gigabit Ethernet моментально, в режиме реального времени с периодичностью 2,5 мс поступают на электронный контроллер – блок постобработки, реализованный на сетевом процессоре NXP S32 для программно-определяемых транспортных средств.

Представленная электронная система на основе радара имеет перспективное значение для автономного вождения в режиме «автопилот» и беспилотных транспортных средств, поскольку электронный чип, изготовленный по новейшей технологии с плотностью 28 нм, основанный на платформе S32R, представленной NXP, содержит по четыре передатчика и приёмника, задействованных в частотном канале 77 ГГц каждый. Благодаря такому функционалу устройство даёт разработчикам возможность реализовывать приложения по безопасности управления транспортом ADAS, такие как автоматическое аварийное торможение и обнаружение слепых зон.

Запатентованный принцип работы подобных устройств апробирован в автомобильной электронной промышленности ещё в первые годы XXI века, а в настоящее время усовершенствован и востребован. Поставщики РЭА для автомобилей, такие как фирма Denso, Hella и мн. др., имеют длительные контракты с компанией NXP. Производители транспортных средств только выигрывают от введения в конструкцию ТС нескольких десятков электронных радиолокационных датчиков, от повышения автоматизации контроля ТС в движении, в том числе на трассах с неровным покрытием, с опасностью крена, на условно больших скоростях. Поэтому рассматриваемая система электронной радиолокации для ТС типа SAF85xx создана для удовлетворения постоянно растущих требований безопасности NCAP и реагирования на вызовы времени. В ближайшем будущем количество электронных датчиков в расчёте на одно транспортное средство вырастет до нескольких десятков. Почему электронные радары работают на сверхвысоких частотах до 79 ГГц? В диапазоне примерно 55–65 ГГц наблюдается полоса сильного поглощения



Рис. 10. Датчик выхлопных газов

из-за насыщенности атмосферы кислородом и др. газами. Эта область почти непригодна для устойчивой радиосвязи и использования. Пиковое значение ослабления сигнала в означенной области составляет около 15 дБ/км. Однако в диапазоне 24–79 ГГц (исключая участок означенной области) электронные радары вполне можно применять, если частоты (оборудование, РЭА) соответственно стандартизировать в соответствии с правилами ETSI и FCC – международного союза электросвязи.

Из других сфер применения можно привести примеры организации на основе линейки дискретных транзисторов GaN на SiC, LDMOS и SiGe, микросхем и многокристалльных модулей радиоча-

стотной инфраструктуры связи 5G, удалённой радиоголовки Macro, дискретных решений Airfast и даже активных антенных систем. Комплексные решения для разных архитектур в диапазонах частот ниже 6 ГГц с поддержкой стандартов сотовой связи. А также многочиповые микросхемы, LNA и дискретные решения mMIMO для радиомодулей мощностью от 5 до 10 Вт и макродрайверов.

### Микроконтроллер сверхмалого энергопотребления для сбора энергии

В процессах управления ТС, когда речь идёт о РЭА сверхмалой мощности, и даже в системах IoT совершенствует-



Рис. 11. Двойной индуктивный роторный датчик углового положения с детекторным интерфейсом модели NCS32100XMNTXG

ся радиочастотная передача данных в условиях крайне низкого энергопотребления. Бельгийская компания E-peas Semiconductor разработала микроконтроллер сверхмалого энергопотребления для системы наблюдения без батарей [4, 7]. Микроконтроллер ARM Cortex-M0 с частотой 24 МГц благодаря высокоэффективному встроенным индуктив-



IF/RF & Microwave Design  
**advantex**

WWW.ADVANTEX.RU

**РАЗРАБОТАНО  
И ПРОИЗВЕДЕНО  
В РОССИИ**



**ШИРОКОПОЛОСНЫЕ  
СИНТЕЗАТОРЫ ЧАСТОТ**  
с непрерывным шагом до 21 ГГц  
и контрольно-измерительные приборы

ЭЛЕКТРОННЫЙ  
КАТАЛОГ



Реклама

+7(495) 721-4774 • info@advantex.ru  
Москва, ул. Красноказарменная, д.13, стр. 1

ным понижающим преобразователям (ИПП) и LDO-преобразователям для повышения стабильности питания потребляет ток 18 мкА при частоте 1 МГц в активном режиме. Также имеется режим ожидания с крайне низким потреблением – ток в цепи до 340 нА обеспечивает работу в реальном времени с сохранением в банке памяти SRAM объёмом 8 кбайт. Стробирование и масштабирование тактового сигнала обеспечено с помощью периферийных и RC-генераторов на частотах 32,768 кГц, 1 МГц и 24 МГц с кварцевыми драйверами от 32,768 кГц до 32 МГц. При этом чип имеет 256 Кбайт энергонезависимой одноканальной флеш-памяти с кэшем инструкций и 32 Кбайт памяти SRAM (кроме базовой). 8-канальный контроллер DMA поддерживает передачу данных без участия ядра, а периферийная сигнализация поддерживает периферийную связь для дальнейшего снижения энергопотребления. Имеется 12-разрядный АЦП с 8 каналами, до 500 тыс. выборок в секунду, 8-битный FIFO, режим LP для низкой частоты дискретизации и низкого энергопотребления, а также аналоговый компаратор. В устройстве задействованы элементы PMIC управления с питанием e-peas AEM10941 специально для солнечных элементов и PMIC AEM30940 для сбора энергии на основе приёма волн из радиоэфира. Устройство имеет новую конструкцию антенны, которая и питает энергией 32-битный микроконтроллер EDMS105N, позиционирующийся с самой низкой из известных активной мощностью. Он также позиционируется как универсальное средство для ключевых компонентов ИС, необходимых элементов систем с чрезвычайно низким энергопотреблением. Имеется четыре 32-битных многофункциональных таймера с двумя каналами сравнения/захвата, часы реального времени с календарём и счётчиками миллисекунд, а также 32-битный сторожевой таймер, 128-битный модуль AES с поддержкой режимов ECB, CBC и CTR, а также аппаратный TRNG (True Random Number Generator) на основе дрейфа тактового сигнала [7].

### Увеличение расстояния управления АЕМ

Интегрированные вместе с радиочастотными устройствами управления энергией окружающей среды (АЕМ) системы АЕМ30940, АЕМ30330 или АЕМ30300 благодаря особой конструкции антенны преобразуют в электрический ток для внутреннего безбатарей-

ного источника питания радиоволны на расстоянии до 17 метров – при использовании источника радиоволн мощностью 1 Вт. Максимальная дальность от передатчика радиоволн испытана на расстоянии 31 метр при использовании источника радиоволн мощностью 3 Вт. Приёмник является всенаправленным, не зависит от ориентации к источнику радиоволн. Антенна для сбора радиочастотной энергии, разработанная совместно с Ignion в Испании, в 10 раз меньше стандартного компонента, её можно использовать почти в любом диапазоне и для любого форм-фактора устройства при правильно подобранной конструкции сети для сбора энергии на частотах в диапазоне от 0,4 ГГц до 10,6 ГГц. Антенна оптимизирована для автоматизированной сборки, что упрощает установку и снижает производственные затраты. Такие инновации позволяют обслуживать рынок комплексными решениями для безбатарейной инфраструктуры, охватывающими не только управление питанием, но и аспекты обработки данных и измерения. Технология e-peas уже признана лидирующей в области энергетических автономных приложений для периферийной обработки и измерений [4, 7].

### С чего начиналось?

Попытки создавать такие устройства были с разной результативностью давно, вслед за запуском термогенератора, автономно включающего электронное устройство при разнице температур всего в пару градусов Цельсия. Проблема в том, что эффективность преобразователя падает с повышением напряжения, поэтому в генераторе тепловой энергии (ТЭГ) разработчики традиционно использовали автоколебательные схемы с оптимальным КПД – при определённом напряжении. Из прототипа ТЭГ на рис. 10 представлен вид датчика преобразователя выхлопных газов автомобиля в электрический ток.

Новые разработки со специальной архитектурой позволяют преобразовывать тепловую энергию в электрический ток и аккумулировать напряжение в ионисторе в диапазоне от 50 мВ до 5 В постоянного тока. Начальное напряжение питания электронного устройства может быть увеличено с помощью повышающего преобразователя. Так достигается максимум полезной мощности, генерируемой ТЭГ. Из условно новых заслуживает внимание двой-

ной индуктивный датчик положения, который также может работать в режиме максимального энергосбережения.

### Двойной индуктивный датчик положения NCS32100

Двойной индуктивный роторный датчик положения S с детекторным интерфейсом модели NCS32100XMNTXG (NCS32100) представляет бесконтактный абсолютный энкодер, считывающий и преобразующий данные о положении, даже когда подвижные части механической конструкции, на которой он закреплён, не вращаются. Конструктивно датчик в SMD-исполнении состоит из двух печатных плат: ротора с двумя индукторами (без паяных компонентов на роторе) и статора с индукторами. Благодаря преобразователю на микросхеме энкодера (микроконтроллер с прошивкой) обеспечивается точность лучше  $\pm 50$  угловых секунд для датчика диаметром 38 мм. Корректная точность обеспечивается на скорости вращения до 6000 об/мин. При этом можно применять энкодер для контроля скорости вращения до 45 000 об/мин, но с пониженной точностью. Датчик-энкодер NCS32100 имеет 20-битный выход с однооборотным разрешением и 24-битный выход с многооборотным разрешением. Высокоточное, высокоскоростное и недорогое решение, удобное в использовании, позволяет сократить общую спецификацию, поскольку требуется меньше дополнительных компонентов, чем для аналогичных задач и решений. Датчик нечувствителен к вибрации, колебаниям температуры до  $-50^{\circ}\text{C}$  и загрязнениям, в том числе пылеустойчив. Датчик представлен на рис. 11.

Альтернативы датчику, представленные на рынке, имеют разные параметры в одной или нескольких областях: точность, надёжность, стоимость, максимальная скорость (об/мин) и размер. Энкодеры сравнительно высокой точности типично ценятся дороже, а высокоскоростные энкодеры менее точны в области метрологических измерений. Модель NCS32100 имеет широкие возможности настройки, энкодер может взаимодействовать с другими датчиками. Он имеет гибкие механические характеристики. Его параметры: выравнивание  $\pm 0,25$  мм с возможностью встроенной калибровки, с поправкой на механические ошибки. Обеспечивается точность  $\pm 50$  угловых секунд с отклонениями до 0,25 мм (под воздействием,

к примеру, вихревого потока воздуха, наклона устройства). NCS32100 выделяется среди других решений, предлагая преимущества индуктивного кодирования [9].

### Выводы

Тенденция к автоматизации управления транспортными средствами без контроля или с минимальным вмешательством человека всё более проявляется. Оригинальные производители оборудования (ОЕМ – англ. original equipment manufacturer) перешли к системным решениям и программно-определяемой архитектуре транспортных средств и зон для обеспечения безопасности перевозок через идентификацию состояния водителя и транспортного средства, в том числе создания контроллеров беспилотных автомобилей с десятками электронных датчиков, контролирующих процесс. С использованием автомобильных датчиков и радиолокационных приёмопередатчиков RFCMOS TEF81xx и TEF82xx, угловых датчиков, действующих на сверхвысоких частотах 77/79 ГГц, благодаря семейству электронных радаров

SoC фирмы-производители предлагают решения вплоть до «четвёртого уровня» автоматического управления ТС. Для обеспечения канала передачи данных задействуют апробированную технологию сетей ОТА. Параллельно развиваются системы сбора энергии из среды по технологии e-peas и схем ЕН для различных приложений. Поэтому лидирующие позиции в области инноваций и технологий беспроводной передачи данных с электронных датчиков в пределах одного транспортного средства для потребительских и промышленных приложений развиваются и востребованы для обеспечения безопасного и автоматического режима управления ТС.

### Литература

1. Высокопроизводительная однокристалльная система на кристалле RFCMOS для автомобильного радара с частотой 77 ГГц // URL: [www.nxp.com/saf85xx](http://www.nxp.com/saf85xx).
2. Кашкаров А.П. Ионистор в автономной электрической цепи // Современная электроника. 2014. № 1. С. 2–4.
3. Кларк П. Компания STMicroelectronics представила датчик давления MEMS со сроком службы 10 лет // URL: <https://www.eenewseurope.com/en/waterproof-mems-pressure-sensor-has-10-year-life/>.

4. Микроконтроллер сверхмалого энергопотребления // URL: [www.e-peas.com](http://www.e-peas.com).
5. Однокристалльная система на кристалле RFCMOS для автомобильных радаров для распределённых архитектур // URL: [www.nxp.com/saf86xx](http://www.nxp.com/saf86xx).
6. Радарная SoC обеспечивает 360-градусное зондирование окружающего пространства // URL: <https://www.eenewseurope.com/en/nxp-radar-soc-enables-360-degree-surround-sensing/>.
7. Флаэрти Н. E-peas подробно описывает микроконтроллер сверхмалого энергопотребления для сбора энергии // URL: <https://www.eenewseurope.com/en/e-peas-details-ultra-low-power-microcontroller-for-energy-harvesting/>.
8. Флаэрти Н. NXP выпускает однокристалльный 28-нм радар RFCMOS и подписывает контракт с Hella // URL: <https://www.eenewseurope.com/en/nxp-launches-single-chip-28nm-rfcmos-radar-signs-hella/>.
9. Onsemi NCS32100 двойной индуктивный датчик положения // URL: <https://www.eenewseurope.com/en/webinar/onsemi-ncs32100-dual-inductive-position-sensor/>.



МИКРОВОЛНОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

INWAVE.RU  
+7 (495) 137-5335

# MWA-400

## анализатор спектра и сигналов

Сделано в России

Контрольно-измерительное оборудование

- Диапазон рабочих частот  
8 кГц - 40 ГГц
- Фазовый шум  
-137 дБн/Гц
- Полоса анализа спектра реального времени и записи  
800 МГц
- Чувствительность при 25 °С  
-155 дБм/Гц
- Минимальная полоса разрешения  
0.1 Гц

Реклама

# Новые методы альтернативной биометрии: биоакустическая «подпись». Обзор особенностей и перспектив

Анти Эс

В статье рассматриваются перспективные методы корректной мультимодальной аутентификации и доступа к информационным ресурсам завтрашнего дня на примере частотной спектроскопии с индукцией магнитного поля НЧ и биоакустической частотной спектроскопии на основе микровибрации с приёмом отражённого сигнала.

## Проблематика вчерашнего дня

По мере распространения искусственного интеллекта в системах IoT биометрическая идентификация личности приобретает всё большее значение. Обычная биометрическая без многофакторной аутентификации, даже в контексте визуального распознавания, – уже вчерашний день. Поскольку такая биометрия основана на изображениях, полученных на основе структурной информации о физиологических характеристиках, это является проблемой уязвимости; выводы зависят от структурных характеристик (качества) оптического изображения и нивелируются несанкционированной подделкой с использованием скопированных биометрических данных. Таким образом, одна из проблем применения биометрической идентификации связана со спуфингом – от spoofing attack (англ. spoofing – подмена), ситуацией и технической возможностью маскировки одних данных другими через подмену и фальсификацию ординарного образца. Спуфинг с техническим копированием «биометрического материала» ещё может дать условные несанкционированные пре-

имущества криминальному пользователю, но с интерпретацией в цифровой вид отражённых звуковых волн, особенно в комплексной системе идентификации, эта проблема нивелируется.

В табл. 1 представлены значения ошибок идентификации для различных биометрических модальностей.

Для описания надёжности системы приняты критерии: FRR (False Rejection Rate) – вероятность ложного отказа в доступе (ошибка первого рода) и FAR (False Acceptance Rate) – вероятность ложного допуска, когда система ошибочно опознаёт чужого как своего (ошибка второго рода). Иногда системы распознавания характеризуются таким параметром, как EER (Equal Error Rates), представляющим точку совпадения вероятностей FRR и FAR. Чем надёжней система, тем более низкий EER она имеет [9].

Комбинированные, мультимодальные методы биометрии включают аутентификацию по отпечатку ладони, анализу гармоник речевого сигнала, звуку, частоте (и др. характеристикам) биения сердца, узору вен, по контуру уха (ушной раковины), отпечаткам костяшек пальцев, даже носовым порам и др. Идентификация по

термограмме лица, характеристикам ДНК, пота, на основе анализа нейронных связей, по запаху и составу выдыхаемого воздуха, по речевой подписи, по структуре кожи и эпителия на пальцах, по уровню солёности кожи, как и идентификация личности по походке – всё это современные разработки, результаты которых мы обязательно увидим в ближайшее время. Общие классификаторы, используемые в электронно-акустическом анализе, включают метод опорных векторов (SVM – Support vector machine), случайный анализ [1], модель гауссовского (GMM – Gaussian Mixture Modelling) и дискриминантного анализа [2]. Причём корректность анализа зависит от подобранного нелинейного преобразования в каждом конкретном случае. Метод опорных векторов применяется часто с методом GMM или HMM (Hidden Markov Model). Для коротких фраз длительностью в несколько секунд в условиях контекстно-зависимого подхода применяют фонемно-зависимые методы HMM.

В то же время биоидентификация личности по микровибрации пальцев является одним из динамических методов технологии идентификации. Действительно, проще назвать то, по чему нельзя идентифицировать человека, чем «огласить» весь список потенциальных возможностей. В нём идентификация «биоакустической подписи» непременно занимает особое место.

## Распознавание личности на основе биоакустики

Задачи мультимодальной аутентификации связаны с биометрическими технологиями будущего.

К примеру, электрокардиограмма и даже электроэнцефалограмма человека – тоже уникальные биометрические признаки, обеспечивающие аналитический материал для определения живучести. Такие биоэлектрические сигналы подвержены изменчивости в зависимости от расслабленного или возбуждённого состояния челове-

Таблица 1. Значения ошибок идентификации для некоторых биометрических модальностей

Биометрический признак	Тест	Условия тестирования	FRR %	FAR %
Отпечатки пальцев	FVC 2006	Неоднородная популяция (включает работников ручного труда и пожилых людей)	2,2	2,2
Лицо	MBE 2010	Полицейская база фотографий База фотографий с документов	4,0 0,3	0,1 0,1
Голос	NIST 2010	Текстнезависимое распознавание	3...4	1,0
Радужная оболочка глаз	ICE 2006	Контролируемое освещение, широкий диапазон качества изображений	1,1...1,4	0,1

ка. В сравнении с ними спектроскопия биоэлектрического импеданса, полученная посредством измерения физиологического состояния биологических тканей, менее чувствительна к эмоциональным состояниям человека и представляется биометрической технологией будущего.

Речь идёт о биометрической аутентификации, основанной на биодинамической реакции пальца, улавливаемой электронным приёмником и анализатором акустического спектра. Чтобы реализовать спектроскопию акустического пропускания, учёными Дж. Сим, Х.В. Но, С.-Х. Чэ и К.-Г. Ан из Тэджонского института и Инчхонского национального университета (Республика Корея) разработан опытный образец электронного устройства – анализатора цифровой информации отклика модулированного акустического возбуждения, приложенного к корням пальцев в условном центре ладони. На крайних фалангах пальцев был обнаружен сигнал отклика. Извлечённая информация связана с индивидуальными характеристиками ткани конкретного человека, анатомической структурой и распределением внутриклеточной и внеклеточной жидкости. Промежуточные результаты исследования явились первыми валидными, верифицируемыми и транспарентными, объясняющими биодинамический отклик в живых мягких и костных тканях человека, как индивидуальный оригинальный признак для распознавания его личности. Это явление относится к разряду биоакустических и отдалённо напоминает биолокатор.

Изначально учёные из Кореи изначально выдвинули гипотезу, что из-за изменения тканей и клеток акустический отражённый сигнал будет изменчивым из-за привнесённых условий, к примеру, состояния здоровья человека [4]. Поэтому для чистоты эксперимента опыты повторили трижды с интервалом 30 дней. Оказалось, что «биоакустическая подпись» совершенно не изменялась. Да, уместно предполагать, что по мере взросления и старения человека анатомическая структура отражённого сигнала изменяется, оказывает влияние на его форму. Поэтому эксперименты продолжают даже в настоящее время. Измерение производилось в диапазоне от 100 Гц до 3 кГц с шагом 10 Гц, с периодом времени воздействия 15 с. Разумеется, с совершенствованием аппарат-

ной части характеристики устройства можно оптимизировать. Но даже при первых экспериментах получен неожиданный эффект. Биоакустическая частотная спектроскопия оказалась настолько точной в анализе тканей, что исследователи рекомендовали её использование для диагностирования скелетно-мышечных заболеваний. В перспективе это позволит использовать метод для изучения состояния костей и мышц пациентов.

### Апробируемые методы завтрашнего дня

Современные методы биометрической идентификации по отражённым звуковым волнам, проходящим через тело, ладонь или палец человека, основаны на анализе спектра принятого сигнала – спектроскопии. Отражённый сигнал носит уникальный характер, а кроме того, является альтернативным и менее уязвимым относительно известных оптических методов биометрии – сканирования отпечатков пальца, радужной оболочки глаза и геометрии лица.

Новые разработки идут сразу по двум направлениям: частотная спектроскопия элементов тела человека и спектроскопия ладони и пальцев.

### Частотная спектроскопия с индукцией магнитного поля НЧ

В первом случае разработка инженеров Purdue University (США) легла в основу устройства биометрической протекции по принципу и с использованием электромагнитного поля малой мощности в качестве способа связи между «передатчиком» и «приёмником». Во время испытаний системы в течение года вреда здоровью человека не зафиксировано. Технически это выполнено так.

Передатчик в виде наручного браслета индуцирует низкочастотное электромагнитное поле направленного действия. Приёмник располагается у определённой части тела, к примеру, на сгибе локтевого сустава той же руки, и таким образом считывают «отражённый» сигнал. Как свидетельствуют разработчики, перехватить и «расшифровать» модулированный цифровой сигнал практически затруднительно, что делает технологию более надёжной в сравнении с традиционным Bluetooth-сигналом или NFC.

### Спектроскопия ладони и пальцев акустическим воздействием ЗЧ

Впервые реализованная до состояния работающего образца учёными из Южной Кореи система биоакустической частотной спектроскопии модулирует микровибрации, которые распространяются через тело и в отражённом виде дают доступную анализу уникальную спектральную характеристику. По данным, приведённым в тестах, характеристика сохранялась в течение нескольких месяцев и обеспечила точность верификации на уровне 97,16% [4].

### Особенности технологии биоакустической «подписи»

В основе технологии биодинамической реакции пальца в акустическом спектре частот. Система имеет один индуктор – трансдюсер с сигналом направленного действия, размещаемый в середине ладони, и пять акустических микрофонов-датчиков в ячейках, предназначенных для крайних фаланг пяти пальцев руки. Обратите внимание на иллюстрации платформы и концепции акустической идентификационной системы с передачей характеристик вибрационных сигналов через кости и ткани пальца. Концепция системы акустической идентификации пальца с использованием характеристик передачи вибрационных сигналов пальца через кости и ткани представлена на рис. 1. На рис. 2 представлена блок-схема системы идентификации личности на основе отражённого сигнала с использованием ладони и пальцев.

### Принцип работы устройства

Когда лицо, подлежащее идентификации, прикасается ладонью к датчику-излучателю, микровибрации ЗЧ распространяются через пальцы и руку: акустический сигнал проникает через мягкие ткани и кости, по-разному передаётся к крайним фалангам пальцев из-за анатомических особенностей тела. Поэтому принцип отражённого акустического сигнала, содержащего индивидуальную анатомическую информацию о структуре тела – о костной, хрящевой, сухожильной и мышечной ткани, принят за основу устройства идентификации. Использование особенностей геометрии ладони, а также биомеханических свойств

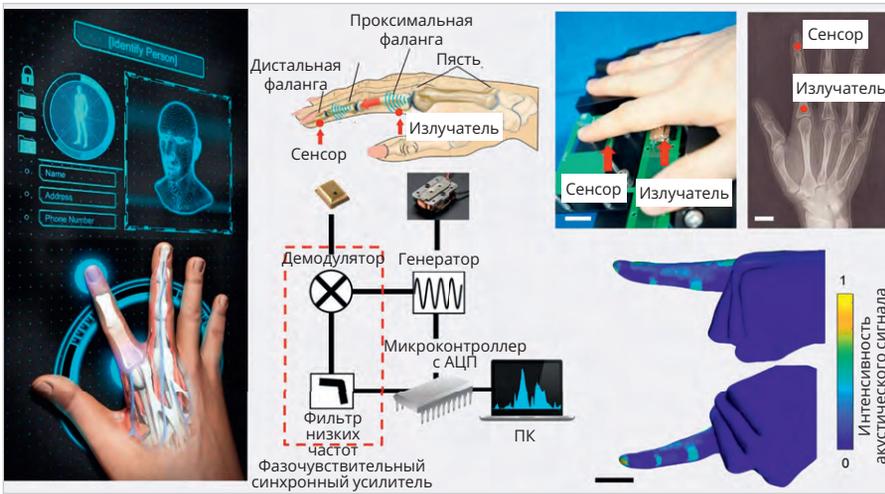


Рис. 1. Концепция системы идентификации акустической идентификации пальца с использованием характеристик передачи вибрационных сигналов пальца через кости и ткани: а) общая концепция; б) анатомическое строение пальца, расположение микрофона и преобразователя (передатчика) на дистальной фаланге и пястной кости; в) условная схема системы: синусоидальный сигнал поступает на вход преобразователя и передаётся через палец, воспринимается микрофоном, демодулируется с помощью опорного сигнала, фильтруется фильтром низких частот и оцифровывается аналого-цифровым преобразователем микроконтроллера; д) фотография руки на устройстве; е) рентгеновский снимок кисти с расположением датчиков; ф) карта магнитуд эмпирически измеренного акустического сигнала от преобразователя, расположенного в конце пястной кости [5]

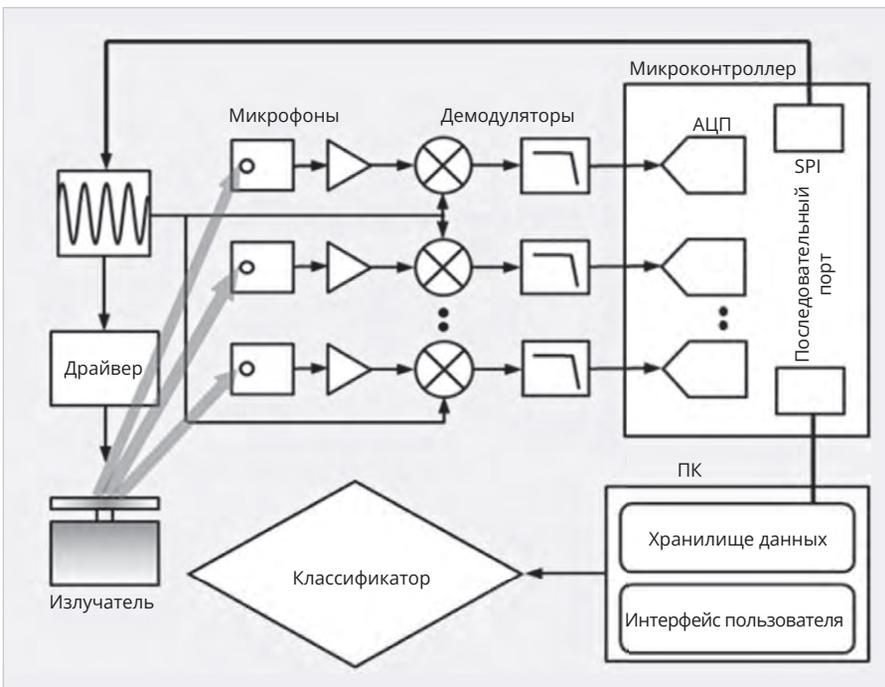


Рис. 2. Блок-схема системы идентификации личности на основе отражённого сигнала с использованием ладони и пальцев

отражения акустического сигнала подтверждено в рассматриваемом исследовании. Эксперименты показали, что индивидуальная форма сигнала сохраняется при разной силе нажатия пальцем на датчик. На рис. 3 представлена схема биоакустического зондирования системы идентификации личности.

То, что датчики считывают сигнал сразу в пяти точках ладони, повышает надёжность системы и минимизирует ошибки FAR. Практически это выглядит так. Для аутентификации пользователь помещает палец на платформу с передатчиком сигнала (transducer) и акустическими сенсо-

рами – по числу пальцев. Места возбуждения и зондирования выбираются так, чтобы акустический сигнал проходил через проксимальную и среднюю фаланги пальца. В частности, акустический сенсор расположен на 3 мм выше передней дистальной межфаланговой складки, являющейся нижним концом дистальной фаланги. Передатчик расположен на расстоянии 50 мм от акустического сенсора, полностью покрывая длину средних фаланг пальца.

Синусоидальный сигнал подается на преобразователь тока в звуковую частоту и, направленный с тыльной стороны ладони, передаётся через кожу, костные образования и ткани, воспринимается микрофоном на крайних фалангах пальцев, демодулируется опорной формой сигнала, фильтруется ФНЧ и оцифровывается АЦП микроконтроллера. Когда импульс ЗЧ проходит через мышечную ткань, он сталкивается с особенностями строения ладони. Осциллограммы амплитуды передачи акустического сигнала от датчика, расположенного на конце пястной кости, представлены на рис. 4. Слева сигнал передатчика, справа – отражённый сигнал, принятый акустическими датчиками-микрофонами.

В актуальных ранее исследованиях использовались данные временной области для преобразования в частотную область с извлечением и определением в отражённом сигнале коэффициентов кепстральной частоты Mel (MFCCs). В функционале системы задействованы передача звука, приём, фильтрация и усиление, запись и анализ эхо-отражённого акустического сигнала ЗЧ. Для этого пять микрофонов – по числу пальцев ладони – получают отклик непосредственно в частотной области и анализируют данные в цифровом виде. Эти алгоритмы на основе спектрограмм используют одномерные частотные спектры в качестве входных данных для операций идентификации и для верификации.

На рис. 5 представлена иллюстрация направленного (вверху) и отражённого (снизу) акустического сигнала. Согласно проведённым исследованиям, наиболее качественные результаты получены при воздействии акустического сигнала частотой 1–2,2 кГц [5]. На рис. 6 представлена иллюстрация повторяемости (сверху) и формы сигнала при разной силе воздействия (нажатия) на датчики (внизу).

### Обратная связь

Нам удалось связаться по электронной почте с соавтором исследования Х.В. Но (Hyung Wook Noh) – научным сотрудником отдела исследований медицинского оборудования в университете Йонсей (Корея), его научные интересы включают биомедицинскую инженерию, биометрию и системы датчиков биосигналов. Удалось задать уточняющие вопросы, после чего получен заслуживающий внимания ответ. Идея исследования зиждилась на знании жизнедеятельности и реакций простейших морепродуктов и сложных животных. К примеру, сегментированного морского червя (*Leocratides kimuraogum*), издающего одни из самых громких хлопающих звуков в океане – с силой звука 157 дБ при частоте 1–100 кГц. Характер этих проявлений импульсный, напоминающий звук «щёлканья» креветок в естественной среде (исследовалось распространение звука). А также принимали во внимание на другой стороне частотного спектра колебания НЧ, не обнаруживаемые органами слуха человека, но с восприятием вибрации и детонации другими органами чувств. Таковы колебания твердой почвы (не песка), производимые слонами, когда основная частотная составляющая около 15 Гц, а также исследовали колебания субстрата низкой и средней частоты, от некоторых насекомых. Но это ещё не всё.

Оказывается, поскольку плотность тканей человека отличается от плотности окружающей среды, люди имеют индивидуальный «рисунок» в отражении сигналов на кончиках пальцев ладони. В настоящий момент современные исследования расширены и (кроме основного) ведутся по двум смежным направлениям: по анализу «снятого» (отражённого) сигнала – его приёма в других частях и конечностях человеческого организма. Исследования корейских учёных потому ещё перспективны, что тесно связаны с биомедицинскими знаниями, к примеру, при некоторых нозологиях в заболевании почек (трудностями с выведением жидкости из организма) мягкие ткани человека – на ладонях, ступнях, на лице, в иных местах изменяют мышечный состав, упрощённо говоря – расширяются, набухают за счет неотведённой жидкости. В такой ситуации, связанной с нездоровьем, конечности также теряют гибкость и отча-

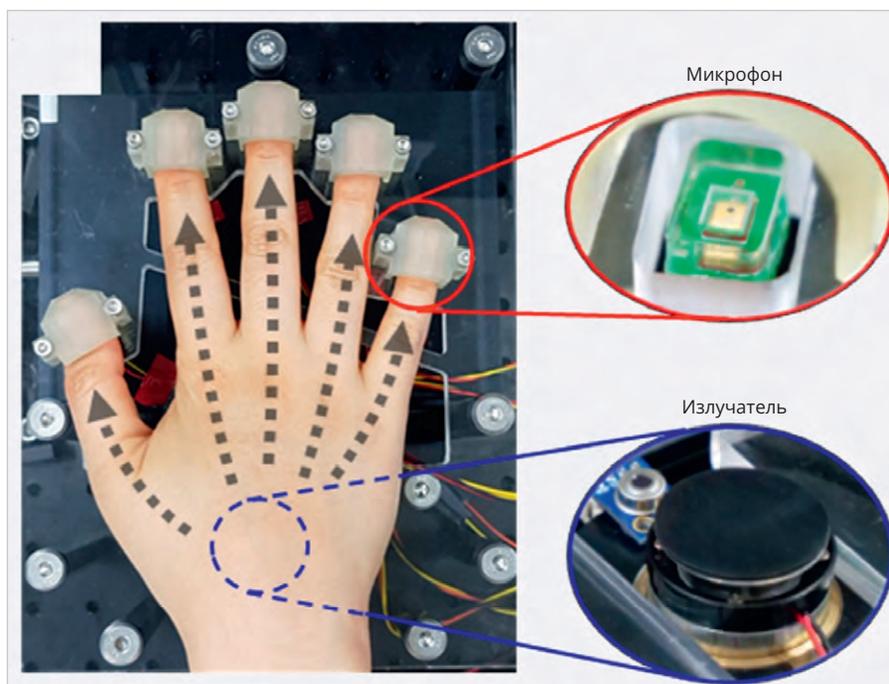


Рис. 3. Иллюстрация системы частотной спектроскопии микровибрации фаланг пальцев

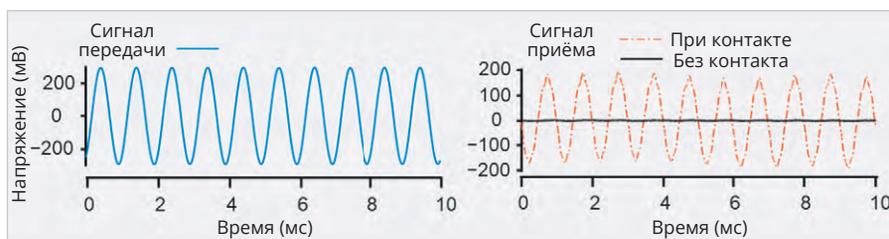


Рис. 4. Осциллограммы амплитуды передачи акустического сигнала от датчика, расположенного на конце пястной кости: слева – сигнал передатчика, справа – отражённый сигнал, принятый акустическими датчиками-микрофонами

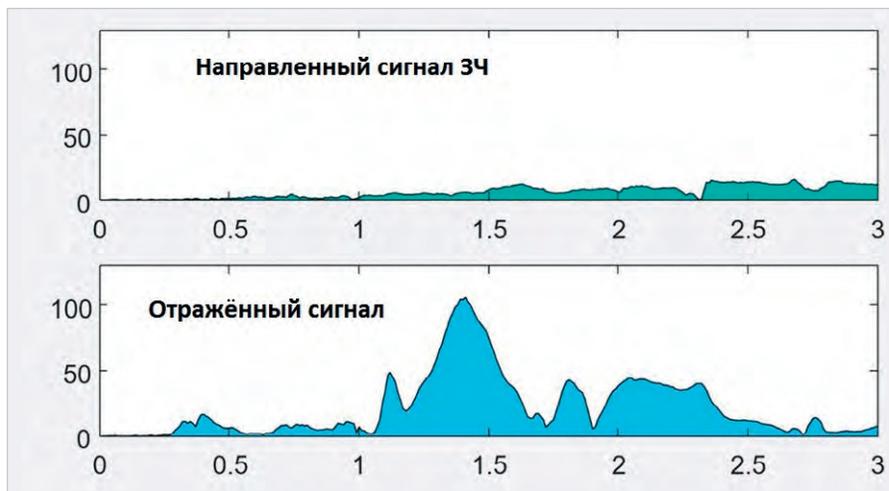


Рис. 5. Иллюстрация направленного (вверху) и отражённого (снизу) акустического сигнала

сти – функционал. От этого изменения, как установлено, незначительно корректируется отклик на биоакустическое воздействие, получаемый на окончаниях пальцев (и иных окончаниях). Таким образом, исследуется пер-

спектива качественной и корректной диагностики и лечения заболеваний. Костная ткань не изменяется, поэтому отклик по биоакустическому воздействию не теряет характера индивидуального. Но изменения в мягких

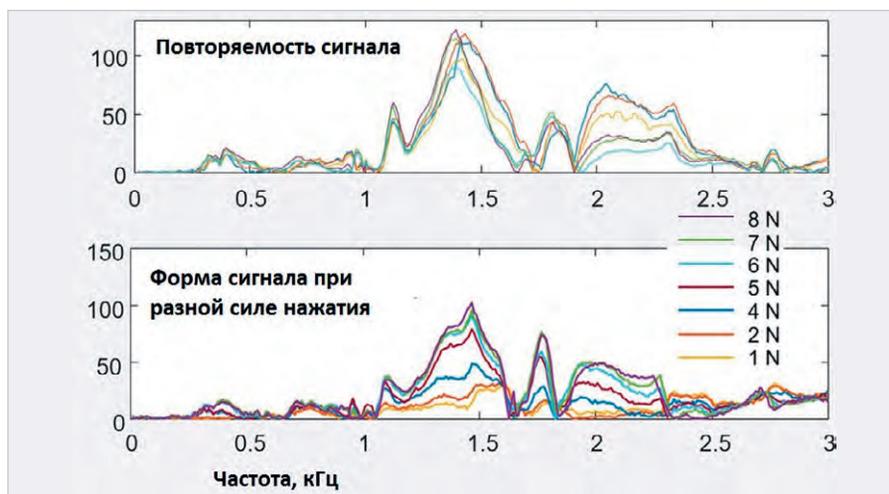


Рис. 6. Иллюстрация повторяемости (сверху) и формы сигнала при разной силе воздействия (нажатия) на датчики (внизу)

тканях можно фиксировать и анализировать посредством того же метода, таким образом даже контролировать и корректировать терапию.

Второе направление продолжающихся исследований связано с тем, что конечности выбраны в связи с их особенностями – удалёнными окончаниями, более и динамично открытыми (не ограниченными) для вибрации. То есть корейские специалисты в тесном сотрудничестве с учёными от медицины работают над тем, чтобы анализировать не только акустический отклик, но и особенности вибрации конечностей человека, детерминированные тем же воздействием источника звуковой частоты. Разумеется, всех «секретов» нам не откроют, но отечественные специалисты с этим новым знанием, продуцированным «Современной электроникой» в социум, теперь не лишены возможности вести собственные разработки «темы», в том числе исследовать биоакустические реакции на воздействие источников звука в разных местах организма, разной силой акустического давления и с разной частотой.

### Проблемные вопросы и перспективы

К угрозам безопасности биометрической идентификации относится оценивание и противодействие рискам с использованием моделей угроз биометрической системы разной модальности, где особую роль играют критерии биоакустических шаблонов. Проводимость звука сквозь тело человека обусловлена проникновением сигнала ЗЧ через костные образования, а мягкие ткани (мышцы, плоть и эпидермис как верхний слой кожи) может дать толь-

ко помехи, поскольку костная ткань не деградирует даже после возможного омертвления части тела. Это обстоятельство даёт повод к двум важным выводам. Во-первых, формально с высокой долей вероятности можно «обмануть» устройство аутентификации, используя отнятую часть тела, к примеру, ладонь человека. Во-вторых, по той же причине метод приобретает перспективу аутентификации (дополнительной, в комплексе факторов) как аутентификация неживых людей. К примеру, это можно использовать для опознания обезображенных в ДТП или техногенных катастрофах тел.

В условиях обширных баз данных (сотни миллионов) биоакустических идентификационных «подписей» в количестве, сопоставимом со всем населением большого государства, при идентификации будет предложено ввести условный номер «клиента», или группы, в которой и будут искать совпадения. Несмотря на то что интеллектуальные системы способны работать со сверхбольшими массивами данных, такой способ значительно сократит время на обработку и аналитическое сравнение индивидуальной информации в цифровом виде.

С одной стороны, ни одна из распространённых сегодня биометрических систем не даёт заявленной степени надёжности и безошибочной работы, ибо можно украсть или подделать отпечатки пальцев, голос, теоретически предъявить электронному сканеру имитацию радужной оболочки глаза, а с другой стороны, все биометрические данные являются фактором риска для их собственника. В случае существенного изменения организма (к приме-

ру, потеря части конечности, последствия болезни и др.) биометрические показатели человека потребуют подтверждения, которые возможны только при очном обследовании/идентификации. Безошибочная оценка вероятностных характеристик мультибиометрической технологии при линейном способе обработки данных и формирования решения, оценка заключений системы мультифакторной аутентификации на основе правил логических комбинаций, как частный случай – объединение алгоритмов для повышения надёжности распознавания – такие задачи стоят сегодня перед отраслью и разработчиками.

Исследования в области биоакустики для биометрических приложений в прежние годы ограничивались распознаванием голоса, особенностями дыхания (анализ сигнатуры), тогда как теперь появились варианты биоакустического зондирования «нового поколения».

Установлено, что при соприкосновении с неодушевленными предметами микровибрации человека и животного распространяются через их конечности – пальцы и руки, лапы и даже рудименты. В том числе копыта крупного рогатого скота, животных (слоны) и лошадей. Если рассматривать тему глубже, оказывается, что микровибрации связаны с жестами рук человека и могут быть характерным источником индивидуальной информации. Микровибрации можно «считывать» на конечностях одушевлённых (живых) существ – при обхвате какого-то объекта (к примеру, яблока при его срыве с дерева), царапании твёрдой поверхности или текстурированных материалов, при прикосновении к другому живому объекту, и даже при воздействии конечных фаланг пальцев на клавиши клавиатуры ПК (как возможный вариант – прикосновение к «электронной клавиатуре» – ёмкостному дисплею электронного оборудования, смартфонов и др.).

Акустические характеристики органов и тканей человека исследуются в биомедицинской диагностике различными методами ультразвуковой визуализации, эластографии, фото-акустической томографии и др. Всё это стало возможным и перспективно в будущем, поскольку акустический сигнал, передаваемый через элементы живого тела, суть анатомическая информация, насыщенная биомеханическими свойствами. Отсюда большое значение

результатов корейских учёных и потенциал исследований для учёных отечественных в направлении электронно-акустического воздействия на костную и мышечную ткань человека для дальнейшего определения индивидуальных биометрических характеристик.

### Литература

1. *Salamon J., Jacoby C., Bello J.P.* A dataset and Taxonomy for Urban Sound Research / In Proceedings of the 22Nd ACM International Conference on Multimedia, ser. MM '16. New York, NY, USA: ACM, 2019, pp. 1041–1044, event-place: Orlando, Florida, USA.
2. *Hegde S., Shetty S., Rai S. and Dodderi T.* A Survey on Machine Learning Approaches for Automatic Detection of Voice Disorders // Journal of Voice, Oct. 2018.
3. *Lasseck M.* Improved Automatic Bird Identification through Decision Tree based Feature Selection and Bagging // CLEF (Working Notes), 2015.
4. Новый метод биометрии – биоакустическая подпись. URL: <https://habr.com/ru/company/vdsina/blog/518294/>.
5. *Sim J.Y., Noh H.W., Goo W., Kim N., Chae S.-H. and Ahn C.-G.* Identity Recognition Based on Bioacoustics of Human Body. IEEE Transactions on Cybernetics, vol. 51, no. 5, pp. 2761–2772, May 2021, doi: 10.1109/TCYB.2019.2941281. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8859636>.
6. Bioacoustic authentication. URL: <https://www.mdpi.com/2079-6374/12/9/700/htm#>.
7. Биоакустическая аутентификация. URL: <https://www.researchgate.net/publication/336272704>.



## НОВОСТИ МИРА

### В России представлены силовые модули для электроразрядных станций, которые превосходят ранее выпущенные аналоги

Специалисты концерна «Радиоэлектронные технологии» госкорпорации «Ростех» разработали полностью отечественные силовые модули для электроразрядных станций. По своим характеристикам изделия превосходят имеющиеся на сегодняшний момент аналоги на отечественном рынке.

Силовой модуль УЭСМ-30 мощностью 30 кВт может использоваться в составе зарядных станций для электромобилей мощностью 30–150 кВт, электробусов мощностью 150–300 кВт. В перспективе такие модули можно будет использовать на электрических воздушных судах. Установка может использоваться при температуре от –40 до +75°C.

Помимо применения в ЭЭС, универсальный силовой модуль в перспективе имеет потенциал использоваться как преобразо-

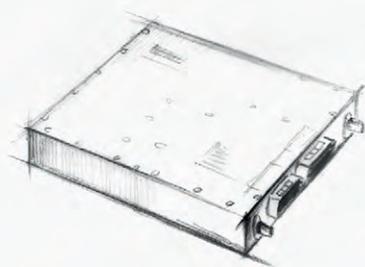


ватель напряжения в составе передвижных мастерских для выполнения технического обслуживания, диагностики и текущего ремонта вооружения в полевых условиях.

[ixbt.com](http://ixbt.com)

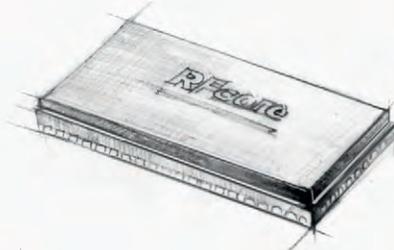


## НОВЫЕ МОЩНОСТИ — НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ



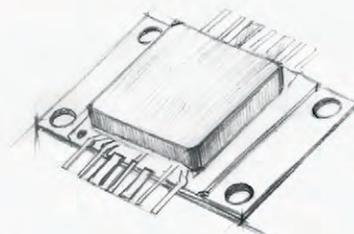
#### СВЧ-усилители мощности

- Диапазон частот: от HF до Ku
- Выходная мощность: 2...1000 Вт
- Типовое усиление: 25...65 дБ
- Рабочее напряжение: 28, 40 В



#### Многофункциональные CMOS MMIC

- Диапазон частот: S, C, X, Ku
- Выходная мощность: до 15 Вт
- Исполнение: QFN-корпус



#### GaN и GaAs MMIC

- Диапазон частот: 2...18 ГГц
- Выходная мощность: до 12 Вт
- Типовое усиление: 10...23 дБ
- Исполнение: QFN-корпус/кристалл



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА  
(495) 232-2522 ■ INFO@PROCHIP.RU ■ WWW.PROCHIP.RU

Реклама

# Обзор рынка анализаторов спектра и сигналов

Антон Тимонович, Ангелина Корнеева (ФГУП «НПП «Гамма»)

В статье приводится обзор состояния рынка анализаторов спектра (АС), включая настольные и портативные варианты исполнения, а также рынка анализаторов фазового шума (ФШ) на основе информации из открытых источников (Федеральный информационный фонд по обеспечению измерений ФГИС «АРШИН») [1]. Проведён анализ изменения конъюнктуры рынка и объёмов потребления\* начиная с 2019 года, включая новых производителей оборудования, вышедших на рынок после февраля 2022 года.

## Введение

За последние 30 лет, начиная с 90-х годов, отечественная радиоэлектронная промышленность активно использовала контрольно-измерительное оборудование иностранного производства. Дан-

ная ситуация сложилась из-за нехватки альтернативной продукции отечественного производства и/или малого объёма производства, отсутствия у неё необходимого функционала. За эти годы потребители привыкли к качеству, воз-

можностям и эргономике иностранных образцов анализаторов спектра. Пользователи даже и не думали смотреть в сторону отечественной продукции.

С появлением «занавеса 2.0» в 2022 году ситуация на рынке изменилась. Закрылись поставки иностранного оборудования, и, как результат, резко возрос интерес к продукции отечественного производства. На рынке стала появляться продукция, о которой никто и не подозревал. Оказалось, что и у нас есть анализаторы спектра собственного производства. В настоящее время активно ведутся разработки в различных направлениях. На рынке появляется новая продукция, удовлетворяющая потребностям заказчиков.

Таблица 1. Список АС по номерам Госреестра средств измерений

Номер в реестре	Наименование СИ	Производитель
31849-06	Анализаторы спектра	Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
39090-08	Анализаторы спектра	Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
42593-09	Анализаторы спектра	Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
51541-12	Анализаторы сигналов в реальном масштабе времени	Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
52615-13	Анализаторы спектра	Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
53569-13	Анализаторы электрических цепей и сигналов комбинированные портативные	Keysight Technologies Malaysia Sdn. Bhd
57849-14	Анализаторы спектра	Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
60404-15	Анализаторы спектра	АО «НПФ «МИКРАН»
61272-15	Анализаторы спектра	RIGOL Technologies Inc.
63528-16	Анализаторы фазового шума	Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
64297-16	Анализаторы спектра	Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
65097-16	Анализаторы спектра	Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
66453-17	Анализаторы спектра	China Electronics Technology Instruments Co., Ltd
69527-17	Анализаторы сигналов	Keysight Technologies Malaysia Sdn. Bhd
68540-17	Анализаторы фазовых шумов	Anapico Ltd
71349-18	Анализаторы спектра портативные	China Electronics Technology Instruments Co., Ltd
73702-18	Анализаторы источников сигналов с СВЧ преобразователями частоты	Keysight Technologies Malaysia Sdn. Bhd
75843-19	Анализаторы спектра	АО ПФ «ЭЛВИРА»
76047-19	Анализаторы спектра	Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
76390-19	Анализаторы спектра	Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
76526-19	Анализаторы спектра	Keysight Technologies Malaysia Sdn. Bhd
57849-20	Анализаторы спектра	Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
77571-20	Анализаторы спектра и сигналов	Ceyear Technologies Co., Ltd
77572-20	Анализаторы спектра портативные	Ceyear Technologies Co., Ltd
78802-20	Анализаторы спектра и сигналов	Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
81749-21	Анализаторы спектра	АО «НПФ «Техноякс»
81820-21	Анализаторы спектра	Siglent Technologies Co., Ltd
84928-22	Анализаторы спектра	ООО «НОВО»
85014-22	Анализаторы спектра и сигналов	АО «ПК «Новэл»
85652-22	Анализаторы спектра	Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
85838-22	Анализаторы спектра	Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
88167-23	Анализаторы спектра	RIGOL Technologies Inc.
89948-23	Анализаторы спектра	ООО «Микроволновая Электроника»
90669-23	Анализаторы спектра	Siglent Technologies Co., Ltd

## Настольные анализаторы сигналов и спектра

Рассмотрены организации-изготовители, имеющие на момент анализа действующие номера в Госреестре средств измерений (СИ) [1, 2].

В табл. 1 приведён список номеров Госреестра с указанием производителя средств измерений.

Данные таблицы свидетельствуют о том, что рынок анализаторов спектра и сигналов прочно занят продукцией иностранного производства. Это подтверждает выводы, сделанные информационно-аналитическим центром ФГУП «ВНИИФТРИ» [3]. В соответствии с ними общий объём рынка анализаторов спектра на 2021 год в России оценивается в 514 позиций, из них лишь 94 анализатора являются приборами отечественного производства. Производственные мощности отечественных приборостроителей оцениваются лишь в 240 приборов в год, что соответствует 47% от общего рынка. Однако, на наш взгляд, это завышенная оценка, и реальные производственные мощности гораздо скромнее.

При этом производимые в РФ радиотехнические средства в основном относятся к нижнему частотному диапазону. В области сверхвысокочастотного оборудования безальтернативной является продукция западных производителей [4].

\*под объемом рынка следует понимать количество первичных поверок по данным АРШИН.

Таблица 2. Количественная оценка объёма рынка настольных АС

Год	Настольные АС
2019	613
2020	683
2021	414
2022	348
2023	726

Для наглядности приведём график количества первичных проверок настольных анализаторов спектра и сигналов в динамике по годам (рис. 1) (табл. 2).

Анализ рынка настольных АС с указанием производителей приведён на рис. 2 и в табл. 3.

Исходя из рис. 2, можно сделать вывод, что доля отечественных анализаторов спектра на рынке неуклонно растёт. Этому способствуют и введение ограничений на использование иностранной продукции на оборонных предприятиях, и новые разработки отечественной промышленности. Однако на сегодняшний момент объём отечественной продукции занимает лишь малую часть рынка – как говорится, «капля в море».

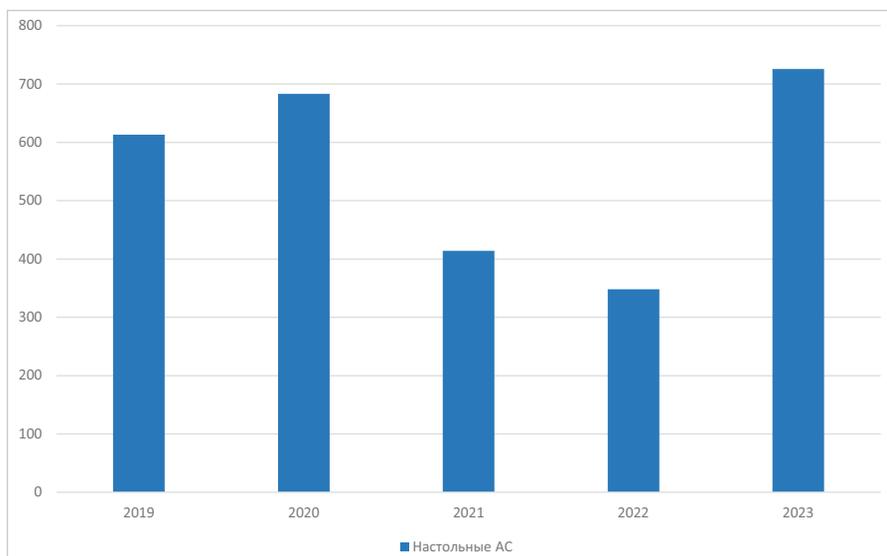


Рис. 1. Оценка объёма рынка настольных АС

По данным табл. 3, в 2023 году было поставлено всего лишь 57 российских АС против 669 иностранных образцов.

Несмотря на ограничительные меры как со стороны недружественных государств, так и внутри страны, пальму первенства занимают производители из США и Германии. Также активно наращивают обороты поставки китайские производители.

Вспышка COVID-19 привела к значительным колебаниям исследуемого рынка. Пандемия по-разному повлияла на каждого производителя. В 2020 году наблюдался явный провал в поставках нового оборудования. Это было связано в том числе и с тем, что часть проектов была заморожена и перенесена на более поздние сроки.

## Анализаторы сигналов и спектра СК4-МАХ4

- Диапазон рабочих частот: от 3 Гц до 8,4/13,6/26,5 ГГц
- Чувствительность на 1 ГГц: -155 дБмВ/Гц без LNA, -164 дБмВ/Гц с LNA
- Фазовый шум на 1 ГГц: -115дБн при отстройке 10 кГц

✉ info@novel-pk.ru      🌐 novel-pk.ru      ☎ +7 (495) 120-30-42

Реклама

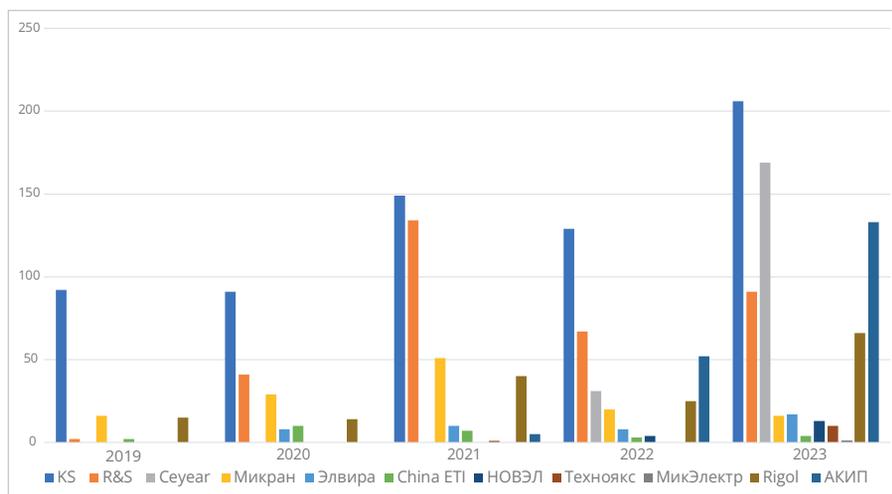


Рис. 2. Оценка распределения рынка настольных АС по производителям

Таблица 3. Оценка объёма продаж настольных АС по производителям

Наименование производителя	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Keysight Tech. Malaysia Sdn. Bhd	92	91	149	129	206
Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG	2	41	134	67	91
Ceyear Technologies Co., Ltd	0	0	0	31	169
China ETI Co., Ltd	2	10	7	3	4
АО ПФ «ЭЛВИРА»	0	8	10	8	17
АО «НПФ «МИКРАН»	16	29	51	20	16
АО «ПК «Новэл»	0	0	0	4	13
НПФ «Техноякс»	0	0	1	0	10
ООО «Микроволновая Электроника»	0	0	0	0	1
Rigol Technologies Co., Ltd	15	14	40	25	66
АКИП-xxxx	0	0	5	52	133
Общий объём, шт.	127	193	397	339	726

В 2022 году также наблюдается «просадка» в поставках анализаторов спектра. Это частично связано с пост-пандемийным эффектом, а также с февральскими событиями 2022 года.

При этом, несмотря ни на что, рынок анализаторов спектра в 2023 году показал хорошую динамику продаж.

### Портативные анализаторы спектра

Для наглядности приведём график количества первичных проверок портативных анализаторов спектра и сигналов в динамике по годам (рис. 3 и табл. 4).

Если в настольных анализаторах спектра есть альтернативы иностран-

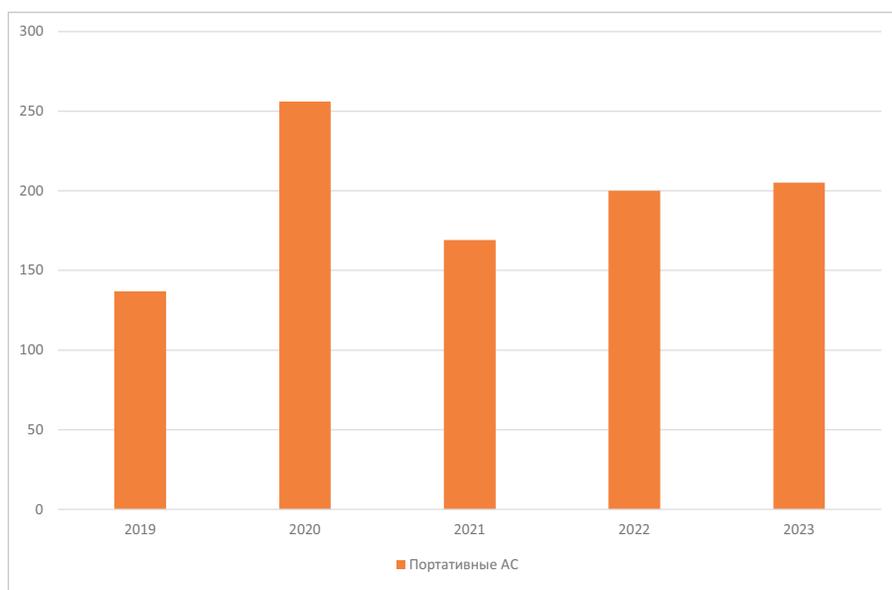


Рис. 3. Оценка объёма рынка портативных АС

ной продукции, то в направлении портативных АС отечественного оборудования практически нет, за исключением, пожалуй, портативного бездисплейного анализатора спектра «СК-4 Ново «АС-12», имеющего диапазон частот до 14,5 ГГц. Данный прибор является специализированным решением (малые габариты, отсутствие дисплея) и может быть использован для решения задач измерения помехоэмиссии и наводок. Общий объём продаж за 2023 год составляет около 14 устройств, это менее 10% от общего объёма рынка портативных приборов.

На рис. 4 и в табл. 5 приведены данные по продажам портативного оборудования.

Исходя из данных, приведённых в табл. 4, наблюдается практически равномерное распределение объёмов продаж из года в год. При этом в 2022 году на рынок вышли новые производители переносных анализаторов спектра, «перетянув» часть рынка на себя.

По нашей информации, в настоящее время несколько отечественных производителей измерительного оборудования ведут разработки портативных анализаторов спектра. В частности, АО «ПК «Новэл» ведёт разработку комбинированного прибора, включающего в себя как анализатор спектра, так и векторный анализатор цепей.

Анонсы новинок ожидаются в 2025 году.

### Анализаторы фазовых шумов

Заметную роль в сегменте настольных приборов играют анализаторы фазовых шумов. Как видно из названия, данный прибор специально создан для оценки однополосного фазового шума различных устройств (ГУН, опорные генераторы, модули, блоки и т.д.). При этом разработчику, помимо измерений ФШ, ещё важно наблюдать спектр измеряемого сигнала для оценки чистоты спектра.

Таблица 4. Количественная оценка объёма рынка портативных АС

Год	Портативные АС
2019	137
2020	256
2021	169
2022	200
2023	205

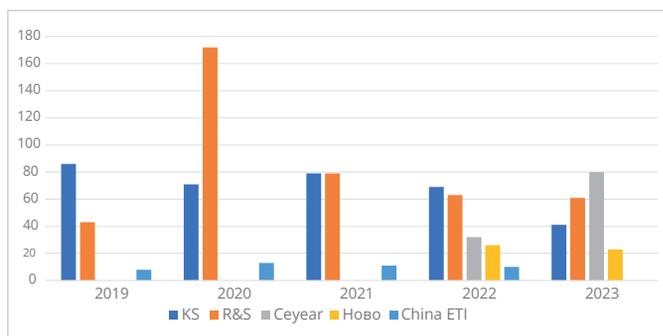


Рис. 4. Оценка распределения рынка портативных АС по производителям

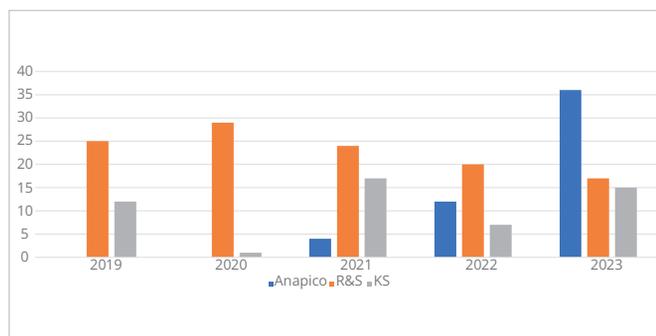


Рис. 5. Оценка количества новых анализаторов фазового шума по производителям в динамике по годам

Таблица 5. Оценка объёма продаж портативных АС по производителям

Наименование производителя	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Keysight Technologies Malaysia Sdn. Bhd	86	71	79	69	41
Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG	43	172	79	63	61
Ceyear Technologies Co., Ltd	0	0	0	32	80
ООО «НОВО»	0	0	0	26	23
China ETI Co., Ltd	8	13	11	10	0
Общий объём, шт.	137	256	169	200	205



Рис. 6. Оценка доли рынка анализаторов АС отечественного и иностранного производства

Таблица 6. Оценка количества новых анализаторов фазового шума по производителям в динамике по годам

Наименование производителя	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Keysight Technologies Malaysia Sdn. Bhd	12	1	17	7	15
Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG	25	29	24	20	17
Anapico Ltd	0	0	4	12	36
Общий объём, шт.	37	30	45	39	68

Ряд производителей комбинируют данный функционал и выпускают два прибора в одном: анализатор фазовых шумов и полноценный анализатор спектра. Часть производителей используют лишь обрезанный функционал анализатора спектра или так называемый «Spectrum Monitor».

Рынок анализаторов фазовых шумов специфичен, а объёмы потребления невелики (в 2023 году было поставлено 68 приборов, внесённых в Госреестр).

Однако стоимость такого оборудования выше, чем стоимость простого анализатора спектра. Таким образом, в денежном эквиваленте рынок анализаторов шумов очень интересен для производителей и поставщиков оборудования.

Сейчас на рынке представлены модели трёх основных производителей. И все они, естественно, зарубежного производства [1] (рис. 5 и табл. 6).

Разработка анализаторов фазовых шумов отечественными предприяти-

ями также ведётся. Создание данного прибора подразумевает использование высококачественной элементной базы, наличия ПО и высокопроизводительных ПК для проведения вычислений. Всё это усложняет разработку данного типа оборудования. Поэтому сложно судить о времени появления отечественного анализатора ФШ на рынке.

### Выводы

В заключение можно продемонстрировать результаты работы отечественной промышленности по производству анализаторов спектра начиная с 2019 года.

С точки зрения импортозамещения дела в этой отрасли обстоят не очень хорошо. Как видно из графика, к 2023 году Россия увеличила своё производство на 27%, но это не помогло превзойти объём выпускаемой продукции недружественных стран<sup>1</sup> (рис. 6).

### Литература

1. URL: <https://fgis.gost.ru>.
2. URL: <https://import-net.vniims.ru>.
3. XII Всероссийская научно-техническая конференция «Метрология в радиоэлектронике» // Материалы конференции. ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево – 2023.
4. *Апрелев А.В.* Анализ состояния парка средств измерений радиотехнических величин и потребностей предприятий промышленности в эталонах и средствах измерений по данным информационно-аналитического центра // ВНИИФТРИ-2023. Материалы конференции. ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево – 2023. ©

<sup>1</sup> Перечень недружественных стран был сформулирован в соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 05.03.2022 № 430-р (ред. от 29.10.2022) «Об утверждении перечня иностранных государств и территорий, совершающих недружественные действия в отношении Российской Федерации, российских юридических и физических лиц».

# Двухканальный индикатор уровня звука на базе микроконтроллера EFM8LB12 и дисплея OLED 1306

Алексей Кузьминов

Дополнительные материалы к этой статье можно скачать, перейдя по QR-коду



В статье приведены принципиальная схема, разводка и внешний вид платы, программные средства и результаты работы двухканального индикатора уровня звука на основе микроконтроллера (МК) EFM8LB12, двух ОУ МСР6002 и дисплея OLED 1306, на котором для каждого канала отражаются гистограммы с высотой, пропорциональной уровню звука соответствующего канала. Такой индикатор может быть установлен на переднюю панель аудиоусилителя. По сравнению с похожими покупными индикаторами описываемый индикатор отличается простотой и стоит в несколько раз дешевле.

## Введение

Индикаторы уровня звука, используемые в аудиоусилителях, как правило, бывают трёх типов.

Первый тип основан на нескольких (до десятка) светодиодах либо на светодиодных матрицах (до полутора десятков светодиодов), которые загораются в зависимости от уровня звука в усилителе. Преимущество таких индикаторов в их дешевизне. Их стоимость – не более 200–500 руб. Недостаток – низкая разрешающая способность: даже по полутора десяткам светодиодов об уровне звука можно судить лишь приблизительно. Кроме того, такие индикаторы имеют довольно большие габариты, в связи с чем они не всегда помещаются на лицевой поверхности корпуса усилителя, если их расположить вертикально, а горизонтальное их расположение не особенно эстетично.

Второй тип – стрелочные индикаторы. Их преимущество в том, что по

отклонению стрелок можно довольно точно следить за уровнем звука. Такие индикаторы раньше часто использовались в магнитофонах, а сейчас также продолжают использоваться в усилителях в стиле «ретро» (с подсветкой с помощью миниатюрных ламп накаливания). С эстетической точки зрения такие индикаторы смотрятся довольно неплохо, однако они довольно дороги: два таких индикатора с платой сопряжения сейчас можно приобрести за 1600 руб. и выше. Кроме того, такие индикаторы также занимают довольно много места как на лицевой панели усилителя, так и внутри него из-за довольно габаритной платы сопряжения. Два таких индикатора автор использовал в усилителях, описанных в [1] (там приведена их фотография в корпусе усилителя) и [2] (фотография, к сожалению, не приведена).

Третий тип – дисплейные индикаторы. На дисплее отражаются уровни

звука либо в виде гистограмм, либо даже в виде спектра. Их преимущества – небольшой размер и довольно высокое разрешение. Кроме того, они эстетически идеально смотрятся на лицевой панели корпуса усилителя. Часто такие индикаторы используют в аудиоплеерах. Однако такие индикаторы ещё дороже стрелочных: они стоят уже от 2000 руб. и выше.

В то же время подобный дисплейный индикатор, который по стоимости не будет превышать 400–500 руб., можно изготовить и своими силами. Например, стоимость дисплея OLED 1306 не более 120–130 руб., стоимость одного ОУ МСР6002 не более 40 руб. (их потребуется два) и стоимость МК EFM8LB12 не более 120–150 руб. Описание такого дисплейного индикатора и является предметом настоящей статьи.

## Принципиальная схема платы индикатора

Схема устройства (рис. 1), как можно убедиться, не отличается особой сложностью.

Вкратце функционирование схемы сводится к следующему.

Два входных сигнала InA и InB поступают на входы двух относительно точных двухполупериодных выпрямителей на базе двух сдвоенных ОУ МСР6002 (DA1 и DA2). Конденсаторы CA1 и CB1, включённые в обратную связь выходных ОУ, превращают их в ФНЧ, сглаживающие выходные напряжения. Далее через RC цепочки R6AC4A и R6BC4B эти выходные напряжения поступают на два входа АЦП МК (ADCinA и ADCinB), которые измеряют эти напряжения, а результат измерений выводят на дисплей, сопряжённый с МК по высокоскоростному интерфейсу SPI. На дисплее строятся две столбчатые гистограммы, высота которых пропорциональна входным напряжениям.

Теперь более подробно.

Рассмотрим схему на базе ОУ DA1.1, представляющую собой прецизионный однополупериодный выпрями-

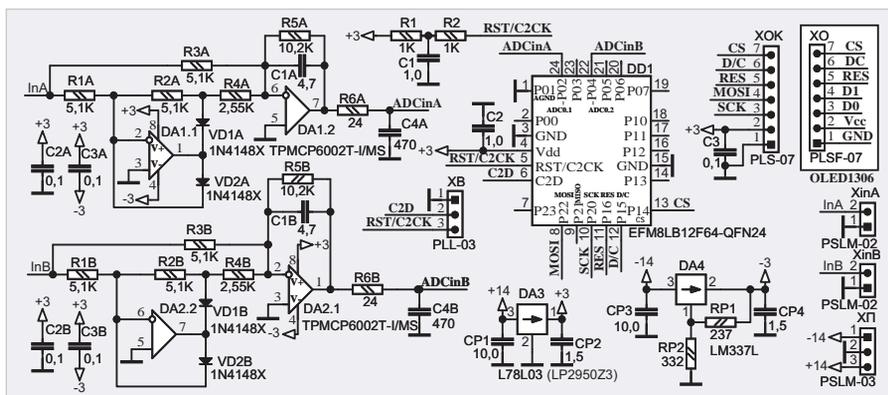


Рис. 1. Схема устройства

тель. Эта прецизионность обусловлена тем, что диоды VD1A и VD2A включены в обратную связь ОУ DA1.1, за счёт чего их прямое падение напряжения снижается с 0,6 В (это стандартное падение напряжения на обычном диоде) до единиц и даже до десятых долей мВ. Снижение падения напряжения с 0,6 В до таких малых значений происходит оттого, что эти 0,6 В делятся на коэффициент усиления ОУ без обратной связи, который составляет от нескольких тысяч до десятков тысяч. Кроме того, на это снижение влияют также скоростные характеристики ОУ. Здесь необходимо добавить, что диоды должны быть именно стандартными, поскольку, например, диоды Шоттки (типа PMEG1010) существенно искажают форму выходного сигнала. В качестве диодов применены ставшие уже классическими стандартные диоды 1N4148, которые, благодаря современным технологиям, сейчас выпускаются в корпусе SOD523 и занимают место на плате, как, например, резистор в корпусе 0603.

Однополупериодный выпрямитель работает следующим образом. Если на вход ОУ DA1.1 подаётся синусоидальный сигнал  $InA$ , то при его отрицательной полуволне, т.е. когда  $InA < 0$ , за счёт того, что ОУ включён в инверсном режиме работы ( $InA$  подаётся на инвертирующий вход – на 2-й вывод DA1.1, а неинвертирующий вход заземлён), диод VD2 открывается (VD1A при этом закрыт), и выходное напряжение ОУ становится равным потенциалу «земли», т.е. равно нулю. В этом случае точка соединения анода диода VD1A и двух резисторов R2A и R4A будет также находиться под нулевым потенциалом. При положительной полуволне  $InA$ , т.е. когда  $InA > 0$ , на выходе ОУ будет отрицательный потенциал, поэтому диод VD2 закрывается, VD1 открывается, и на аноде диода VD1A будет инверсный сигнал  $InA$ , т.е. отрицательная полуволна входного напряжения. Резюме: *при положительной полуволне входного напряжения на аноде VD1 будет отрицательная полуволна входного напряжения, а при отрицательной – нулевой потенциал*, или, другими словами, получаем однополупериодный выпрямитель.

Второй ОУ DA1.2 включён как суммирующий инвертирующий усилитель с точкой суммирования входного напряжения  $InA$  и напряжения на аноде VD1A, подключённой к его

инвертирующему входу (6-й вывод). За счёт того, что входное напряжение  $InA$  проходит в точку суммирования через резистор R3A (5,1 К), а напряжение с анода VD1A – через резистор R4A (2,55 К), номинал которого в два раза меньше (и ток которого от этого в два раза больше), в точке суммирования это напряжение будет удвоено.

Резюме: *при положительной полуволне  $InA$  в точке суммирования будет суммироваться положительная полуволна  $InA$  и удвоенная отрицательная полуволна  $InA$ , в результате чего получаем отрицательную полуволну  $InA$ ; при отрицательной полуволне  $InA$  в точке суммирования будет суммироваться нулевой потенциал (от анода VD1A) и отрицательная полуволна  $InA$  (через R3A), в результате чего получаем также отрицательную полуволну  $InA$ .*

Таким образом, в точке суммирования (6-й вывод DA1.2) получаем двухполупериодный выпрямитель, выходное напряжение которого будет состоять из отрицательных полуволн  $InA$ .

Коэффициент усиления  $K_u$  инвертирующего усилителя DA1.2 равен отношению номинала резистора R5A к резисторам R3A и R4A. Если бы номинал R5A был бы равен 5,1 К, то  $K_u = -1$ , и на выходе (7-й вывод DA1.2) мы бы получили двухполупериодный выпрямитель уже положительных полуволн входного сигнала  $InA$ . Такая схема хорошо известна (см., например, [3], рис. 25.10). Но, как видно из рис. 1, номинал R5A в два раза больше (10,2 К), поэтому  $K_u = -2$ , и выходное напряжение DA1.2 соответствует двухполупериодному выпрямителю с удвоенным выходным напряжением (по сравнению с амплитудой сигнала  $InA$ ). Если не включать конденсатор C1A, то такой двухполупериодный выпрямитель будет идеально работать вплоть до 10 кГц, а при дальнейшем увеличении частоты форма сигнала будет уже несколько искажаться (это проверялось автором на осциллографе). Роль конденсатора C1A состоит в том, что, поскольку он включён в обратную связь ОУ DA1.2, он совместно с ОУ DA1.2 образует своего рода интегратор (или ФНЧ). Схема с таким конденсатором даже в настоящее время используется в мультиметрах или вольтметрах переменного напряжения (на рис. 25.10 в [3] такой конденсатор показан пунктиром). При номинале C1A = 4,7 мкФ ВЧ составляющая входного сигнала обрезается, други-

ми словами, он является своего рода демпфером сродни инерционности стрелочных индикаторов уровня звука. Хотя, как будет видно из дальнейшего изложения, инерционность настоящего дисплейного индикатора уровня звука существенно ниже стрелочных.

Как было упомянуто выше, выходной сигнал с ОУ DA1.2 через RC цепочку R6AC4A подаётся на первый вход АЦП МК (ADC0.1, 24-й вывод DD1, сигнал ADCinA). Эта цепочка – необходимый стандартный атрибут, устанавливаемый перед входом АЦП.

Второй двухполупериодный выпрямитель-интегратор на ОУ DA2 устроен аналогично. Разница состоит только в том, что оба ОУ поменялись местами. Это сделано исключительно ради удобства разводки (см. далее). Его выход подключается ко второму входу АЦП МК (ADC0.2, 22-й вывод DD1, сигнал ADCinB).

Входные сигналы  $InA$  и  $InB$  (и «земля») поступают на плату соответственно с двухконтактных штыревых цанговых разъёмов PSLM-02 –  $XinA$  и  $XinB$ . К этим разъёмам ответными разъёмами (цанговыми гнездами SIP-2) подключаются экранированные кабели, вторые концы которых такими же гнездами подключаются к выходным разъёмам предварительного усилителя, описанного в [2], – сигналы  $VoutA-$  и  $VoutB-$  соответственно (сигналы  $VoutA+$  и  $VoutB+$  используются для подключения к пик-детектору [2]).

Программирование МК осуществляется по интерфейсу C2 сигналами RST/C2CK и C2D, которые вместе с «землёй» подаются на плату с 3-штырькового разъёма XB (PLL-03). К этому разъёму ответным гнездом подключается выходной кабель от USB DEBUG – адаптера, который сопряжён с компьютером по интерфейсу USB (подробности в [4]). RC-цепочка R1R2C1 предназначена как для программирования МК, так и для его сброса (Power On Reset) при включении питания.

Питание на плату ( $\pm 14$  В и «земля») поступает с 3-штырькового разъёма PSLM-03 (XII). К этому разъёму ответным гнездом подключается 3-проводный кабель, который своим вторым концом подключается к соответствующим напряжениям усилителя, описанного в [2].

Для получения стабилизированного напряжения +3 В используется стабилизатор 78L03 (DA3), для получения отрицательного напряжения – стаби-

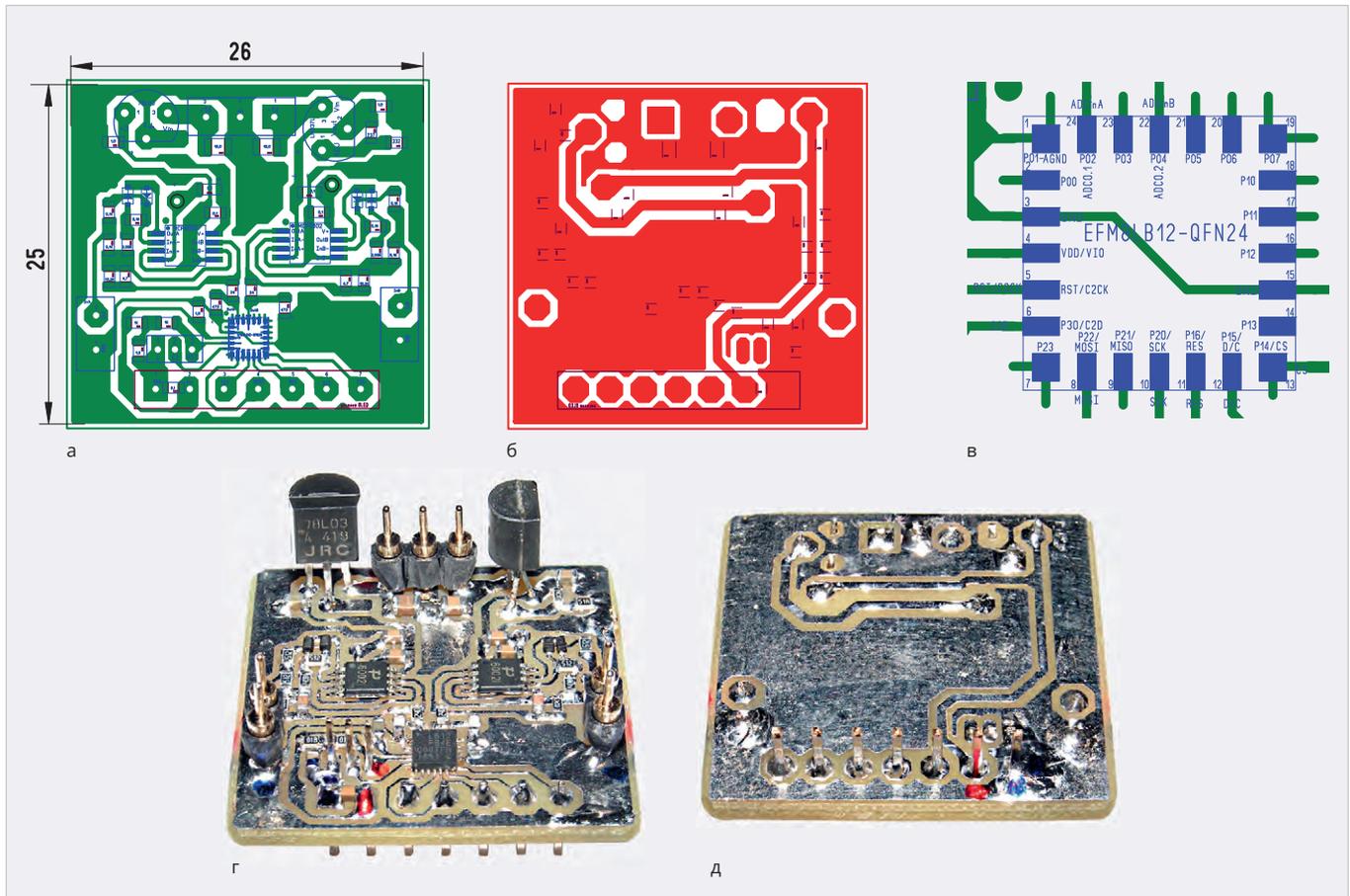


Рис. 2. Разводка и внешний вид платы: а, г – вид со стороны расположения компонентов, б, д – вид с обратной стороны, в – укрупнённый вид МК



Рис. 3. Общее меню настройки устройств МК

лизатор LM337 (DA4). Как известно, его выходное напряжение зависит от соотношения резисторов RP1 и RP2 и внутреннего опорного напряжения:  $-U_{вых} = -1,25 \text{ В} (1 + RP2/RP1) = -1,25 \text{ В} \times (1 + 332 \text{ Ом}/237 \text{ Ом}) = -3,001 \text{ В} \approx -3 \text{ В}$ . При этом номинал RP1 не должен превышать 240 Ом.

Сопряжение МК с дисплеем OLED1306 организовано по интер-

фейсу SPI с помощью сигналов MOSI и SCK, помимо которых в дисплей также передаются сигналы RES, D/C и CS. Все дисплейные сигналы (вместе с питанием и «землёй») поступают на 7-штырьковый разъём PLS-07 (ХОК). Этот разъём вставляется в ответный разъём PLSF-07 (ХО), распаянный на плате дисплея.

Конденсаторы C2A, C3A, C2B, C3B, C2, C3, CP1–CP4 – блокировочные.

Все резисторы и конденсаторы (кроме CP1 и CP3) – для поверхностного монтажа размером 0603, CP1 и CP3 размером 0805. Все конденсаторы рассчитаны на напряжение 50 В. Все резисторы должны иметь допуск не более 1%.

ОУ MCP6002 (точное название TRMCP6002T-I/MS) – в корпусе MSOP-8, МК – в корпусе QFN24, стабилизаторы в корпусе TO-92, диоды (точное название 1N4148X) – в корпусе SOD523.

### Разводка и внешний вид платы

Разводка платы (рис. 2а, б) сделана автором с помощью программы SprintLayOut v.6.0. В переходные отверстия, отмеченные чёрными кружками на рис. 2а, необходимо вставить тонкий

(0,2–0,3 мм) лужёный медный провод и пропаять его с двух сторон платы. Все разъёмы и выводы стабилизаторов, для которых предусмотрены контактные площадки на обратной стороне платы, также пропаиваются с двух сторон платы. Плата (рис. 2г, д) изготовлена из двустороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. Укрупнённый вид МК (рис. 2в) показан для его сравнения с корпусом МК, полученным в программных средствах при инициализации устройств (см. далее).

### Программные средства

Программирование МК проводилось в среде Simplicity Studio v.4.0 на языке C51 (Keil 8051 v.9.54.0).

В общем меню настроек (рис. 3) необходимо выбрать только те устройства, которые отмечены галочками.

Перед тем как настраивать АЦП (рис. 4а), отмеченный галочкой в самом верху слева общего меню (рис. 3), необходимо настроить внутренний генератор на частоту 72 МГц (рис. 4б), выбрать системную тактовую частоту, соответствующую частоте этого генератора (рис. 4в), и указать, что чтение памяти

The image displays several configuration windows from a development tool:

- Properties of ADC 0:** Shows settings for ADC 0, including View (Advanced), Enable (Enabled), Control (Start of Conversion: Write to 1 of ADBUSY, Resolution: 14-Bit mode, Result Shift and Justify: Right justified), Input Selection (Positive Input Selection: ADC0.1 (P0.2), Analog Ground Reference: P0.1 / AGND pin, Enable Temperature Sensor: Disabled), Voltage Reference (Select Voltage Reference: Internal VREF, Reference Voltage: 1.65, Gain Control: 0.75x gain, Full Scale Voltage: 2.20), Clock Configuration (Select ADC Clock: SYSClk, ADC Clock Divider: 4 (0x4), SARCLK Frequency: 18.000 MHz), Power Control (Enable Low Power Mode: Disabled, Enable Idle Powered-off: Always on), and Throughput (Conversion Time: 833.333 ns, Conversion Tracking Time Setting: 4 (0x4), Conversion Tracking Time (Actual): 222.222 ns, Minimum Tracking Time: 0 s, Total Conversion Time: 1.167 us, Maximum Throughput: 857.143 ksp/s).
- Properties of HFOSC 0/1:** Shows High Frequency Oscillator Control (24.5 MHz Oscillator (HFOSC0): On When Needed, 72 MHz Oscillator (HFOSC1): Always On).
- Properties of Clock Control:** Shows Clock Control (SYSClk: 72.000 MHz, Select Clock Source: Internal High Frequency Os..., Clock Source Divider: SYSClk / 1).
- Properties of Core:** Shows Prefetch Engine Control (Flash Read Timing: SYSClk is below 75 MHz).
- Properties of SPI 0:** Shows SPI 0 FIFO settings, including View (Advanced), Control (SPI Enable: Enabled, Bus Mode (Master): Master 3-wire mode), Configuration (SPI Mode: Master, Clock Phase: Data sample on first edge, Clock Polarity: Low in idle state), Clock Rate (SYSClk: 72.000 MHz, SPI Clock Frequency (Actual): 12.000 MHz, SYSClk Divider Coefficient (SPI0CKR): 2 (0x2)), and SPI0 Pin Configuration (Select Master Data Input: Crossbar, Select Slave Clock Input: Crossbar, Select Slave Data Input: Crossbar).
- Port I/O Mapping:** Shows Default Mode: CROSSBAR0. SPI 0 is configured for Clock / Data. Pins are mapped to SPI0\_SCK (P2.0), SPI0\_MISO (P2.1), and SPI0\_MOSI (P2.2).
- Properties of P0.1:** Shows Settings (IOMode: Analog I/O, Latch: High, Mask Value: Ignored, Match Value: High, Skip: Skipped, Label).
- Properties of P2.2:** Shows Settings (IOMode: Digital Push-Pull Output, Latch: High, Mask Value: Ignored, Match Value: High, Skip: Not skipped, Label).
- Properties of P2.1:** Shows Settings (IOMode: Digital OpenDrain I/O, Latch: High, Mask Value: Ignored, Match Value: High, Skip: Not skipped, Label).
- Properties of PBCFG\_0:** Shows Port Config Settings (Disable Port I/O Weak Pullup: Pull-ups enabled, Enable Crossbar: Enabled, Port 0 Drive Strength: High drive, Port 1 Drive Strength: High drive, Port 2 Drive Strength: High drive, Port 3 Drive Strength: High drive).

The central diagram shows a 24-pin QFN 3x3 mm package with pins labeled: 1/..., 2/P0.0, 3/GND, 4/VDD / ..., 5/RST / C..., 6/P3.0 / ..., 7/..., 8/P2.2, 9/P2.1, 10/P2.0, 11/P1.6, 12/P1.5, 13/..., 14/P1.3, 15/GND, 16/P1.2, 17/P1.1, 18/P1.0, 19/..., 20/P0.6, 21/P0.5, 22/P0.4, 23/P0.3, 24/P0.2. Labels for SPI0\_MOSI, SPI0\_MISO, and SPI0\_SCK are shown below the package.

Рис. 4. Настройка устройств МК: а – АЦП; б, в, г – генератора и системной тактовой частоты; д – интерфейса SPI; е – матрицы соединений; ж, з, и, к – портов МК

необходимо производить при частоте менее 75 МГц (рис. 4г).

В настройках АЦП (рис. 4а) необходимо обратить внимание, что используется внутренний источник опорного напряжения 1,65 В. Коэффициент усиления внутреннего ОУ перед АЦП установить на значение 0,75, чтобы максимальное входное напряжение составило 2,2 В. Также выбрать первый вход АЦП как ADC0.1 (P0.2), указать, что аналоговая «земля» подаётся в АЦП с P0.1/AGND pin, установить

делитель системной тактовой частоты на 4 и таким образом тактировать АЦП частотой 18 МГц. В этом случае общее время аналого-цифрового преобразования составит 1,167 мкс.

В настройках интерфейса SPI (рис. 4д) необходимо разрешить SPI (Enabled), выбрать коэффициент деления тактовой частоты равным 2, что даёт частоту тактового сигнала SCK равной 12 МГц, и выбрать 3-проводный режим master. Кроме того, необходимо поставить галочку

в поле Clock/Data, чтобы сигналы SPI выводились в соответствующие порты МК.

Далее, чтобы вся конструкция работала, необходимо разрешить матрицу соединений (рис. 4е).

В остальных трёх опциях, отмеченных галочками, установить следующие настройки: Interrupts – запретить, Voltage Regulator – разрешить и Watchdog Timer – запретить.

После этого необходимо переключиться в режим Default Mode Port I/O,

**Листинг 1. Подпрограмма для работы с АЦП**

```

//-----
uint16_t ACP(uint8_t NK) {
uint32_t accumulator = 0; // accumulator for averaging
uint32_t result, mV; // mV - measured voltage in mV
uint16_t rez;
uint8_t measurements; // = 8 measurement counter
ADC0MX = (NK == 1) ? ADC0MX_ADC0MX_ADC0P1 : ADC0MX_ADC0MX_ADC0P2;
//NK=1/2 => ADC0MX=ADC0MX_ADC0MX_ADC0P1/ADC0MX_ADC0MX_ADC0P2
for (measurements = 0; measurements < 8; measurements++) {
ADC0CN0_ADINT = 0; // clear ADC0 conv. complete flag
ADC0CN0_ADBUSY = 1; // Start a conversion by setting ADBUSY
while (!ADC0CN0_ADINT); // wait conversionComplete
accumulator += ADC0; // DATA 0BDH ; ADC0 Data Word
}
//result = accumulator / 8;
result = accumulator >> 3;
// Vref (mV)/gain(=0,75)
// measurement (mV) = ----- * result (bits)
// (2^14)-1 (bits)
// Vref = 1,65 V = 1650 mV
// 1650 mV / 0,75 = 2200 mV
// (2^14)-1 = 16384-1=16383

mV = (result * 2200) >> 14;
//mV = (result * 2200)/16383;
rez = mV;
return (rez);
}
//-----

```

в результате чего на экран выведется корпус МК со всеми портами (рис. 4ж). Прежде всего, необходимо с помощью команд skip, которые отмечены красными крестиками, передвинуть сигналы SPI в нижнюю часть корпуса, чтобы их можно было легко соединить с разъёмом OLED-дисплея (см. рис. 2в).

Порты P0.1 (аналоговая «земля»), P0.2 (аналоговый вход 1-го канала, ADC0.1) и P0.4 (аналоговый вход 2-го канала, ADC0.2) настроить как аналоговые входы/выходы – Analog I/O (пример – рис. 4з). Порты сопряжения МК с дисплеем (см. также рис. 2в): P2.2 (MOSI), P2.0 (SCK), P1.6 (RES), P1.5 (D/C) и P1.4 (CS) настроить как цифровые выходы – Digital Push-Pull Output (пример – рис. 4и). Порты P2.1 (MISO) и все остальные неиспользуемые порты настроить как цифровые входы – Digital OpenDrain I/O (пример – рис. 4к).

После того как все настройки сделаны, необходимо нажать на кнопку двойной дискеты в верхней левой области экрана, чтобы записать всю конфигурацию на диск. При этом на C51 автоматически сгенерируется файл подпрограммы инициализации устройств InitDevice.c, которая подключится к основной программе, т.е. в самом начале основной программы (Main) будет обращение к подпрограмме InitDevice.c: enter\_DefaultMode\_from\_RESET());

Теперь по поводу самих подпрограмм.

Таких подпрограмм три.

Первая – инициализация и очистка дисплея. Поскольку об этом подробно описано в [5], чтобы не повторяться, эта подпрограмма не приводится.

Вторая – подпрограмма аналого-цифрового преобразования.

Эта подпрограмма uint16\_t ACP(uint8\_t NK) организована в виде функции, аргументом которой является номер канала (1 или 2), АЦП которого необходимо произвести, а полученный результат – это 16-разрядное (uint16\_t) значение самой функции. Вначале подпрограмма выясняет, какой канал необходимо подключить, и устанавливает значение мультиплексора на данный канал, а затем производит 8-кратное измерение напряжения по этому каналу и осредняет его. Далее, поскольку в качестве опорного напряжения используется внутренний источник опорного напряжения 1,65 В и коэффициент усиления внутреннего ОУ, равный 0,75 (см. рис. 4а), результат умножается на 2200 мВ (= 1,65 В/0,75) и делится на 16 383 ( $2^{14} - 1$ ), так как разрядность АЦП – 14 бит. С погрешностью в 1 бит в качестве делителя можно использовать число 16 384 ( $2^{14}$ ), или, другими словами, вместо деления, которое производится достаточно долго, можно исполь-

зовать простой сдвиг результата на 14 разрядов вправо. Обращение к этой подпрограмме очень простое. Например, чтобы измерить напряжение первого канала U1, необходимо написать: U1 = ACP(1); (см. далее).

Для приблизительной оценки времени аналого-цифрового преобразования двух каналов, с учётом 8-кратного измерения по каждому каналу, необходимо учесть, что максимальное время одного АЦП составляет 1,167 мкс (см. рис. 4а). Умножив это время на 8 и учитывая, что каналов 2, получим:  $T_{\text{АЦП}} = 1,167 \text{ мкс} \times 8 \times 2 = 18,672 \text{ мкс} \approx 20 \text{ мкс}$ .

Подпрограмма с комментариями приведена в листинге 1. Эта подпрограмма взята из одного из примеров работы с АЦП в Simplisity Studio, поэтому некоторые комментарии оставлены в оригинальном виде.

Третья подпрограмма – вывод гистограммы на дисплей. Но прежде чем её описывать, сделаем некоторое отступление.

Дисплей OLED 1306 состоит из 8 строк по 8 пикселей по вертикали в каждой строке. Верхние две строки имеют жёлтый цвет, остальные – синий. Количество столбцов в дисплее 128.

Имеет смысл синий цвет (6 нижних строк) использовать как нормальный режим работы, т.е. когда уровень звука не выходит за предел, в котором могут возникнуть искажения, а жёлтый цвет – как начало режима, в котором уровень звука находится выше этого предела. Чтобы соотношение уровня звука выше предела и нормального режима было наиболее реальным, для жёлтого цвета желательнее использовать всего одну строку, т.е. отношение количества пикселей жёлтого цвета и количества пикселей нормального режима составляло 1/7, или, другими словами, использовать 7 строк, а 8-ю строку не использовать.

Поскольку максимальное напряжение, подаваемое на АЦП, составляет 2200 мВ (см. выше), имеет смысл оценить, каким образом строить столбец, высота которого пропорциональна входному напряжению. Максимальная высота столбца составляет 7 строк  $\times$  8 пикселей = 56 пикселей. То есть 56 пикселей должны отображать 2200 мВ. Если разделить 2200 мВ на 56 пикселей, получим:  $2200 \text{ мВ} / 56 = 39,27 \text{ мВ} \approx 40 \text{ мВ}$ . Если принять, что 40 мВ составляет 1 пиксель, то получим, что дисплей может отражать:  $40 \text{ мВ} \times 56 \text{ пикселей} = 2240 \text{ мВ}$ , что даже чуть больше, чем

2200 мВ, или, другими словами, область отображения напряжения на дисплее чуть больше реального напряжения. Поскольку каждая строка состоит из 8 пикселей, имеет смысл выяснить, какому напряжению соответствует каждая строка. Для этого умножим 40 мВ на 8 пикселей и получим:  $40 \text{ мВ} \times 8 \text{ пикселей} = 320 \text{ мВ}$ . Поскольку 7-я строка жёлтого цвета отражает режим работы выше предела, в котором могут возникнуть искажения, порог начала такого режима будет составлять:  $6 \text{ строк} \times 320 \text{ мВ} = 1920 \text{ мВ}$ . Учитывая, что Ку ОУ DA1 и DA2 составляет 2, реальное напряжение порога будет составлять:  $1920 \text{ мВ} / 2 = 960 \text{ мВ} = 0,96 \text{ В}$ , т.е. почти такому же значению (0,95 В), которое использовалось в пик-детекторе, описанном в [2].

Таким образом, получаем следующий алгоритм получения высоты столбца для вывода на экран дисплея.

Выясняем, сколько целых строк, например, переменная *c* содержит, если входное напряжение равно *UL*, для чего его необходимо разделить на 320:  $c = UL / 320$ . В эти (нижние) строки необходимо выводить байт 0xff, т.е. полностью их закрашивать. Далее необходимо выяснить, сколько пикселей потребуются вывести в верхнюю строку, или, другими словами, чему должно равняться значение самого верхнего байта. Для этого нужно получить остаток *ost* от деления ( $ost = UL \% 320$ ) и разделить его на 40 мВ, т.е. получить целую часть остатка ( $c\_ost = ost / 40$ ). Необходимо отметить, что всё деление производится в целых числах. Для получения значения самого верхнего байта (*byte\_verh*) количество его младших бит, которые соответствуют пикселям, должно равняться числу остатка *c\_ost*. Если, например,  $c\_ost = 3$ , то значение *byte\_verh* = 00000111, при  $c\_ost = 5$  *byte\_verh* = 00011111 и т.п. Каким образом это получить? Самый простой путь – написать 7 операторов *if*, в которых перечислить все комбинации. Но такой путь, во-первых, очень долгий и, во-вторых, займёт много места в программе. Однако можно поступить следующим простым способом. Если взять байт со всеми единицами  $11111111_2 = 0xff$  и сдвинуть его влево на число остатка, т.е. если, например,  $c\_ost = 3$ , то при таком сдвиге правые три бита обнулятся:  $11111000_2$ . Если теперь инвертировать все биты полученного числа, то получим 00000111, т.е. то, что требуется. Оператор инверсии всех бит числа (~), как правило, называют двоичным дополне-

## Листинг 2. Подпрограмма вывода гистограммы

```
//-----
u//-----
void outUL(uint16_t UL,uint8_t NK) { //UL - показание АЦП в мВ
uint8_t c, c_ost, byte_verh,NA,KA;
uint16_t ost;
c = UL / 320; //целая часть
ost = UL % 320; //остаток
c_ost = ost / 40; //
// byte_verh=0xff-(0xff << c_ost);
byte_verh = ~(0xff << c_ost); //»~» - побитовое дополнение/инверсия всех бит
for (k = 0; k < c; k++) {
ML[k] = 0xff; //закраска синим нижних строк
}
ML[c] = byte_verh; // верхний байт
if (c < 6) {
for (k = c + 1; k < 7; k++) {
ML[k] = 0x00; //закраска черным верхних строк
}
}
if (NK==1){
NA=90; //левый канал
KA=110; }
else {
NA=20; //правый канал
KA=40; }
//-----
//вывод массива на экран
//-----
CS = 1;
//-----
// Построение гистограммы
//-----
outcmd(0x21); // Установка столбца
outcmd(NA); // Начальный адрес
outcmd(KA); // Конечный адрес

outcmd(0x22); // Установка строки
outcmd(0); // Начальный адрес
outcmd(6); // Конечный адрес

DC = 1; //Данные
CS = 0;

for (l = 0; l < 20; l++) { // 20 столбцов
for (k = 0; k < 7; k++) { // 7 строк
outspl(ML[k]); // Закраска
}
}
CS = 1;
} // конец п/п
//-----
```

нием или, реже, инверсией. Таким образом, получаем следующее выражение для верхнего байта:  $byte\_verh = \sim(0xff \ll c\_ost)$ . Для вывода столбца предусмотрен массив с 8-ю элементами *ML*[8], в который и будут выводиться данные.

Исходя из количества столбцов в дисплее (128), имеет смысл количество столбцов для каждой гистограммы принять равным 20, или, другими словами, ширину гистограммы принять равной 20 пикселям, и две гистограммы расположить на некотором расстоянии друг от друга. Например, гистограмму левого канала выводить с 90 по 110-й столбец, а правого – с 20 по 40-й.

Подпрограмма вывода гистограммы *outUL*(uint16\_t *UL*,uint8\_t *NK*) так-

же оформлена в виде функции, аргументами которой являются входное напряжение (*UL*) и номер канала АЦП (*NK*). Для обращения к ней необходимо указать напряжение (например, *U1*) и номер канала (например, 1). Например, для вывода гистограммы левого канала необходимо написать: *outUL*(*U1*,1).

Подпрограмма с комментариями приведена в листинге 2, и, учитывая предыдущее объяснение, её несложно понять.

Оценим время работы этой подпрограммы. Скорость работы интерфейса SPI – около 12 Мбод (см. рис. 4е), или  $12\,000\,000 \text{ бод} / 8 = 1\,500\,000 \text{ байт/с}$ . Учитывая, что каждая гистограмма состоит из 20 столбцов по 7 байт каждый, полу-

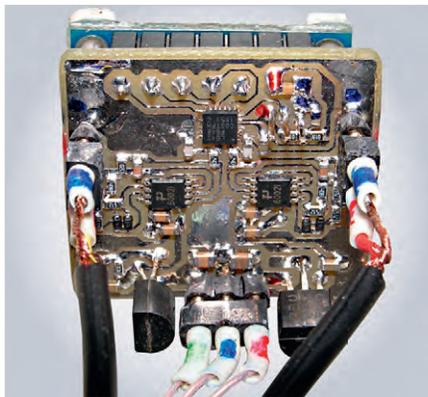


Рис. 5. Устройство в сборе, вид с обратной стороны лицевой панели корпуса усилителя

чим, что для вывода одной гистограммы потребуется вывести  $7 \times 20$  байт = 140 байт, а для двух, соответственно, – 280 байт. Разделив 280 байт на 1 500 000 байт/с, получим  $186 \text{ мкс} \approx 200 \text{ мкс}$ . Таким образом, время вывода на дисплей примерно в 10 раз больше времени работы АЦП (20 мкс – см. выше). Общее время вывода двух гистограмм с учётом АЦП составит около 240 мкс. Частота обновления экрана дисплея составит  $1/240 \text{ мкс} = 1/0,24 \text{ мс} = 4,167 \text{ кГц}$ , т.е. чуть более 4 кГц. Это более чем на порядок быстрее обновления экрана телевизора (100–200 Гц).

В качестве дисплея можно использовать и более медленный, цветной 0,96" TFT-дисплей с IPS-матрицей. В этом дисплее вместо вывода одного бита, определяющего цвет (как в OLED 1306), требуется вывести 2 байта цвета (16 бит), т.е. он в 16 раз медленнее OLED 1306. Но даже в этом случае его частота обновления экрана составит



Рис. 6. Устройство в работе, вид с лицевой панели усилителя

$4000 \text{ Гц} / 16 = 250 \text{ Гц}$ , хотя эта частота может быть незначительно снижена, поскольку из-за чуть большего разрешения этого дисплея по сравнению с OLED 1306 (80×160 пикселей против 64×128 в OLED 1306) придётся выводить большее количество пикселей (байт), правда, ненамного. Можно предположить, что частота обновления экрана будет всё равно больше частоты обновления экрана телевизора. Этот дисплей полноцветный (а не двухцветный, как OLED 1306). В связи с этим в качестве цвета гистограмм в нормальном режиме работы можно использовать зелёный цвет, а в режиме перегрузки, т.е. превышения порога, когда могут возникнуть искажения, – красный, что намного эстетичней, чем соответственно синий и жёлтый цвета в OLED 1306.

С учётом предыдущих подпрограмм основная программа очень проста и приведена в листинге 3. Она измеряет напряжение каждого канала и выводит на дисплей обе гистограммы. Как можно заметить, программа заиклена (её последний оператор goto A).

### Листинг 3. Основная программа

```
//-----
u//-----
// main() Routine
// -----
int main(void) {
// Call hardware initialization routine
enter_DefaultMode_from_RESET();
//-----
CLS(); // Инициализация ЖКИ
CS = 1;
//-----
A:
U1 = ACP(1);
DEL2US();
U2 = ACP(2);
U1 = U1 * 3; // 2-Ку ИУ; 2-Ку ОУ выпрямителя (10,2К); 0,75-Ку АЦП МК
U2 = U2 * 3; // 2*2*0,75=3.
outUL(U1,1); // левый канал
outUL(U2,2); // правый канал
goto A;
}
```

После трансляции всей программы в среде Simplisity Studio внизу экрана появляется следующее сообщение:

```
Program Size: data=64.1
xdata=0 const=0 code=1105
LX51 RUN COMPLETE. 0
WARNING(S), 0 ERROR(S)
Finished building target:
EFM8LB12F64E-C-QFN24_6.omf
```

Из этого сообщения следует, что программа использует около половины (всего 64 байта) внутренней оперативной памяти с прямой адресацией (data = 64.1), размер которой 128 байт, внешняя дополнительная оперативная память с косвенной адресацией размером 4096 байт не используется вообще (xdata = 0), размер кодовой части программы составляет 1105 байт (code = 1105), т.е. чуть более 1 кбайт, что соответствует около 1/64 от максимального размера программной памяти для этого МК, равного 64 кбайт. В связи с этим в качестве МК могут использоваться МК EFM8LB11F16 или EFM8LB10F16 (они дешевле EFM8LB12F64) с программной памятью 16 кбайт. Программа использует так называемую small model, где все данные располагаются в памяти с прямой адресацией (data), и которая работает наиболее быстро.

Программа в уже готовом загрузочном \*.hex-формате (EFM8LB12F64E-C-QFN24\_6.hex) приведена в дополнительных материалах к статье на сайте журнала.

### Конструкция и результаты работы устройства

К плате дисплея по углам, где расположены крепёжные отверстия, эпоксидной смолой приклеены 4 квадратные пластиковые пластины размером 4×4×2 мм (рис. 5). Чтобы отражающая поверхность дисплея не касалась поверхности корпуса усилителя, толщина пластины выбрана чуть больше

(на 0,2–0,3 мм) расстояния от поверхности платы дисплея до верхней поверхности самого дисплея. Эти пластины, в свою очередь, приклеены к обратной стороне лицевой панели корпуса усилителя, в которой прорезано окно по размеру поверхности дисплея, на которой расположены все пиксели. В качестве клея автор использовал дихлорметан (можно использовать любой другой клей, растворяющий пластик). Плата устройства просто вставлена своими контактами в соответствующие контакты платы дисплея и на них достаточно прочно держится. Кабели питания и входных сигналов вставлены в соответствующие контакты платы устройства.

По общему виду лицевой поверхности корпуса работающего усилителя (рис. 6) о реальной работе устройства можно судить только косвенно по фотографии, т.е. в статике. Поэтому для того, чтобы реально убедиться в работе устройства, в дополнительных материалах к статье приведены два 15-секундных видеофайла (Old brown shue.mov и It's probable me.mov) и один 9-секундный (PICT0003.mov), снятые при работе усилителя, ког-

да к нему был подключён телефон, который воспроизводил реальные звуковые \*.mp3 файлы. При этом регулятор громкости на усилителе и движок громкости на телефоне были установлены на максимум. Первые два файла – Old brown shue.mp3 и It's probable me.mp3 – имеют мировую известность, и представлять их нет необходимости. Третий видеофайл (PICT0003.mov) получен, когда напряжения U1 и U2 умножаются не на 3 (см. последнюю программу), а на 4. В этом случае реальные напряжения, отражающиеся на дисплее в виде гистограмм, не совсем соответствуют действительности, однако их повышенное значение позволяет оценить весь диапазон изменения высоты гистограмм (на них можно заметить много моментов, когда высота гистограмм зашкаливает, и на них появляется верхняя область жёлтого цвета). Поскольку аппарат, на который снимались видеофайлы, не пишет звук, все \*.mov - файлы беззвучные.

### Заключение

Применение МК EFM8LB12, двух ОУ MCP6002 и дисплея OLED 1306 позво-

лило сконструировать малогабаритный и малоинерционный индикатор уровня звука, который показал отличную работу в составе аудиоусилителя. По стоимости он в несколько раз меньше аналогичных готовых покупных устройств. Автор рекомендует его для повторения.

### Литература

1. Кузьминов А. Применение инструментального усилителя в усилителе низкой частоты // Современная электроника. 2016. № 6.
2. Кузьминов А. Усовершенствованный УМЗЧ на базе ИУ и мощных ОУ // Современная электроника. 2019. № 5.
3. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: справочное руководство. М.: Мир, 1982.
4. Кузьминов А.Ю. Связь между компьютером и микроконтроллером. Современные аппаратные и программные средства. М.: Перо, 2018.
5. Кузьминов А. НЧ генератор синусоидальных сигналов на базе синтезатора частоты AD9833, микроконтроллера EFM8SB10 и 0.91" дисплея OLED-1306 с батарейным питанием // Современная электроника. 2024. № 2.

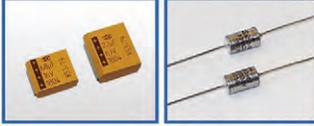




**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
ЭЛЕКОНД**

**РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО КОНДЕНСАТОРОВ**

<p><b>Оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы K50-...</b>            Номинальное напряжение, U<sub>ном</sub>, В,            Номинальная емкость, C<sub>ном</sub>, мкФ,            Диапазон температур среды при эксплуатации, T<sub>ср</sub>, °С</p>	<p>3,2 ... 485            1,0 ... 470 000            -60 ... 125</p>	
<p><b>Объемно-пористые танталовые конденсаторы K52-...</b>            Номинальное напряжение, U<sub>ном</sub>, В,            Номинальная емкость, C<sub>ном</sub>, мкФ,            Диапазон температур среды при эксплуатации, T<sub>ср</sub>, °С</p>	<p>3,2 ... 200            1,5 ... 60 000            -60 ... 175</p>	
<p><b>Оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы K53-...</b>            Номинальное напряжение, U<sub>ном</sub>, В,            Номинальная емкость, C<sub>ном</sub>, мкФ,            Диапазон температур среды при эксплуатации, T<sub>ср</sub>, °С</p>	<p>2,5 ... 63            0,033 ... 2 200            -60 ... 175</p>	
<p><b>Суперконденсаторы K58-...</b>            Номинальное напряжение, U<sub>ном</sub>, В,            Номинальная емкость, C<sub>ном</sub>, Ф,            Диапазон температур среды и эксплуатации, T<sub>ср</sub>, °С</p>	<p>2,5 ... 2,7            1,0 ... 4 700            -60 ... 65</p>	
<p><b>Накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов НЭЭ, МИК, МИЧ, ИТИ</b>            Номинальное напряжение, U<sub>ном</sub>, В,            Номинальная емкость, C<sub>ном</sub>, Ф,            Диапазон температур среды при эксплуатации, T<sub>ср</sub>, °С</p>	<p>5,0 ... 48            0,08 ... 783            -60 ... 65</p>	

Россия, 427968, Удмуртская Республика, г. Сарапул, ул. Калинина, 3  
 Тел.: (34147) 2-99-53, 2-99-89, 2-99-77, факс: (34147) 4-32-48, 4-27-53  
 e-mail: [elecond-market@elcudm.ru](mailto:elecond-market@elcudm.ru), [www.elecond.ru](http://www.elecond.ru)



Реклама

# Частицы в ультрачистой воде

Владимир Смирнов, Светлана Якименко  
(АО «НПК МЕДИАНА-ФИЛЬТР»)

Статья написана по материалам международной технологической дорожной карты для полупроводников (IRDS™ 2023) и посвящена обзору технологии контроля концентрации частиц в ультрачистой воде.

Эволюция дизайна полупроводниковых устройств от Planar FET (планарные) до FinFET<sup>1</sup> позволила продолжить развитие технологического узла до шага 24 нм к 2022 году. Ширина канала при этом составляет 6 нм: она определяет размер «частиц-убийц» модуля FIN, равный 3 нм. Высота модуля FIN достигает 60 нм, то есть соотношение сторон у модуля FIN – 10:1, что приводит к потенциальным проблемам надёжности устройства, связанным с физическим повреждением «пиков» и разрушением модуля FIN. К 2025 году стратегия проектирования устройств [1] потребует использования транзисторов с боковым затвором GAAFET (Gate-All-Around Field-Effect Transistor) с использованием нанотрубок и нанолитов, призванных устранить структурные проблемы, связанные с дизайном транзисторов FIN [2]. Геометрический размер мельчайшей части в этой технологии составляет 3 нм. Наконец, к 2031 году дизайн устройств перейдёт к 3D-стекам с топологией 2 нм, что добавит дополнительные трудности. Продолжение процесса уменьшения размеров устройств с увеличением их сложности приводит к необходимости дальнейшего расширения возможностей обнаружения и удаления критических частиц, которые являются основным источником дефектов, препятствующих повышению надёжности устройств.

При текущем уровне развития технологий наблюдаются значительные пробелы в возможностях измерения загрязнений. Сложность современных полупроводниковых устройств и постоянное сокращение геометрического масштаба привели к тому, что размер «частиц-убийц» стал намного меньше, чем возможности самой современной методики обнаружения частиц. Доступ-

ный мониторинг частиц в ультрачистой воде (УЧВ) ограничен лазерными счётчиками частиц, способными отслеживать частицы размером 20 нм с ограниченной эффективностью счёта. В стадии разработки и коммерциализации находятся новые измерительные устройства для частиц меньшего размера, но их возможности ещё не полностью оценены. Присутствие предшественников частиц в УЧВ может повлиять на некоторые из этих новых инструментов, ограничивая их способность количественно определять частицы размером менее 20 нм.

Такая ситуация наблюдается в системах получения УЧВ уже почти десять лет: поставщики счётчиков частиц инвестируют в устранение метрологического разрыва, в то время как последний только увеличивается. Таким образом, в настоящее время в УЧВ контролируют размер и содержание частиц, размеры которых намного превышают размер «частиц-убийц». Ситуацию усугубляют также следующие факторы.

1. Самая передовая фильтрация достигла предела контроля «частиц-убийц» («частиц-убийцы» значительно меньше, чем самые маленькие размеры пор фильтра).
2. Есть основания полагать, что некоторые материалы высокой чистоты выделяют значительное количество «частиц-убийц», которые невозможно контролировать современными метрологическими средствами.
3. Существует опасение, что высокомолекулярные полимеры (ионообменные смолы, полимеры) могут образовывать предшественников «частиц-убийц», когда они прикрепляются к пластине и вода испаряется.

Предшественники частиц. Это новый параметр, добавленный в дорожную кар-

ту развития технологий подготовки УЧВ в 2021 году. Критический размер частиц для массового производства полупроводников сейчас составляет 3,5 нм. Полупроводниковая промышленность вступила в область, где частицы, предшественники частиц и молекулы в жидкостях начинают перекрываться. Предшественник частиц определяется как растворённое молекулярное соединение, которое может образовывать частицы на пластине. Возможность отличать предшественников частиц от твёрдых частиц в УЧВ становится критически важной. Хотя усовершенствованная ультра- и наночистота может удалять твёрдые частицы нанометрового размера, тот же фильтр может иметь ограниченную способность или вообще не удалять предшественников частиц. SEMI недавно разработала новый стандарт для измерения количества предшественников частиц в УЧВ [3].

Следует отметить, что контроль частиц в УЧВ и жидких реагентах – не единственный параметр, требующий изменения подхода к повышению выхода годных к эксплуатации чипов. Однако на сегодняшний день частицы более критичны, чем другие типы загрязнителей, и описанный ниже подход может быть использован для иллюстрации подхода к метрологическому обеспечению других контролируемых параметров.

В условиях, когда невозможно достоверно определить содержание частиц менее 20 нм в потоке УЧВ, IRDS [1] был сформулирован подход встроенного качества, так называемый «проактивный подход»<sup>2</sup> для мониторинга частиц в УЧВ. Это означает исследование закономерностей распределения частиц в модельном растворе. Например, в результате исследований было выяснено, что размер частиц обратно пропорционален третьей степени их концентрации. Из этого следует, что если размер частицы 20 нм, а концентрация  $C_{20}$ , то концентрация частиц размером 10 нм будет равна  $C_{10} = C_{20} (20/10)^3$ , то есть  $8 \times C_{20}$ . Уменьшение размера частиц

<sup>1</sup> Проблемой планарных транзисторов размером от 22 нм был затвор, или ворота (Gate), который из-за своих размеров приводил к самопроизвольному туннелированию электронов от истока к стоку. Инженеры решили вытянуть канал (который находится между истоком и стоком) внутрь затвора в своеобразный плавник («Fin») и получить полноценную 3D-структуру. Это позволило перейти на техпроцесс 22 нм и меньше. Компания Intel была первой, кто использовал технологию FinFET в 2012 г. на процессорах Ivy Bridge.

<sup>2</sup> «Proactive Approach» [1]. «Проактивный подход» противопоставляется активному подходу, связанному с непосредственным контролем каждого параметра качества в УЧВ. «Проактивный подход» предполагает такие технологические решения, как установленные корреляции и достоверный метрологический контроль параметров, которые обеспечивают выход качественной продукции на уровне не менее 80% от объёма выпуска.

в 2 раза приводит к 8-кратному увеличению концентрации этих частиц.

Наряду с описанным выше подходом используется метод, моделирующий процесс изготовления чипа на кремниевой пластине с подсчётом частиц, осевших на пластине после каждой процедуры, имитирующей изготовление чипов на контрольном образце. Подсчёт частиц на поверхности кремниевой пластины проводят с помощью технологии Surface Enhanced Particle Sizing (SEPS), работающей в диапазоне от 8 нм до 100 нм. В проведённых экспериментах компаниями IRDS и More Moore был осуществлён физический подсчёт частиц и определён их размер на площади 10% от площади пластины. В результате исследований, в которых использовался описанный выше подход, были [1] сформулированы ожидания концентрации дефектов на 300 мм кремниевой пластине в 2022 и 2025 годах, расчёты выполнялись с учётом размеров слоёв Gate и Fin (таблица).

В настоящее время для контроля концентрации частиц в УЧВ предлагается использовать методологию, представленную в стандартах [4, 5, 6]. В стандарте [4] рассматриваются возможности фильтра смешанного действия с точ-

Дорожная карта по контролю частиц в УЧВ

Часть транзистора	2022				2025			
	D, нм	D/пл., шт.	Сч/мл, шт.	IRDS Сч/мл, шт.	D, нм	D/пл., шт.	Сч/мл, шт.	IRDS Сч/мл, шт.
Gate	9,0	5,0	3,3	1	7,0	6,6	4,4	1
Fin	3,0	136,1	125,6	100	3,5	52,8	43,9	10

D, нм – размер дефекта («частица-убийца»); D/пл., шт. – число обнаруженных дефектов на пластине 300 мм; Сч/мл, шт. – число частиц в 1 мл УЧВ; IRDS Сч/мл, шт. – число частиц в 1 мл УЧВ; согласно ожиданиям IRDS

ки зрения задержания частиц. Как правило, на ФСД задерживается около 50% частиц размером менее 20 нм, что, вероятно, связано с их поверхностным зарядом. Также стандарт позволяет оценить вероятность вымывания из ФСД предшественников частиц. Стандарт [5] предлагает методологию определения эффективной задерживающей способности фильтров частиц размером менее 15 нм, которые используются в системах распределения ультрачистой воды (УЧВ). Оценка применяемых на сегодняшний день ультрафильтров показывает, что они способны задержать субмикронные частицы менее 20 нм с эффективностью 75% [1].

### Литература

1. International Roadmap for Devices and Systems™ 2023 update yield enhancement.
2. Samsung starts shipping world’s first 3nm chips. By Lee Ji-yoon. Published: July 25, 2022 – 14:59 // URL: <https://www.koreaherald.com/view.php?ud=20220725000623> (дата обращения: 20.02.2024).
3. SEMI F121 – Guide for Evaluating Metrology for Particle Precursors in Ultrapure Water. Опубликовано 09.2023.
4. SEMI C93 – Guide for Determining the Quality of Ion Exchange Resin Used in Polish Applications of Ultrapure Water System. Опубликовано 02.2017.
5. SEMI C79 – Guide to Evaluate the Efficacy of Sub-15 nm Filters Used in Ultrapure Water (UPW) Distribution Systems. Опубликовано 08.2019.
6. SEMI F104 – Test Method for Evaluation of Particle Contribution of Components Used in Ultrapure Water and Liquid Chemical Distribution Systems. Опубликовано 05.2020.






- УЛЬТРАЧИСТАЯ ВОДА
- ДЕИОНИЗОВАННАЯ ВОДА
- ВОДА ДЛЯ ЛАБОРАТОРИЙ 
- ОБЕССОЛЕННАЯ ВОДА
- ТЕХНИЧЕСКАЯ ВОДА

## СИСТЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ОТРАСЛИ

ASTM D5127-13

ГОСТ 52501-2005

ОСТ 11.029.003

ГОСТ Р 58431-2019

ГОСТ Р 58144-2018

SEMI

ISO 3696

- ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПОСТАВКА ОБОРУДОВАНИЯ
- МОНТАЖ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ
- ПУСКОНАЛАДКА
- СЕРВИС
- АУДИТ



-  105318, Москва, ул. Ткацкая, д. 1
-  +7 (495) 660-07-71
-  [www.mediana-filter.ru](http://www.mediana-filter.ru)
-  [info@mediana-filter.ru](mailto:info@mediana-filter.ru)

Реклама

# Открытие квантовых точек и разработка технологии их массового производства.

## Часть 2. Коллоидные полупроводниковые квантовые точки

Виктор Алексеев

В первой части этой статьи были рассмотрены общие аспекты нанокристаллов как заключительной триады полупроводников с квантово-размерным эффектом и описано открытие квантовых точек в стеклянных матрицах, сделанное Алексеем Екимовым в 1981 году в ГОИ им. Вавилова.

Вторая часть посвящена коллоидным квантовым точкам, впервые полученным в виде сухого порошка Луисом Брюсом, а в третьей будет рассмотрена технология синтеза коллоидных квантовых точек.

### Луис Брюс – открытие и теоретическая разработка коллоидных полупроводниковых квантовых точек

Луис Юджин Брюс (Louis Eugene Brus) родился в 1943 году в Кливленде, штат Огайо, США. В 1965 году он окончил бакалавриат по химии, физике и математике университета Райса (Rice University). Затем Брюс продолжил образование в Колумбийском университете по квоте МО США. В 1969 году Луис Брюс защитил докторскую диссертацию (PhD) по химической физике и был вынужден «отработать» своё университетское образование на действительной военной службе в Исследовательской лабо-

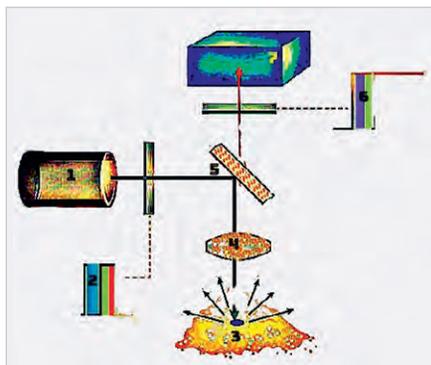


Рис. 1. Принцип действия «рамановского спектрофотометра» (1 – лазер; 2 – линейный фильтр; 3 – исследуемый образец; 4 – фокусирующий фильтр; 5 – дифракционно-дихраичная оптическая система; 6 – широкополосный фильтр; 7 – детектирующий блок)

ратории ВМС США (US Naval Research Laboratory, Washington). После демобилизации в 1973 году Брюс был принят в «AT&T Bell Laboratories» (Bell Labs), в которой проработал вплоть до 1996 года. Здесь он сделал свои основные научные открытия, которые были по достоинству оценены Нобелевской премией в 2023 году. В те годы фирма Bell Labs была на пике своего развития, и считалось, что в ней располагалась одна из лучших в мире лабораторий для проведения физических научных исследований [1].

В начале своей деятельности небольшая группа Луиса Брюса занималась спектроскопией полупроводниковых микрокристаллов во взвесах благородных газов при криогенных температурах, которые ведут себя, как устойчивые коллоидные растворы. В рамках этих работ Луис Брюс исследовал фотохимические процессы, связанные с энергетической релаксацией возбуждённых молекул в инертных газах при температуре жидкого гелия (4К). При этом основная методика исследований была связана с анализом «рамановских спектров» отдельных молекул, полученных во время фотохимических реакций с помощью «Resonance Raman (RR) Spectroscopy».

В этой связи нужно вспомнить ещё одного Нобелевского лауреата: индийского физика Чандрасекхара Венката Раман, который получил премию по физике в 1930 году «за работы по рассеянию света».

Раман Чандрасекхара обнаружил, что при облучении некоторых веществ монохромным светом с определённой длиной волны в отражённом спектре возникают

новые линии, отличные от частоты падающего излучения. Этот эффект получил международное название «Resonance Raman – (RR)», а в русскоязычной литературе – комбинационное рассеяние. Этот процесс происходит не на атомах, как в случае упругого (релеевского) рассеяния, а на молекулах вещества. Частота света электромагнитной волны лазерного луча накладывается на собственные колебательные частоты молекул облучаемого вещества. В результате отражённый световой спектр будет иметь дополнительные частоты. Эти новые «спутники» в спектре КР являются комбинацией частот падающего света и частот колебательных и вращательных переходов электронов, обусловленных поляризацией молекул при прохождении через них возбуждающего излучения.

Принцип действия «рамановского спектрофотометра» показан на рис. 1 [2].

Общая для всех моделей схема рамановского спектрофотометра имеет одни и те же основные компоненты, показанные на рис. 1. Для возбуждения целевого излучения используются ультрафиолетовые или инфракрасные лазеры (1), длина волны которых настраивается с помощью линейного фильтра (2). Лазерный луч, попадая на исследуемый образец (3) через фокусирующий фильтр (4), порождает вторичное излучение. Дифракционно-дихраичная оптическая система (5) предназначена для отбора из спектра, испускаемого образцом, рамановского рассеянного излучения (Raman Scattered Light) на фоне неупругого рэлеевского (Raleigh) и антистоксовского (Anti Stokes) отражённого света, в зависимости от угла падения и длины волны. Выделенный сигнал направляется через широкополосный фильтр (6) на детектирующий блок (7).

В конце 1970-х Луис Брюс со своими молодыми помощниками разработали методику рамановской спектроскопии с лазерной накачкой, адаптированную к традиционным исследованиям, связанным с фотокатализом.

Применение лазеров позволило группе значительно повысить разрешение

лабораторного спектрофотометра и исследовать процессы синтеза нанокристаллов металлов и полупроводников в коллоидных растворах также в интервале реального интервала «комнатных» температур. В своих воспоминаниях, а также в своей нобелевской речи Луис Брюс говорит о том, что атмосфера безграничной свободы творчества, царившая тогда в Bell Labs, дала возможность отклониться от текущей тематики рутинных исследований и заняться вплотную спектроскопией процессов синтеза микрокристаллов в коллоидных растворах. В своей нобелевской речи он особенно подчёркивает тот факт, что руководство Bell Labs, поддерживавшее его исследования в тот момент, когда мировая научная общественность ещё не понимала фундаментального значения этого направления, несомненно заслуживает должной оценки их вклада в развитие нанотехнологий.

Используя поддержку руководства Bell Lab, группа Луиса Брюса стала экспериментировать с коллоидными растворами полупроводников.

Как отмечает сам Луис Брюс, он не был в начале 1980-х специалистом в коллоидной химии. Поэтому, сохраняя прежний подход к методике эксперимента, который Луис Брюс применял ещё при работе с коллоидными кристаллитами CdS и ZnO, он вынужден был использовать старые проверенные методики синтеза (рис. 2) [3].

В самом начале экспериментов с синтезом коллоидных микрокристаллов CdS и ZnO Брюс с сотрудниками использовали процесс контролируемой прямой реакции ионов  $Cd^{2+}$  с ионами серы  $S^{2-}$  в стабилизированном растворе сополимера малеинового ангидрида и стирола (Maleic Anhydride/Styrene Copolymer). Водные коллоидные растворы сульфида кадмия (0,0015 M, CdS) готовили в обычной химической посуде по стандартным химическим прописям.

В водных коллоидных растворах полупроводников поглощение света микрокристаллами создаёт подвижные электроны  $e^-$  и дырки  $h^+$ , которые могут мигрировать к поверхности и вступать в окислительно-восстановительные реакции с адсорбированными химическими веществами. Поэтому кристаллы CdS подвержены эффекту фотокоррозии, в процессе которого «дырки», образующиеся в валентной зоне полупроводника на свету, мигрируют к поверхности и разрушают его структуру.

Для предотвращения этого эффекта в раствор добавляли оксид рутения ( $RuO_2$ ),

который тонкой молекулярной плёнкой осаждался на поверхности микрокристаллов сульфида кадмия. Кислотность раствора контролировалась с помощью добавления соляной кислоты [4].

Исследование частиц свежеприготовленного коллоида с помощью просвечивающего электронного микроскопа показало, что в результате описанных выше химических реакций в водном растворе образовывались коллоидные микрокристаллы CdS с размерами от 5 до 30 нм.

В процессе экспериментов было выяснено, что при синтезе коллоидных полупроводниковых нанокристаллов не образуется ни «чистого» раствора, ни твёрдого осадка в виде макроструктур. Оказалось, что при нагреве до определённой температуры образуются сложные микрокристаллы, состоящие из отдельных атомов.

С помощью разработанного спектрофотометра Брюс исследовал спектры рассеянного излучения этих частиц (RR Spectra), которые были получены при возбуждении импульсным лазером на красителе с частотой 10 Гц и длиной волны 365 нм. Для контроля вторичного излучения использовался фотометр на базе ФЭУ с GaAs-детектором и разрешением в 1 нм.

Было обнаружено, что коллоидные частицы CdS подвергаются процессу «фотохимического старения». Так, например, когда выдерживали свежеприготовленный коллоидный раствор на свету в течение 12 часов, квантовый выход люминесценции увеличился в десятки раз. При этом пик эмиссии смещался в фиолетовую область примерно до 505 нм. В то же время абсорбционный спектр показал лишь очень незначительное увеличение на краю красной области спектра.

В процессе экспериментов с добавками  $RuO_2$  и  $PbS$ , покрывающими молекулярной плёнкой микрокристаллы CdS, было также обнаружено, что окислительно-восстановительные потенциалы (Redox Potentials) являются важными параметрами в процессах подавления рекомбинационной люминесценции. Тонкие однослойные плёнки этих добавок могут эффективно тушить излучение даже в частицах со средним гидродинамическим диаметром вплоть до 400 Å. Тот факт, что люминесценция может быть почти полностью погашена, означает, что рекомбинационное излучение контролируется поверхностной кинетикой.

В целом проведённые исследования показали, что рекомбинационное излу-



Рис. 2. В своих первых работах с коллоидными кристаллитами CdS и ZnO Луис Брюс использовал традиционные проверенные методики синтеза на базе прямой реакции ионов  $Cd^{2+}$  с ионами серы  $S^{2-}$

чение в коллоидных растворах микрокристаллов CdS может быть использовано в качестве нового инструмента при изучении поведения электронов и дырок в полупроводниках подобного типа [5].

Результаты этих работ, появившиеся в журнале «The Journal of Physical Chemistry» в 1982 году наряду с ранее опубликованной в 1981 году в журнале «Письма в ЖЭТФ» статьёй Алексея Екимова [6], вызвали огромный интерес во всём мире, поскольку указывали на новое фундаментальное физическое явление.

В 1982 году в Bell Labs была сформирована официальная программа исследований, направленная на изучение процессов переноса заряда в полупроводниковых коллоидных растворах. Поэтому Луис Брюс получил возможность «официально» заниматься коллоидными полупроводниковыми микрокристаллами.

В 1983 году группа завершила определённый этап работ с коллоидными кристаллами CdS. Полученные при этом результаты, по существу, стали основанием для присуждения Луису Брюсу Нобелевской премии в 2023 году.

Для приготовления микрокристаллов использовалась описанная выше методика. Концентрация мономера CdS составляла  $1,55 \times 10^{-3}$  M. Коллоидный раствор был стабилизирован сополимерами стирола и малеинового ангидрида ( $1 \text{ мг/см}^3$ ).

Использование просвечивающей электронной микроскопии (Transmission Electron Microscopy – TEM) позволило с высокой точностью определить распределение микрокристаллов по размеру. Типичный диаметр частиц составлял

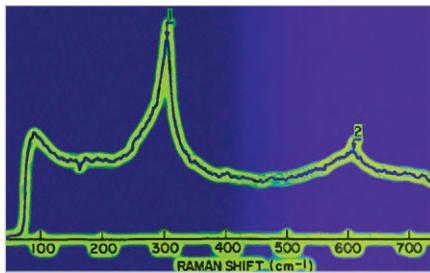


Рис. 3. Спектр резонансного комбинационного рассеяния (Resonance Raman Spectrum) свежеприготовленного коллоидного, разбавленного водой раствора CdS при pH7 и частоте возбуждения лазера 416 нм: Пик 1 – продольный оптический фон (ПОФ); Пик 2 – обертон ПОФ (LO overtone).

35 Å, что соответствует примерно шести элементарным атомным ячейкам. Средневзвешенный по массе диаметр был около 45 Å. Кристаллические частицы имели в основном кубическую структуру (CdS).

В своей нобелевской лекции Брюс рассказал, как он совершенно случайно обнаружил квантово-размерный эффект, проявлявшийся в его микрокристаллах сульфида кадмия. Как-то раз он измерил спектры свежеприготовленного раствора ранним утром и оставил пробирку с этим образцом на рабочем столе. Когда он вечером снова измерил спектры, то картина изменилась. Повторяя этот эксперимент несколько раз, Брюс выяснил, что если оставлять свежеприготовленный раствор в течение одного дня при pH 3, то в нём образуются крупные кристаллы с размерами примерно 125 Å. В коллоидном растворе термодинамика благоприятствует росту более крупных кристаллитов за счёт более мелких. Поэтому мелкие микрокристаллы растворяются и перекристаллизовываются в один более крупный «затравочный» кристаллит. Этот процесс Брюс объяснил изменением энергии запрещённой зоны за счёт «эффекта созревания Оствальда» (Ostwald Ripening), в процессе которого размер кристалла увеличивается до более выгодного с точки зрения термодинамики стабильного состояния.

Коллоидный раствор по мере старения оставался прозрачным без выпадения в осадок CdS. При этом после старения наблюдалась смешанная кристаллическая структура, как кубическая, так и гексагональная.

Одной из основных методик исследований группы Луиса Брюса была спек-

троскопия комбинационного рассеяния коллоидных растворов микрокристаллов CdS (рамановская спектроскопия). Анализ рамановских спектров (RRS) в принципе позволяет: идентифицировать химический состав пробы по характеристическим частотам и оценивать концентрации вещества по интенсивности пика; определять качество кристалла и степень кристалличности, используя ширину пика; на основе положения пика в спектре узнать состояние кристалла (примеси, остаточное напряжение, ориентация, симметрия).

При анализе рамановских спектров используют несколько специальных понятий, смысл которых необходимо уточнить.

Собственные колебания атомов и молекул кристалла распространяются внутри него в виде волн, энергия которых может носить квантованный характер, то есть может принимать только дискретные значения. Для удобства моделирования процессов в кристаллах в квантовой механике вводятся условные упрощения, которые получили название «квазичастицы» [7].

Одна из таких «квазичастиц», характеризующая квант колебательной энергии для идеальной кристаллической решетки, получила название «фонон». Фононы бывают двух типов: акустические и оптические. Не углубляясь в детали, можно сказать, что для акустических и оптических фононов по-разному определяются предельные значения квазиимпульса и энергии.

Акустический фонон подчиняется линейному дисперсионному соотношению и параллельному смещению всех атомов в элементарной ячейке, которое описывает звуковые колебания решётки.

Оптические фононы характеризуются при малых волновых векторах такими колебаниями атомов, при которых центр тяжести элементарной ячейки остаётся неподвижным. Различают поперечные (transverse – TR) и продольные (longitudinal – LO) фононы. Поперечные и продольные фононы – это типы колебаний в кристаллической решетке. Поперечные фононы вызывают колебания атомов, перпендикулярные направлению распространения волн, а продольные фононы включают колебания атомов, параллельные направлению распространения волн [8].

Другая интересующая нас квазичастица, названная «экситон», представляет собой «электронное возбуждение» в диэлектрике, полупроводнике или

металле, мигрирующее по кристаллу и не связанное с переносом электрического заряда и массы [9].

Характерной особенностью квазичастиц является то, что они могут взаимодействовать как между собой, так и с другими типами квазичастиц.

На рис. 3 показан спектр резонансного комбинационного рассеяния (Resonance Raman Spectrum) свежеприготовленного коллоидного, разбавленного водой раствора CdS при pH7 и частоте возбуждения лазера 416 нм [10].

По оси абсцисс отложены значения так называемого рамановского сдвига – «Raman Shift». По сути, это волновые числа, характеризующие скорость роста фазы волны по координате в пространстве ( $\Delta\nu$  – размерность,  $\text{см}^{-1}$ ). Ось ординат соответствует интенсивности рамановского рассеяния в относительных единицах.

Рамановский спектр, полученный при длине волны возбуждения 416 нм, содержит два ярко выраженных пика.

Первый пик со значением  $\Delta\nu$  рамановского сдвига  $RS = 305 \text{ см}^{-1}$ , что соответствует зарегистрированной в спектре рассеяния длине волны 421 нм. 346 нм определяет «продольную оптическую фононную моду первого порядка 1-ПОФМ» (First-Order Longitudinal Optical Phonon – 1LO).

Второй размытый пик со значением рамановского сдвига  $RS$  в районе  $605 \text{ см}^{-1}$  (длина волны  $\lambda = 426,740 \text{ нм}$ ) относится к высшей гармонике ПОФ (LO Overtone).

На эти пики, характеризующие фундаментальные частоты неупругого рассеяния объёмных образцов CdS, накладываются практически непрерывные частоты комбинационного рассеяния молекул воды. Как отмечает Луи Брюс, подъём кривой комбинационного рассеяния вблизи  $100 \text{ см}^{-1}$  (417,73 нм) обусловлен исключительно люминесценцией самой воды. Справедливости ради нужно отметить, что в более поздних работах других авторов отмечается, что моды рамановских спектров для CdSe были зарегистрированы на частотах в районе 420 нм при длинах волн возбуждения 4,77 нм и 5,23 нм [11].

Электронно-дырочная рекомбинационная люминесценция в значительной степени в эксперименте Брюса была потушена добавлением бензохинона ( $10^{-3} \text{ M}$ ). Аналогичные спектры наблюдались для длин волн лазерного возбуждения 395, 448 и 460 нм. При возбуждении длинами волн в красной (480, 503 и 532 нм) и в синей областях спектра (355 и 266 нм) интенсивность

рамановских спектров была намного меньше и находилась на границе инструментального обнаружения.

Основной рамановский пик на частоте 1LO для сухих объёмных образцов CdS (Bulk Roman Frequency) представляет собой правильную симметричную фигуру с одинаковым спадом и подъёмом значения рамановской интенсивности. При этом длина волны вершины пика изменяется в диапазоне от 303,1 до 306,3 см<sup>-1</sup> в интервале температур от 315 до 50 К (градусов Кельвина) [12].

На рис. 3 в стилизованном спектре, полученном по данным измерений группы Брюса, рамановская частота 1LO 305 см<sup>-1</sup> для коллоидного раствора микрокристаллов CdS находится в указанном диапазоне изменений  $\Delta\nu$  (см<sup>-1</sup>) от 301 до 306 см<sup>-1</sup>. Однако геометрия пика ярко выражено искажена, и он явно несимметричен. Нарастание пика растянуто по сравнению со спадом.

Анализ спектров свежеприготовленных растворов, в которых микрокристаллы по размеру меньше по сравнению с выдержанными в течение 24 часов на свету растворами, показал, что в «состаренных коллоидах» в отличие от спектров «свежих растворов»

рамановские пики LO CdS при длинах волн возбуждения 395, 448 и 460 вообще не были обнаружены. С другой стороны, в «состаренных» растворах пики CdS были зарегистрированы при длинах волн возбуждения в диапазоне 463–480 нм. В целом спектры «состаренных растворов» аналогичны приведённым на рис. 3. Отличие заключается в том, что пик 1LO смещён на 3 см<sup>-1</sup>, и его ширина меньше по сравнению с пиком 1LO для «свежего» раствора. Пик LO в «состаренных растворах» по форме и положению максимума ближе к спектру объёмного CdS по сравнению со «свежими растворами».

Несмотря на то что потери массы CdS в процессе «старения», при котором происходит увеличение размеров микрокристаллов, не наблюдалось, было отмечено заметное увеличение сечения рамановского рассеяния с ростом размеров нанокристаллов. Этот эффект можно объяснить возрастанием значений дипольных моментов перехода в более крупных частицах.

Зависимость свойств микрокристаллов от их размеров также была обнаружена в спектрах поглощения. На рис. 4 показаны стилизованные оптические

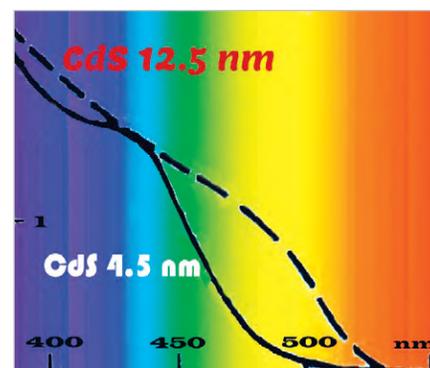


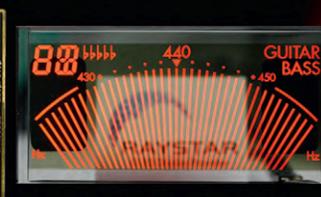
Рис. 4. Оптические спектры поглощения для свежеприготовленного коллоидного раствора (нижняя сплошная линия – частицы CdS с размерами примерно 4,5 нм) и «состарившегося» раствора (верхняя пунктирная кривая с частицами размером около 12,5 нм)

спектры поглощения (absorbance) для свежеприготовленного коллоидного раствора CdS со средним размером микрокристаллов примерно 4,5 нм (нижняя сплошная линия) и «состарившегося» раствора с частицами около 12,5 нм (верхняя пунктирная кривая).

В «состаренных коллоидах» поглощение начинает плавно возрастать



## OLED-дисплей Raystar



Специсполнение по ТЗ заказчика

Прозрачные модели

АВТОМОБИЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА • СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ • ИЗМЕРИТЕЛИ МОЩНОСТИ • БЫТОВАЯ ТЕХНИКА • МЕДИЦИНСКИЕ ПРИБОРЫ

### Характеристики

- Яркость экрана до 150 кд/м<sup>2</sup> обеспечивает считывание изображения при ярком солнечном свете
- Высокая контрастность 10 000:1
- Широкий угол обзора до ±175°
- Цвет свечения: жёлтый, зелёный, красный, белый, синий
- Формат изображения: 122×32, 128×64, 240×64, 256×64 и 96×64 точки

- Низкая потребляемая мощность 10 мА (схемы управления – токовые)
- Светозмиссионная схема: не требуется система подсветки
- Короткое время отклика: 10 мкс при температуре +25°C
- Широкий диапазон рабочих температур от –40 до +80°C
- Малая толщина модуля дисплея, небольшой вес
- Срок службы: 50 000 ч для белого и синего цвета; 100 000 ч для жёлтого, зелёного, красного цветов

**ProCHIP**  
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА  
(495) 232-2522 • INFO@PROCHIP.RU • WWW.PROCHIP.RU



Реклама

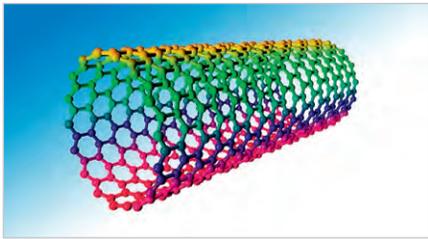


Рис. 5. Возбуждённые электронные состояния полупроводниковых углеродных нанотрубок представляют собой глубоко связанные экситоны [20]

вблизи 500 нм, смещаясь в ультрафиолетовую область. Для «свежих растворов» край поглощения в синей области сдвинут на 0,2 эВ. Кроме того, в районе 440 нм наблюдался небольшой выброс.

В другой работе Брюса, опубликованной в 1984 году, приведены более тщательные исследования коллоидных квантовых точек, проведённые с использованием просвечивающей электронной микроскопии и лазерного спектрофотометра высокого разрешения. Полученные снимки позволили установить, что плоскости кристаллической решетки квантовых точек CdS аналогичны структурам вырезанных фрагментов объёмного образца Bulk CdS.

Крупные микрокристаллы с размерами около 10 нм имели оптическое поглощение в коллоидном растворе, близкое к оптическому поглощению объёмного образца сульфида кадмия.

Рамановские спектры квантовых точек с размерами 3 нм и 4 нм показали смещение пика 1LO в синюю область на 0,8 эВ и на 0,25 эВ соответственно [13].

Таким образом, анализ рамановских спектров, один из примеров которых приведён на рис. 3, достоверно указывает на квантовые ограничения переноса носителей заряда в коллоидных микрокристаллах CdS.

Полученные результаты Брюс объяснил квантово-размерными эффектами, возникающими в результате удержания электрона и дырки в небольшом объёме микрокристаллов CdS.

В объёмном образце CdS (Bulk) с идеальной кристаллической структурой волновые функции валентной зоны и зоны проводимости распределены равномерно по всему кристаллу. При этом пара «электрон – дырка» локализуется в пространстве из-за кулоновского притяжения между противоположными зарядами, создавая возбуждение – экситон. Поскольку дырка обычно имеет большую эффективную массу, чем электрон, дырка более локализована, что приводит к большим локальным элек-

трическим полям. Эти поля сильно связаны с оптическими фононами кристалла. В микрокристаллах (квантовых точках) с размерами меньшими, чем «боровский радиус», начинает проявляться режим квантового ограничения – КРЭ. При этом волновые функции электронов и дырок перекрываются в пространстве, что приводит к ослаблению генерируемых локальных электрических полей.

Поэтому форма пиков 1LO в рамановском спектре коллоидного раствора квантовых точек CdS по мере уменьшения их размеров начинает всё больше отличаться от пика 1LO для объёмного образца Bulk CdS.

Квантово-размерные эффекты играют особенно важную роль, когда размер микрокристаллов становится соизмеримым с размером собственного экситона, который соответствует низшему возбуждённому состоянию. В этом случае начинает увеличиваться локализация кинетической энергии электронов и дырок (экситонов), что стимулирует тенденцию к синему смещению пика в спектре.

Поскольку энергии валентной зоны и зоны проводимости микрокристаллов зависят от электрохимического окислительно-восстановительного потенциала, то этот параметр также играет заметную роль в проявлении квантово-размерного эффекта.

Для объяснения результатов своих экспериментов Брюс в статье, написанной в 1983 году, предложил модель квантовой точки, учитывающую трёхмерное квантовое ограничение. При этом он использовал упрощённую схему электростатики, подходящую для микрокристаллов с размерами около нанометра, имеющих дискретные электронные состояния. По существу, это была очень упрощённая модель, рассматривающая квантовую точку как большую молекулу.

В качестве грубой оценки сдвига фотохимического окислительно-восстановительного потенциала носителя, обусловленного локализацией кинетической энергии, он использовал формулу:  $h^2/8em^*R^2$ , где  $h$  – постоянная Планка;  $e$  – заряд электрона;  $m^*$  – эффективная масса;  $R$  – радиус сферической квантовой точки [14].

Понимая, что они имеют дело с крайне важным физическим явлением, группа Луиса Брюса продолжила интенсивные исследования коллоидных квантовых точек. Уже в следующем, 1984 году Брюс опубликовал результаты новых исследований, в которых были приведены не только экспериментальные доказательства эффекта КРЭ в

обособленных коллоидных квантовых точках, но также предоставлена теоретическая база для понимания их природы.

Луис Брюс был первым, кто определил связь между размером полупроводниковых квантовых точек и длиной волны испускаемого ими света в ответ на облучение лучом внешнего лазера. Иными словами, он предложил схему «светодиода на квантовой точке», которая воплотилась в жизнь в форме реального технического изделия массового производства спустя сорок лет [15].

Несколькими годами позже Луис Брюс вместе с Полом Аливисатосом и Майком Штайгервальдом смогли с помощью пассивации поверхности кристаллов несколькими монослоями полупроводника с большей шириной запрещённой зоны получить стабильные изолированные микрокристаллы с размерами от единиц до десятков нанометров, растворимые в неполярных средах (толуоле, хлороформе, гексане и т.д.). Эти полупроводниковые нанокристаллы были покрыты молекулами поверхностно-активного вещества (лиганда), предотвращающего процесс агломерации.

Самое главное в этой методике было то, что учёным удалось найти способ, с помощью которого можно было получать полупроводниковые микрокристаллы, покрытые химически связанными органическими лигандами, в виде чистого сухого продукта.

В 1996 году AT&T выделила своё подразделение, в которое входила Bell Labs, в новую компанию под названием Lucent Technologies. Тематика исследований новой фирмы изменилась, и Луис Брюс был вынужден вместе с несколькими молодыми сотрудниками продолжить свои исследования в Колумбийском университете.

В конце 1990-х группа Брюса в университете «Columbia» изучала механизмы зарождения конденсированных нанокристаллических фаз и образования полупроводниковых микрокристаллов при выпаривании коллоидных растворов [16].

В начале 2000-х Брюс одним из первых стал использовать в своих экспериментах новый метод конфокальной микроскопии (Confocal Microscope Method), предложенный его коллегами из Bell Labs [17].

Исследуя оптические переходы нанокристаллов серебра и золота (Nanocrystal Optical Transitions), Брюс обнаружил, что их рэлеевское рассеяние гораздо сильнее, чем обычное электронное поглощение фотонов для более крупных нанокристаллов. Это позволяет, в принципе, использовать нанокристаллы Au и Ag

в качестве наноантенн, перераспределяющих падающий свет в локальную область субволнового размера [18, 19].

Дальнейшая долгосрочная программа исследований Брюса в Колумбийском университете была связана с оптической спектроскопией одиночных углеродных нанотрубок (рис. 5).

В процессе этих работ было выяснено, что возбуждённые электронные состояния полупроводниковых углеродных нанотрубок представляют собой глубоко связанные экситоны, что указывало на сильное прямое взаимодействие электронов между собой и множественную генерацию экситонов в нанотрубках и графене. Этот эффект оказался крайне важным для дальнейших разработок перспективных электронных компонентов [21, 22].

В 2008 году Норвежская академия наук и литературы (The Norwegian Academy of Science and Letters) присудила «Премии Кавли» (Kavli Prize) в области наноауки Луи Э. Брюсу и Сумио Ильджиме за выдающийся вклад в открытие и развитие коллоидных полупроводниковых микрокристаллов [23].

Конечно, в течение этих сорока лет методики и теория Брюса подвергалась неоднократным доработкам и уточнениям [24].

Как отметил Брюс в своей Нобелевской лекции, сегодня каждый студент знает, что это за микрочастицы, образующиеся в коллоидных растворах полупроводников, и как их синтезировать.

Однако сорок лет назад никто этого не знал, и Луис Брюс был первым в мире учёным, который открыл и описал свойства нового класса веществ.

Подводя итог заслугам Луиса Брюса, можно сказать, что его экспериментальные и теоретические работы сыграли ведущую роль в возникновении во всём мире интереса к коллоидным полупроводниковым наноматериалам с контролируемо-размерно-зависимыми свойствами.

## Литература

1. URL: <https://www.kavliprize.org/louis-brus-autobiography>.
2. URL: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/116/912.htm>. URL: <https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/j100220a003>.
3. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/anie.198109871>.
4. URL: <https://datapdf.com/electron-hole-recombination-emission-as-a-probe-of-surface.html>.
5. URL: [http://www.jetpletters.ru/ps/1030/article\\_15644.pdf](http://www.jetpletters.ru/ps/1030/article_15644.pdf).
6. URL: <https://bit.ly/3HmOTfw>.

7. URL: <https://www.kavliprize.org/prizes/nanoscience/2008>
8. URL: <https://bit.ly/3u4Xtwr>.
9. URL: <http://bit.ly/3uskj1i>.
10. URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jpcc.5b00774>.
11. URL: <https://bit.ly/3urh7mI>.
12. URL: <https://bit.ly/3SQaoMw>.
13. URL: <https://bit.ly/3I08GSh>.
14. URL: <http://bit.ly/48d6AJN>.
15. URL: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jp002280a>.
16. URL: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.251.5000.1468>.
17. URL: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ar800121r>.
18. URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jp034632u>.
19. URL: <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=983>.
20. URL: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1124602>.
21. URL: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jp014559c>.
22. URL: <https://www.sas.upenn.edu/~crulli/TheRamanSpectrophotometer.html>.
23. URL: <https://bit.ly/4bKuNdt>.



**LITEMAX**

## ВАШ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОПУТЧИК!

### Полосковые дисплеи для транспорта

- ЖК-дисплеи серии SPANPIXEL™ с яркостью до 3000 кд/м<sup>2</sup>
- Размеры по диагонали от 6,2 до 65"
- Разрешение до 4K2K
- Угол обзора 178° (во всех плоскостях)
- Диапазон рабочих температур (некоторых моделей) –30...+85°C
- Возможна разработка под заказ
- Ресурс до 100 000 часов

**PROCHIP**  
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

(495) 232-2522 • INFO@PROCHIPRU • WWW.PROCHIPRU



енерджи

# Первые электромобили отечественного производства

Галина Морозоватая

Сегодня много говорят о перспективах развития электротранспорта. 8 февраля в Санкт-Петербурге торжественно открыли 224-ю автоматическую электрическую зарядную станцию (АЭЗС) для одновременной «заправки» 10 электромобилей [1]. Интересно вспомнить, как 125 лет назад Гатчина стала объектом мирового внимания. Изобретатели, разработчики и другие энтузиасты в области электротехники следили за проходящими в нынешней столице Ленинградской области испытаниями электрического кэба, монорельсовой электрической железной дороги и омнибуса на электротяге. Эти крупницы истории начала XX века напоминают о важной вехе электрификации отечественного транспорта. И началом её послужила деятельность русского изобретателя Ипполита Владимировича Романова (1864–1944).

## Гатчина и электротранспорт

За 125 лет расстояние, разделявшее Гатчину и Санкт-Петербург, ненамного сократилось из-за расширения административных границ и комплексной застройки территории мегаполиса и города-спутника, несколько лет назад официально признанного столицей Ленинградской области. На протяжении веков Гатчина была многим связана с жизнью царских особ, поэтому вопросы транспортного сообщения между этим городком и столицей были весьма актуальны. Именно с Гатчины изобретатель Романов планировал электрификацию индивидуального и общественного, как называли бы его

теперь, транспорта. Гатчина (в то время Гатчино) – самый удобный полигон испытаний для электрифицированных автомобильных перевозок в Петербург и обратно.

## Биография Ипполита Романова

Ипполит Владимирович Романов родился 25 февраля 1864 года в Тбилиси, после 1884 года поступил на службу в Министерство путей сообщения Российской Империи (МПС РИ), канцелярия которого располагалась с момента преобразования в 1865 году из Главного управления путей сообщения и публичных зданий в Санкт-Петербурге на набережной реки Фонтанки в доме 117. Идеи проектирования электрического экипажа занимали конструктора с 1881 года. На рис. 1 представлен портрет изобретателя.

В те годы в МПС РИ инженеры делились на «штатных» и тех, кто состоял «по министерству» сверх штата, «а равно находившихся в частных обществах и в земствах». Обеим категориям были присвоены погоны, но разные. Судить о том, в каком статусе служил И.В. Романов, мы не можем, однако на фото (рис. 2) изобретатель предстаёт в форме инженера путей сообщения.

Зимой 1900 года И.В. Романов подал прошение на имя Августейшей хозяйки Гатчины императрицы Марии Федоровны прошение о дозволении построить в Гатчине на Дворцовой площади (рядом с источником электроэнергии – дворцовой электростанцией) опытный образец

подвесной электрической дороги, о чём есть подтверждение из архива Гатчинского Дворцового управления в донесении Министру Двора от 9 мая 1900 года [4]. Возможно, что в Электротехнической части Хозяйственного управления Министерства Императорского Двора (МИДв) у него были единомышленники, а также вероятно, что Романов имел личное знакомство с братом царя, тогда наследником, человеком разносторонних интересов, Великим Князем Михаилом Александровичем.

В точности подтвердить или опровергнуть версии не представляется возможным, однако можно сделать три промежуточных вывода. Во-первых, одна гипотеза не исключает другую. Во-вторых, «просто инженер в 36 лет» вряд ли мог иметь влияние настолько существенное, чтобы работать над проектом и подавать обоснованные прошения высочайшим особам; для этого так или иначе надо быть хотя бы представленным. В-третьих, таково будущее поле исследований для тех, кому интересна тема и биография изобретателя И.В. Романова. Романов не был первым, кто предложил подобные технические решения. Известны более ранние разработки американских и французских инженеров. Вклад русского изобретателя состоит в том, что в 1897 году он закончил и презентовал модель подвесной электрической дороги, высоко оценённой специалистами Императорского Русского Технического общества. Это и побудило конструктора заняться разработкой настоящей дороги, которую в 1900-м соорудили в Гатчине.

После Октябрьской революции инженер эмигрировал в США, где и прожил до своей кончины.

## Изобретение родом из Гатчины

В возрасте 35 лет Ипполит Владимирович Романов впервые в России продемонстрировал действующий образец двухместного четырехколёсного экипажа. По внешним данным, или фактору, как сказали бы сегодня, само движущийся экипаж напоминал кэб из викторианской Англии (рис. 2, рис. 3).



Рис. 1. Романов Ипполит Владимирович



Рис. 2. Инженер Ипполит Романов демонстрирует электрическую карету собственного изобретения возле Гатчинского дворца под Санкт-Петербургом



Рис. 3. «Кэб» на электротяге – изобретение Романова

## Управление без руля и «ветрил»

Электрокэб без пассажиров имел относительно небольшую весовую массу: всего 750 кг (а по некоторым источникам – 720). Техническая часть изобретения сохранилась до наших дней. Управление осуществлялось с помощью электротяги переднего привода: ведущими были колёса большего диаметра, а водитель располагался сзади пассажирского салона, восседая выше ящика с электрическими аккумуляторами. К каждому ведущему колесу с помощью несложной механической трансмиссии с цепью был подключён отдельный электродвигатель. За такое расположение водителя относительно пассажиров изобретение Романова позиционировали кэбом. Но люди, не бывавшие в Великобритании, предпочитали русское название «кукушка». Изобретение отличало то, что конструкция не нуждалась в руле, привычном жителям XXI века. Водитель-кэбмен управлял самодвижущимся экипажем с помощью электрических включателей-кнопок. Кнопки управления назывались тогда «пускателями». Посредством манипуляции руками водителя «пускатель» контактной группой замыкал электрическую цепь питания электродвигателя, обеспечивая вращение соответствующего колеса. Каждое (из двух ведущих) колесо приводилось в движение отдельным двигателем, что позволяло отказаться от использования дифференциала. При прямолинейном движении электропитание подавалось на оба мотора-электродвигателя, и ведущие колеса вращались одновременно. Скорость регулировалась с помощью блока сопротивлений-резисторов,

включённых как ограничители тока в электрической цепи – от аккумулятора к электродвигателю. Для управления было доступно девять скоростей. Снижение скорости обеспечивалось механическим тормозом рекуперативной системы, которая направляла энергию, образуемую в результате торможения, обратно в батареи, в результате чего у «кукушки» Романова увеличивался ресурс (пробег). Без эксплуатации АКБ могли держать заряд на протяжении почти 100 часов.

При необходимости поворота задействовалось одно из колес, как в современных устройствах для лиц с ограниченными возможностями здоровья. К слову, такой же принцип раздельного управления траками и по сей день применяется в гусеничной специальной технике: тракторах и военных машинах – прообразах танков. Хотя танк по определению вполне может быть и на колесном ходу – без гусениц-траков. Тем не менее этот же принцип заложен в действующую ёмкую уставную армейскую команду «правое плечо – вперед», подаваемую колонне в движении, то есть для обеспечения поворота влево.

## Технические особенности

В качестве перезаряжаемого источника энергии была задействована аккумуляторная батарея (АКБ), состоявшая из отдельных «банок» со свинцовыми пластинами, залитых токопроводящим электролитом (кислотный состав), подключённых в электрическую цепь последовательно для увеличения напряжения и мощности, и имевшая номинальное напряжение 36 В. Энергоёмкость АКБ обеспечивала движение электрокэба без перезарядки

на расстоянии до 64 километров, разумеется, в условиях идеальной дороги и равномерного движения. Это примерно расстояние между центром Гатчины с ее Коннетаблем до станции метро «Московская» в Северной столице. На практике максимальная дистанция экипажа Романова была значительно меньше, тем не менее несколько десятков километров новое электрическое транспортное средство преодолевало уверенно и без остановок.

## Лошадь как незыблемый стандарт

Тяговая мощность электродвигателя составляла всего 4 л. с., или 2,94 кВт. Причём оба параметра до сего дня используют в обозначении и описании мощностных характеристик транспортных средств. В том числе вы встретите такие обозначения в документах на право собственности автомобиля или электромобиля. Сложилось эти многовековые традиции ещё в конце XIX века, когда вокруг Санкт-Петербурга было несколько ипподромов и более 40 частных хозяйств с содержанием лошадей. Одна из сильнейших конноспортивных школ – родом из Гатчины. Как раньше, так и сейчас, лошади – не только элемент гужевого транспорта, конный спорт, но и иппотерапия с психологической разгрузкой для людей. Многие находили в лошадях удовольствие: ухаживали за лошадьми на волонтерских началах, становились берейторами, сдавали нормы мастера спорта, получали спортивные награды (рис. 4).

Традиции КСК развиваются и теперь. Однако напомним, что обозначение «лошадиная сила» весьма далеко по смыслу от заблуждения, будто это эквивалент запряжённой в



Рис. 4. Достижения Н. Белой, судьи спортивных соревнований

повозку лошади. Технически «лошадиная сила» рассчитывается как груз весом 75 кг (вес среднего по комплекции и возрасту человека), поднятый за 1 секунду на высоту 1 метр (рис. 5).

Соответственно мощность первого экипажа Романова – «кукушки» – составляла 4 л. с. Это обеспечивало скорость транспортного средства от 1,6 до 37,4 километров в час. По тем временам очень большая скорость. В начале XX века ещё не было силовых установок и систем управления асинхронными электродвигателями, как в современных электропоездах типа 2СГ «Ласточка» с помощью мощных полупроводниковых элементов – установок, дающих плавный ход, мягкий старт и разгон транспортного средства. Поэтому считающаяся среди наших современников анахронизмом эпохи конструкция И.В. Романова двигалась «рывками» и не была технически совершенной. О механической части амортизации электрокэба на простейших каретных рессорах и с колесами без пневматических шин говорить не приходится. С аэродинамикой «как у товарного вагона» нужно иметь огромное терпение, чтобы проехать в такой повозке даже один час. Однако успехи и достижения принято сравнивать не оторванными от ситуации, а оценивать относительно своего времени. Поэтому изобретение Романова, хоть и имело следы уже известных к тому времени европейских разработок, тем не менее для середины XIX века было «прорывным» и весьма перспективным. В том



Рис. 5. Иллюстрация определения «лошадиной силы»

числе потому, что изобретатель задействовал управление не с помощью двигателя внутреннего сгорания, который, кстати, появился в России примерно в те же годы, а с помощью электричества.

### Конкуренция электродвигателя и ДВС

ДВС в Европе произвели раньше. Этьен Ленуар отличился опытными разработками прототипа в начале 60-х годов, а усовершенствованный и практически действующий двигатель внутреннего сгорания создан в 1876 году Николаем Отто. Когда Генри Форд выбрал именно бензиновый двигатель для своей революционной модели, электрические и паровые автомобили остались в прошлом. Вот почему в течение следующих 50 лет электромобиль оставался в значительной степени устаревшей технологией. Поэтому достаточно много технических сведений о том, что в те годы европейские инженеры опережали отечественных. Но важно то, что свои изобретатели в России были, хотя, к сожалению, их достижениям не всегда уделяют достаточно внимания.

В Российской империи первый русский автомобиль с бензиновым двигателем построен в начале 1896 года на заводе керосиновых и газовых двигателей Е.А. Яковлева в Санкт-Петербурге и продемонстрирован летом того же года императору Николаю II на Всероссийской промышленной и художественной выставке в Нижнем Новгороде. Через три года инженеры Ипполит Романов и Петр Фрезе (один из конструкторов первого в России автомобиля) собрали несколько электрокэбов.

Мануфактура Фрезе делала для электромобиля Романова кузов и ходовую часть с подвеской. Подвеска имела оригинальную конструкцию, передние колеса на пружинах, задние амортизировались с помощью рессор каретного типа.

Двухместный электромобиль Романова был испытан в двух вариантах: с козырьком над пассажирами и с закрытым отопляемым салоном. Для безопасности передвижения в сумерки и ночное время на транспортном средстве установили фары. Первый прототип имел колёсную базу 1170 мм, длину кузова 2120 мм, а ширину и высоту 1360 мм и 2200 мм. Второй прототип был крупнее, но и ниже на 40 см.

Применение лёгкого листового материала для панелей и профилей кузова давало относительно невысокую массу. Кузов изготавливался методом прессовки древесины и холста, затем заготовка пропитывалась органическим клеем. Получался своеобразный деревопластик, лёгкий и надёжный. Из такого же материала во времена Организации Варшавского договора делали панели и элементы кузова автомобилей модельного ряда «Трабант» производства ГДР и польскую «Нису» с мотоциклетным двигателем. Из общего веса электромобиля Романова половина – 327 кг – приходилась на аккумуляторы. В то же время французский аналог-конкурент с открытым кузовом на электротяге конструктора Жанто весил почти в два раза больше.

Так они продемонстрировали «альтернативное» – на электрической тяге – изобретение. В 1899 году в том же сотрудничестве создан первый самодвижущийся электроомнибус вмести-



Рис. 6. Омнибус конструктора Романова

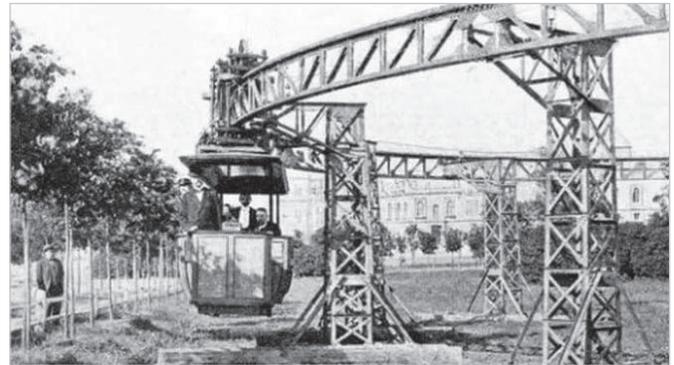


Рис. 7. Электрическая железная дорога на монорельсе конструкции Романова

мостью 17 человек. Первый прототип автобуса – омнибус – перевозил пассажиров на расстояние в 60 км с максимальной скоростью 20 км в час – как у цирковой лошади.

Под патронажем И.В. Романова на московской фабрике «Дукс» в 1902 году построен 20-местный омнибус на электротяге, предназначенный для обслуживания гостиниц. Дополнительным элементом комфорта на этот раз всё-таки стали пневматические шины. На рис. 6 представлен вид омнибуса Романова.

Омнибус – многоместная повозка изначально на конной тяге, общественный транспорт второй половины XIX века. Из отличительных черт омнибуса Романова – остеклённый кузов с двумя площадками. Внутри салона вдоль стен были расположены скамейки для пассажиров. В передней части кузова располагались приборы управления и водитель, вторая часть предназначалась для кондуктора. Посадка пассажиров выполнялась через задние двери. В движение машину приводили 44 батареи, размещённые в 8 ящиках в задней половине кузова. Автономный ресурс хода составлял 64 версты (около 68 км), что было очень неплохо для своего времени [2]. Омнибус снаряжённой массой 1,6 тонны комплектовался двумя двигателями совокупной мощностью 12 л. с. Они позволяли разогнаться до 11 км/ч и двигаться задним ходом. Мягкая подвеска с эллиптическими рессорами и дополнительными винтовыми пружинами обеспечивала плавный ход. Колёса с резиновыми покрышками вращались на шарикоподшипниках. Транспорт также оснащался электропрожектором, сигнальными фонарями, а также звонковым устройством для подачи сигнала. На рис. 7 представлен вид омнибуса на электротяге более поздней версии с органами управления, приближёнными



Рис. 8. Иллюстрация электроомнибуса более поздней модели

ми к нашему традиционному восприятию.

А в 1900 году с участием И.В. Романова провели испытания монорельсовой дороги на электротяге в Гатчине (рис. 8).

### Подвесная монорельсовая электрифицированная дорога

Электрическая монорельсовая железная дорога Романова, разрабатывавшаяся с участием инженеров Кошкина, Фрезе и других, представляла собой следующую конструкцию. Решётчатая металлическая, проводящая электрический ток, путевая балка – главный опорный элемент дороги – была подвешена на Г-образных решётчатых опорах. На балку устанавливались две двухосные ходовые тележки, к которым на пружинных амортизаторах подвешивался типичный трамвайный вагон. Его тележка сконструирована так, что она охватывала балку с трёх сторон. На верхней площадке закреплялся электродвигатель постоянного тока с номинальным

напряжением 100 В и мощностью 6 кВт, а также ходовые и бегунковые колёсные пары. На боковых поверхностях тележки горизонтально одно над другим были установлены по два направляющих колеса. Благодаря такой конструкции тележка надёжно удерживалась на балке. За счёт выбора малого диаметра ходового колеса – 12 см – скорость тележки не превышала 15 км/ч, а вес вагона – 100 пудов (1638 кг), с грузом (балласт) – 200 пудов, высота от земли до днища вагона – 75 см. Питание электромоторов осуществлялось от контактного провода, уложенного на изоляторах вдоль путевой балки. Заземлением служила сама балка.

Линию монорельса длиной примерно 200 метров проложили на участке между Гатчинским дворцом и Балтийским вокзалом по прямой, но на концах оборудовали поворотными кольцами. Испытания начались 29 июня 1900 года и показали, что вагон двигался плавно, без рывков. Вдохновлённые успехом конструкторы в последующие два года разработали проекты моно-



Рис. 9. Скрин страницы журнала «Нива» с описанием монорельсовой электрической железной дороги Романова

рельсовой электрической дороги из столицы в Москву и далее из Москвы в Нижний Новгород. Ипполит Романов также предложил идею постройки кольцевой дороги вокруг столицы империи, однако не нашёл в инвесторах «сострадания». Через несколько лет конструкция Ипполита Владимировича была демонтирована.

Концепция разработчиков представлялась понятной: решить одну из двух вечных проблем, свойственных нашей стране, – проблему дорог, сделав городские и междугородние маршруты более доступными для преодоления. Идея при правильной её реализации и финансировании действительно могла бы привести к созданию сети скоростных дорог, что вывело бы Российскую империю вперед в конкурентной борьбе. Многие из этого удалось реализовать только в конце XX века.

После Октябрьской революции концепция электрификации транспорта в стране относительно монорельса была ориентирована на зарубежный опыт – она реализована в трамвайном (а позже троллейбусном) движении и в электропоездах. Это разрешило задачу регулярного транспортного пассажирского сообщения между Гатчиной и Ленинградом (Санкт-Петербургом). Но это никоим образом не умаляет значения проектов ранних изобретателей.

Проект транспортной системы – подвесную дорогу на монорельсе – планировалось сделать от Петербур-

га до Москвы и – вариант – от Москвы до Нижнего Новгорода. С Гатчины должно было всё начаться. Но тут же и закончилось. Журнал «Циклист» сообщил в 1901 году: «И при такой-то плате, составляющей всего 0,4 настоящего тарифа на этой же дистанции, пассажиры будут перелетать все 609 верст в 5 часов 26 мин., из коих 1 час 40 минут пойдёт на остановки. Перспектива очень заманчивая. А при уменьшении числа остановок пробег может быть и 5, и 4 часа!» Таких скоростей перемещения наземным способом люди достигли только в конце XX века.

В заметке от 14 августа 1921 года из «Петроградской правды» под заголовком «Однорельсовая дорога» следует: «Закончены подготовительные работы по постройке однорельсовой дороги Петроград – Гатчина. Разработаны все необходимые проекты и схемы и имеются все необходимые материалы, продовольствие и рабочая сила. Постройка дороги начнётся в ближайшие дни. Дорога Петроград – Гатчина является самым крупным опытом подобного строительства». Затем в 1922 году финансирование было закрыто. Что касается проекта трамвайного движения в пригородах Гатчины от Ингербурга до Мариенбурга, то с развитием регулярного сообщения электропоездов и он был «похоронен». На рис. 9 представлен скрин газеты «Нива» за 1900 год со статьей о действующей подвесной электрической монорельсовой дороге Романова.

Как нередко случается и в наше турбулентное время, развитию электрифицированных монорельсов и электромобилей в стране помешали экономические причины и вездесущий человеческий фактор. По проекту Романова, поданному в Санкт-Петербургскую Городскую думу 19 января 1901 года, основано акционерное общество, быстро обанкротившееся из-за саботажа, организованного конкурентами, среди которых были заинтересованные общества, эксплуатировавшие «конки», и многочисленные извозпромышленники. Не получив своевременную поддержку перспективным идеям, Романов акцентировал внимание на разработках в области электротехники, а не электромобилестроения. К недооценённому на родине таланту Романова с уважением относились его иностранные коллеги. В 1905 году представитель комитета Американско-Сибирской железной дороги де Лебель высказал предпочте-

ние технологии однорельсовой дороги Романова перед немецким аналогом Лангена и американским монорельсом Эноса, обосновав мнение просто: это экономично, практично и безопасно. Спустя несколько лет Романова ждала эмиграция. Инженер с царской фамилией умер в Нью-Йорке 1 января 1944 года. Ему было 79 лет.

Также есть мнение, что постройка электрифицированной монорельсовой дороги в Гатчине была начата по инициативе Петра Петровича Шиловского, изобретателя гироскопического монорельса. Система Шиловского представляла собой более удачный вариант монорельса Бреннана. Монорельсовый вагон, удерживаемый в равновесии гироскопом, движется по наземному пути, реализованному в виде одного рельса. Монорельс Бреннана не был совершенным, признан бесперспективным, а вот система стабилизации Шиловского оказалась эффективной, об этом свидетельствует постройка Шиловским в эмиграции в 1912 году в Англии двухколёсного автомобиля «Гирокар» с вполне устойчивым движением. Шиловский запатентовал в России ряд изобретений, имевших важное военное значение, в частности, гиросtabilизатор для морских орудий и авиационный гироскоп. В 1919 году ВСНХ придал «опытной дороге» общегосударственное значение. К разработке монорельса привлекались учёные-механики И.В. Мещерский, П.Ф. Папкович, Н.Е. Жуковский. Поезд должен был состоять из двух сочленённых вагонов, моторного и пассажирского, обтекаемой формы и вместимостью 50 человек, приводимые в действие двумя электродвигателями мощностью 240 л. с. Скорость движения предполагалась до 150 км/ч. Было построено 12 километров монорельсового пути (от Детского Села до Средней Рогатки), в Санкт-Петербурге заказан подвижной состав. В мае 1922 года финансирование проекта иссякло. Шиловский эмигрировал в Sperry Gyroscope Company [6].

**Перспективы**

С тех пор электротранспорт в России развивался крайне медленно. По данным журнала «Автомобилист», к середине 1914 года в стране было уже восемь электрических экипажей: 4 грузовика, 1 трёхколёсный фургон и 3 легковых частных автомобиля [5]. А гужевого транспорт и вовсе пришёл в упадок:

вместо племенных заводов по «производству рысистых орловских скакунов», у которых, по мнению коллежского советника Павла Ивановича Чичикова (Н.В. Гоголь, «Мертвые души»), жеребцы в замахе должны были быть не менее 3 аршин, остались лишь немногие энтузиасты да конноспортивные клубы. При этом КСК – весьма дорогое удовольствие, лошади любят овёс, и не только. Электромотоциклы первого поколения легко заводились, были чище, чем лошади, двигались тише в сравнении с аналогами, оснащавшимися паровыми и бензиновыми двигателями. Но первые электромотоциклы оказались крайне дорогими в производстве и – что осо-

бенно важно – имели ограниченный запас хода. В наши дни эти проблемы решились, но возникли новые – экономические и геополитические. Лишь несколько лет назад открылась перспектива развития электротранспорта как на Северо-Западе России, так и по всей стране. Будут ли использованы эти возможности, покажет только время.

## Литература

1. В Петербурге открыта новая ЭЗС, а парк электромобилей превысил тысячу единиц // URL: <https://www.cta.ru/news/soel/2024/178287.html>.
2. Ипполит Романов – создатель первого российского электромотоцикла, монорель-

совой дороги, а также прототипов троллейбуса и трамвая // URL: [https://dzen.ru/a/XZWYrebLmwCyWG\\_Z](https://dzen.ru/a/XZWYrebLmwCyWG_Z).

3. Журнал «Нива» № 30, 1900 г.
4. Николаев В. Подвесная дорога Романова // URL: <http://www.history-gatchina.ru/article/electro.htm>.
5. Романов Ипполит Владимирович // URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2,%D0%98%D0%BF%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%82\\_%D0%92%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2,%D0%98%D0%BF%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%82_%D0%92%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87).
6. URL: <http://www.history-gatchina.ru/article/electro1.htm>.



## НОВОСТИ МИРА

### Новая нанокерамика поможет улучшить дисплеи смартфонов и телевизоров

Учёные УрФУ с коллегами из Индии и УрО РАН разработали нанокерамику, которая люминесцирует тремя основными цветами: красным, зелёным и синим. Новый материал крайне прочен, так как создан под высоким давлением. Как полагают учёные, характеристики новой нанокерамики – свечение, прочность и прозрачность – пригодятся для создания экранов с улучшенной яркостью и детализацией для смартфонов, телевизоров и других устройств. Подробную информацию о новой нанокерамике и её свойствах учёные опубликовали в журнале «Applied materials today». Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (№ 23-72-01024) и программы «Приоритет-2030». Экспериментальные работы проводились в рамках госзадания (ААА-А19-119031890025-9).

«Мы получили оптически прозрачную нанокерамику, которая способна люминесцировать красным, зелёным и синим цветами. Это стало возможным благодаря добавлению частиц углерода, которые выступили в качестве углеродных наноточек. В процессе синтеза углеродные компоненты становятся заключёнными между частицами керамики, что образует дефекты на их поверхности. Мы полагаем, что эти дефекты создают ряд энергетических уровней в углеродных наноточках, благодаря чему материал может светиться разными цветами в видимом спектре», – поясняет соавтор работы, доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества УрФУ Арсений Кирыков.

Углеродные наноточки – это небольшие кластеры углеродных атомов, размер ко-

торых составляет несколько нанометров. Углеродные наноточки характеризуются особым типом ковалентной связи и активной поверхностью. Благодаря этому эффективность свечения углеродных наноточек может достигать 70%, что позволяет использовать их в качестве светоизлучающего вещества при создании дисплеев.

«Поскольку наша нанокерамика способна обеспечить все три базовых цвета спектра (красный, зелёный и синий), то нет необходимости использовать три светодиода по отдельности – достаточно будет разместить на светоизлучающем чипе один элемент для получения всех трёх цветов. Также благодаря тому, что синтез керамики осуществлён под высоким давлением, наночастицы расположены друг к другу очень плотно – это позволило избавиться от дефектов, добиться оптической прозрачности и повысить прочность. Такие характеристики будут полезны для производства дисплеев смартфонов и планшетов, поскольку повышенная концентрация углеродных наноточек позволит увеличить эффективность свечения, что может способствовать росту плотности пикселей в дисплее на единицу площади», – объясняет соавтор работы, доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества УрФУ Юлия Кузнецова.

«Для получения хорошего изображения особую важность имеет количество пикселей и эффективность их свечения. Дисплеи, на которых сосредоточено много пикселей, имеют более чёткую картинку, но при этом страдает яркость. Напротив, экраны с меньшим количеством пикселей имеют плохое качество картинки, но при этом хорошую яркость. Созданная нами керамика отличается от традиционных лю-

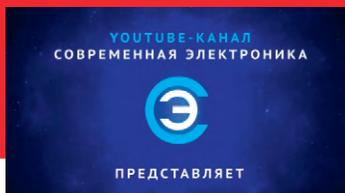
минофоров типом центров свечения. Это позволяет увеличить количество пикселей на экране, сохранив при этом уровень яркости», – объясняет Юлия Кузнецова.

В качестве материала для создания нанокерамики учёные использовали алюмомагниево-шпинель – материал, имеющий кубическую структуру кристаллической решётки. Благодаря этому свет, проходящий сквозь материал, не преломляется и не рассеивается. Синтез керамики был осуществлён методом термобарического сжатия – с помощью процесса, при котором материал подвергается колоссальному давлению при относительно низкой температуре.

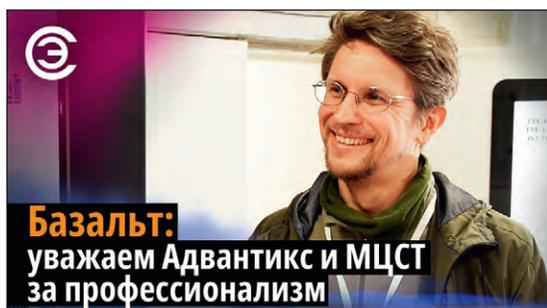
«Термобарическое сжатие – это процесс подведения высокого давления, порядка нескольких гигапаскалей, – такое давление реализуется в земной коре на глубине 50–60 километров. Высокое давление позволяет нам снизить температуру синтеза до значений 500–600°С – это в два раза ниже, чем у аналогичных методов для синтеза нанокерамики, таких как одноосное горячее прессование либо искроплазменное спекание. Данное сочетание давления и температуры позволяет избавиться от различных макродефектов, таких как трещины, поры, крупные кристаллиты, поскольку наночастицы в процессе синтеза претерпевают своего рода пластическую деформацию за счёт того, что начинают смещаться относительно друг друга, проворачиваться и заполнять все возможные пустоты», – рассказывает Арсений Кирыков.

Отметим, в исследовании принимали участие сотрудники Университета Савита (Индия), Факультета физики инженерного колледжа Тиаграджар (Индия) и Института химии твёрдого тела УрО РАН.

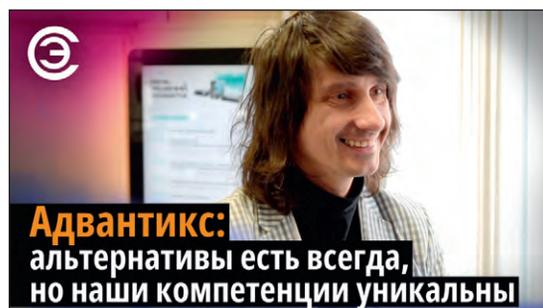
[urfu.ru](http://urfu.ru)



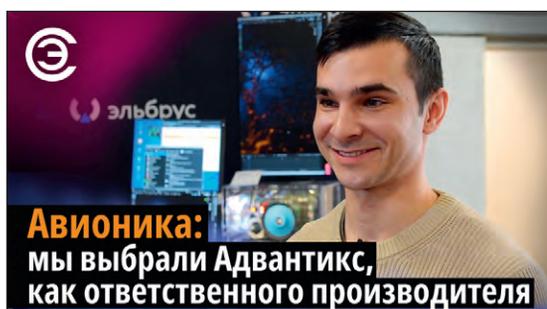
Смотрите на канале СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА



Интервью с Михаилом Шигориным,  
ведущим специалистом «Базальт СПО»



Интервью с Алексеем Аввакумовым,  
начальником отдела промышленных  
компьютеров ADVANTIX



Интервью с Владимиром Щербаковым,  
АО МНПК «Авионика»



Интервью с Иваном Покровским,  
исполнительным директором Ассоциации  
российских разработчиков и производителей  
электроники АРПЭ





Yonggui – ведущий  
производитель соединителей  
для ж/д транспорта в Китае



#### Силовые прямоугольные соединители



#### Соединители для энергетики и промышленности



#### Соединители для телекома и автоматизации



100% замена известным  
европейским брендам,  
теперь доступен в России

Срок поставки от 6 недель

**PROSOFT**<sup>®</sup>

Официальный дистрибьютор

(495) 234-0636  
INFO@PROSOFT.RU

[WWW.PROSOFT.RU](http://WWW.PROSOFT.RU)

# ЦПО

WWW.PROSHOES.RU

АНТИСТАТИЧЕСКАЯ ОБУВЬ

## Защита электроники от электростатических разрядов

■ Соответствует  
стандартам  
IEC 61340

■ Произведено  
в России

■ Качество материалов  
и комфорт для ног

■ Делаем обувь  
с 2000 года

■ Проверено  
испытаниями



www.proshoes.ru +7 (495) 988-1997

107370, г. Москва, Открытое шоссе, 14, офис 2/6



Реклама