

# СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

6

2024

В номере:

**НЮХ, КАК У СОБАКИ:**  
электронный нос  
ищет наркотики

**ТРАНЗИСТОР НА ОРБИТЕ:**  
от чего и как защитить  
электронику в космосе

**БЫСТРЕЕ, ЕЩЁ БЫСТРЕЕ:**  
настоящее и перспективы  
волоконной оптики



Электронная  
версия этого  
журнала



**Разрабатываем и производим  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СОЕДИНИТЕЛИ**



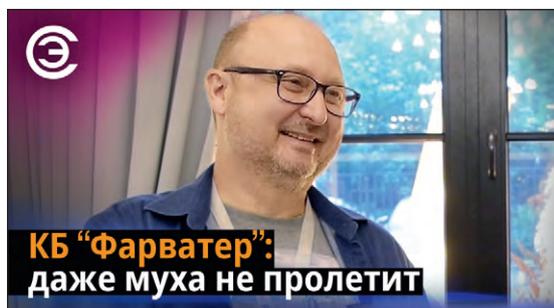
Реклама

WWW.SNEGET.RU



**СНЕЖЕТЬ**

Разработка и производство электрических соединителей



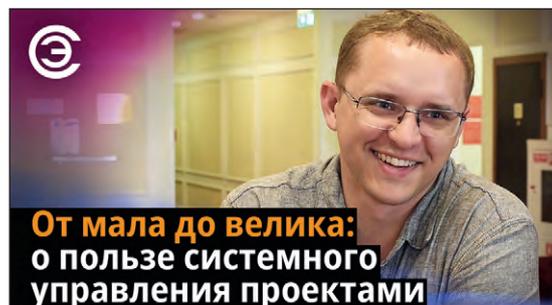
Интервью с Владиславом Перевозицковым –  
генеральным директором  
и главным конструктором КБ «Фарватер»



Интервью с Романом Поповым –  
представителем индустриального комитета  
Альянса RISC-V



Интервью с Иваном Лебедевым,  
генеральным директором ООО «Элрон», к.т.н.



Интервью со Святославом Венским – старшим  
менеджером проектов Яндекса





# ЧИТАЙТЕ В КОМФОРТЕ



## ПЕЧАТНАЯ ВЕРСИЯ ЖУРНАЛА «СТА»

подписка с гарантированной доставкой



онлайн: [www.cta.ru](http://www.cta.ru) • +7 495 234-0635 • [shop@cta.ru](mailto:shop@cta.ru)

на почте: по каталогу «Урал-Пресс» (на год – 81872, на полугодие – 72419)



Здравствуйте, уважаемые друзья!

В этом выпуске журнала читайте продолжение статьи, посвящённой рассказу о состоянии и перспективах исследований в области высокотемпературной сверхпроводимости. В первой её части мы рассмотрели понятие сверхпроводимости при высоких температурах и рассказали об основных достижениях в этой области на текущий момент, вторая часть – почти детективная история об открытии вещества LK-99.

Технологический суверенитет невозможен без освоения околоземного пространства, где электроника подвергается экстремальным испытаниям критическими температурами и космической радиацией. Предлагаем вашему вниманию обзор методов испытания электронной аппаратуры на стойкость к различным дестабилизирующим факторам космического пространства и методику оценки устойчивости электронной аппаратуры к воздействию дестабилизирующих факторов космического пространства.

В наше беспокойное время крайне важно надёжное и оперативное выявление злоумышленников в местах повышенной опасности. Мы расскажем вам о принципах функционирования и применении электронных устройств специального назначения для обнаружения взрывчатых и наркотических веществ, а также о новейших разработках в данной области.

В силу широты применения в качестве автономных источников энергии аккумуляторы типа 18650 очень популярны и доступны, но они имеют рабочие напряжения 3...4,2 В, что не позволяет использовать их непосредственно для питания электронных компонентов, рассчитанных на 5 вольт. В нашей статье предложено простое решение для формирования требуемого значения напряжения методом накопления импульсов самоиндукции от дросселя.

В этом номере вы прочитаете об усовершенствованном двухканальном индикаторе уровня звука на базе цветного 1,3" TFT-дисплея и микроконтроллера EFM8LB10F16, о биометрических системах различного назначения, о состоянии и перспективах развития оптоволоконных линий связи, а также о многом другом.

Заходите на наш обновлённый информационный портал [www.cta.ru](http://www.cta.ru), где вы найдёте самые свежие новости из мира электроники и промышленной автоматизации, а также все статьи, публикуемые в наших журналах!

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 М. Ю. Соколов  
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/эт I/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

## Мы в соцсетях!



# СОДЕРЖАНИЕ 6/2024

## РЕКЛАМОДАТЕЛИ

AdvanteX ..... 45

Raystar ..... 56

АО «Завод «Снежить» ..... 1-я стр. обл., 4

МикроЛАБ Системс ..... 4, 5

Элеконд ..... 38

Эркон ..... 17

Смотрите на канале  
**СОВРЕМЕННАЯ  
ЭЛЕКТРОНИКА**

**CloudBEAR: у RISC-V  
в России хорошие  
перспективы**



**Александр Козлов,**  
технический директор CloudBEAR



## РЫНОК

### 4 Новости российского рынка

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### 6 Электронные устройства специального назначения для выявления, диагностики, контроля ВВ и НС. Обзор

*Антти Эс*

### 18 Перспективы и безопасность оптоволоконных линий на основе GOF, POF, PSF, а также формата SMPTE и РЭА для потоковой передачи данных

*Вадим Экземплярский*

## ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

### 26 Оценка устойчивости электронной аппаратуры к воздействию дестабилизирующих факторов космического пространства

*Оксана Вовк*

### 32 Сверхпроводимость при высоких температурах реальность и фальсификации. Часть 2

*Виктор Алексеев*

## ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

### 39 Усовершенствованный двухканальный индикатор уровня звука на базе цветного 1,3" TFT дисплея и микроконтроллера EFM8LB10F16

*Алексей Кузьминов*

### 46 Аккумулятор 18650 для радиоканала

*Андрей Шабронов*

### 48 Биометрические системы, информационные киоски (БИК), турникеты и шлюзы с АСО. Обзор оборудования, компонентов и особенностей установки

*Вадим Экземплярский*

# Новости

## ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

### АО «Завод «Снежить» представляет новые электрические низкочастотные соединители СНЦ144С и СНП336С\337С

#### Электрические разъёмы и соединители

Электрический низкочастотный цилиндрический соединитель СНЦ144С (рис. 1) предназначен для внутреннего соединения многоконтактных разъёмов. Быстросоединяемая конструкция устройства обеспечивает работу электрических цепей переменного (с частотой до 3 МГц) и постоянного тока при токовых нагрузках до 30 А и напряжении до 850 В. При равномерной нагрузке величина рабочего тока на каждый контакт соединителя зависит от схемы расположения контактов и составляет не более 1...30 А при рабочем напряжении в диапазоне 200...700 В, сопротивление изоляции – не менее 5000 МОм. Максимально допустимая рабочая температура 175°C, если корпусные детали соединителя покрыты кадмием, и +200°C для соединителя с никелевым покрытием. Минимальная температура эксплуатации достигает -65°C. Таким образом,



Рис. 1. СНЦ144С

корпус устройства подходит для любого климата (климатическое исполнение В). По своим техническим характеристикам, а также габаритным, установочным и присоединительным размерам соединитель СНЦ144С соответствует соединителю 8D-series III MIL-C-38999 производства компании Quanwei и полностью с ним взаимозаменяем.

Новые электрические низкочастотные прямоугольные соединители для объёмного монтажа выпускаются в двух исполнениях: одинарные СНП336С (рис. 2) и сдвоенные СНП337С. Работают в электроцепях переменного (до 3 МГц), постоянного



Рис. 2. СНП336С

и импульсного токов при напряжениях до 1000 В и токовых нагрузках до 7 А. Рабочий ток на контакт составляет величину 1,0...7,0 А, рабочее напряжение в диапазоне 100...1000 В, диапазон рабочих температур от -60 до +100°C. Соединители СНП336С, СНП337С ЦСНК.434427.001ТУ (ВП) и СНП336С, СНП337С ВЖАЯ.430420.012ТУ (ОТК) взаимозаменяемы и взаимосоединяемы с низкочастотными соединителями типа РПКМ1-4 АВ0.364.040ТУ.

АО «Завод «Снежить», г. Брянск,  
тел.: 8 (4832) 78-8833,  
e-mail: info@sneget.ru,  
сайт: www.sneget.ru

## ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

### TORNADO-ARS1 – рекордер РЧ-сигналов и цифровых потоков в формате модуля AdvancedMC

Российская фирма МикроЛАБ Системс (г. Москва) продолжает расширять свою линию продукции для систем ЦОС TORNADO-MTCA стандарта MicroTCA. Новое не имеющее аналогов на мировом рынке изделие TORNADO-ARS1 в конструктиве AdvancedMC (AMC) модуля представляет собой рекордер многоканальных РЧ-сигналов и цифровых потоков для длительной записи и воспроизведения высокоскоростных потоков данных со скоростями до 18Gbps в течение нескольких часов на компактный сменный носитель (картридж). Области при-



менения модуля: радиомониторинг, пенелгация, телекоммуникация, DPI, видеоаналитика, системы безопасности, астрофизика, измерения и др.

Модуль устанавливается в любое шасси TORNADO-MC/iMC стандарта MicroTCA/iMTCA фирмы МикроЛАБ Системс и совместно с высокопроиз-

водительными AMC-модулями ЦОС TORNADO-A6678/FMC, TORNADO-AZU+/FMC+ и др. значительно расширяет функциональные возможности и области применения систем ЦОС TORNADO-MTCA. Модуль может также применяться как автономное устройство с питанием от источника +12 В и дистанционным управлением по сети Ethernet, и встраиваться в любую аппаратуру пользователя.

Базовая версия рекордера TORNADO-ARS1 построена на основе универсального «несущего» AMC-модуля TORNADO-AZ/FMC и установленного на него FMC-субмодуля TORNADO-FRS1. AMC-модуль TORNADO-AZ/FMC содержит ПЛИС SoC Xilinx Zynq-7000 со встроенными ядрами ARM и осуществляет управление рекордером, коммутацию потоков данных с AMC-интерфейса и непосредственно запись и воспроизведение потоков данных на сменный картридж TORNADO-RSSMC. Специализированный FMC-субмодуль TORNADO-FRS1 устанавливается на плату «несущего» AMC-модуля и предназначен для подключения сменного картриджа.

Сменный картридж TORNADO-RSSMC имеет компактные размеры

116×52×9 мм и содержит четыре SSD-модуля M.2 2280 суммарной ёмкостью 4 Тбайт или 8 Тбайт и внешними интерфейсами SATA или PCIe (NVMe). Картридж устанавливается в рекордер через переднюю панель FMC-субмодуля TORNADO-FRS1 и поддерживает «горячую» замену без выключения питания AMC-модуля рекордера. Длительность записи/воспроизведения для картриджа 8 Тбайт составляет около 4 ч 40 мин для потока одноканального АЦП/ЦАП 16-бит 250MSPS или квадратуры 16-бит 125MSPS и 1 ч 10 мин для потока 16-бит 1MSPS.

Форматы потоков данных рекордера для АЦП/ЦАП выбираются из 16, 8, 4, 2 или 1 бит в соответствии с требованиями конкретного приложения и соотношения точность-длительность. Входные и выходные потоки данных рекордера коммутируются с AMC-портов 4-7/8-11 Fabric-DEFG стандартов AMC.2 Ethernet, AMC.1 PCIe или AMC.4 Serial RapidIO, которые маршрутизируются к другим AMC-модулям ЦОС (TORNADO-A6678/FMC, TORNADO-AZU+/FMC+ и др.) в шасси MicroTCA/iMTCA с установленными на них FMC-субмодулями АЦП/ЦАП.

Рекордер TORNADO-ARS1 управляет по интерфейсу 1GbE Ethernet через AMC-порты 0-1 Fabric-A как дистанционно с ПК и устройств Android через сети LAN/WAN, так и локально от других AMC-модулей TORNADO-A и модулей MCH/iMCH фирмы МикроЛАБ Системс внутри шасси MicroTCA/iMTCA, причём пользователь может также создавать свои собственные управляющие приложения. При необходимости фирма МикроЛАБ Системс может модифицировать ПО рекордера TORNADO-ARS1 в соответствии с требованиями заказчика.

Дополнительные конфигурации рекордера используют в качестве «несущего» высокопроизводительные AMC-модули ЦОС TORNADO-A6678/FMC и TORNADO-AZU+/FMC+, что позволяет совместить функции ЦОС и рекордера в одном AMC-модуле и повысить пропускную способность сменного носителя.

Вся продукция фирмы МикроЛАБ Системс разрабатывается и производится на территории РФ и имеет пожизненную гарантию и техническую поддержку.

<http://www.mlabsys.ru>

+7-(499)-900-6208

[info@mlabsys.ru](mailto:info@mlabsys.ru)

**MicroLAB Systems**

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



сделано в России

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

**WWW.MLABSYS.RU**

# Электронные устройства специального назначения для выявления, диагностики, контроля ВВ и НС. Обзор

Антти Эс

В настоящее время имеется много моделей специального электронного оборудования для обнаружения, сбора и проведения внелабораторных исследований взрывчатых веществ (ВВ) и наркотических средств (НС), а также их следов. Можно обнаружить угрозу, спрятанную не только в почтовых конвертах или за пластиковой обшивкой кузова автомобиля, но и на пальцах человека – через сканирование билета или документа, которые он держал. Тенденция в разработке и создании специальной РЭА направлена на обеспечение мобильности электронных устройств и оперативное, в течение минуты, выявление опасных веществ в разных средах и при низкой их концентрации. Предварительный анализ позволяет с достаточной точностью определить объекты и лиц, имеющих к ВВ и НС прямое незаконное отношение, установить основания для изъятия веществ с тем, чтобы проводить дальнейшие исследования материалов уже в лабораторных условиях. Поскольку методы и способы определения ВВ и НС различны, как различны и условия работы, РЭА специального назначения для лабораторной и внелабораторной диагностики отличаются друг от друга. Общепринятое деление процесса исследования на этапы предварительного и подтверждающего анализа раскрывается в статье на примерах практических устройств, их параметров, особенностей и перспектив нестандартного применения, в том числе в научных изысканиях, геологии, золотодобыче, в быту и даже в фармацевтике.

## Разновидности и общее РЭА специального назначения

Детекторы наркотических веществ предназначены для оперативного детектирования более 40 типов наркотиков – амфетамин, метамфетамин, кокаин, героин, гашиш и др. Как правило, устройства многофункциональны, имеют несколько режимов работы, как-то: обнаружение паров органических веществ в воздухе и режим детектирования твёрдых частиц органических веществ на специальной салфетке, используемой при протирке контролируемой поверхности. Почти все современные детекторы НВ имеют низкий порог обнаружения, открытую базу данных веществ с возможностью расширения и быстроту анализа (1–30 секунд). Они не требуют дорогостоящих расходных материалов. Возможности детекторов по обнаружению и идентификации ВВ и НС подтверждены испытаниями в

экспертно-криминалистических подразделениях ФСБ и МВД России [4].

Область применения РЭА специального назначения для диагностики среды, определения НС и ВВ и контроля их уровня:

- объекты критической инфраструктуры и обороны;
- контроль содержания паров ВВ в воздухе рабочей зоны предприятий;
- контроль и обеспечение безопасности в учебных заведениях;
- обеспечение безопасности массовых мероприятий;
- обеспечение транспортной безопасности;
- использование правоохранительными органами – экспресс-детектирование наличия следовых количеств взрывчатых и наркотических веществ на контрольно-пропускных пунктах (паспортно-визовый контроль в аэропортах, на вокзалах, на входах на массовые мероприятия, на промышленных объектах и особо охраняемых территориях);

- предотвращение террористических атак с использованием взрывчатых веществ;

- инспекционный контроль наличия следов взрывчатых и наркотических веществ на руках после контакта с ними и др.

Устройства этого типа отличаются нерадиоактивным источником ионизации и эффективная система самоочистки. При этом перечень определяемых ВВ широк. Аммиачная селитра (нитрат аммония), динитротолуол, тринитротолуол, тринитрорезорцин (пикриновая кислота), динитронафталин, диметилдинитробутан, этиленгликольдинитрат, нитроглицерин, ТЭН, пентаэритритетранитрат, гексоген, октоген, бензофуороксан, триперекись ацетона, гексаметилен трипероксиддиамин, ПВВ на основе гексогена (гексоген + пластификатор), ПВВ на основе октогена (октоген и пластификатор), симтекс (гексоген, ТЭН, пластификатор), октол (гексоген и тротил), аммонит, аммонал, нитропорох и др. Что касается наркосодержащих средств (НС), перечень будет таким: амфетамин (AMP), метамфетамин (MET), героин (HER), тетрагидроканнабинол (THC – производные гашиш, марихуана), кокаин (COCB, COCS), метилendioксиамфетамин (MDA), метилendioксиметамфетамин (MDMA – «экстази»), морфин (MORP), кодеин (CODN), опий и соединения морфина и кодеина, 6-ацетилморфин (MAM), фентанил (FENT) и др.

Расширение и углубление наркотизации общества наносит ущерб национальной безопасности Российской Федерации [1]. На основании подп. 11 п. 47 Указа Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400 «О стратегии национальной безопасности Российской Федерации» достижение целей обеспечения государственной и общественной безопасности осуществляется путём реализации государственной политики, направленной на решение задач, в которые также входит предупреждение и пресечение преступлений, связанных с незакон-

ным оборотом наркотических средств и психотропных веществ. За последние 10 лет число наркопотребителей увеличилось на 22% и составило рекордные 275 миллионов человек [3]. Причём в статистике учитываются только наркопотребители, за которыми установлен соответствующий административный надзор, реальное же их число может быть гораздо больше [1]. По данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) за 2022 год, более 50% лекарств, продаваемых через Интернет фирмами, скрывающими местонахождение, являются контрафактными, как и примерно 30% лекарств, продающихся в развивающихся странах. Для легальных производителей лекарств это означает потерю прибыли, а также возможность предъявления претензий со стороны лиц, пострадавших от подделок. Это ещё одна сфера применения диагностических возможностей специальной электронной техники.

### Концентратор-дермодесорбер ЯКР

Частота квадрупольного резонанса ядер (ЯКР) зависит от состава и структуры молекул конкретного вещества. В состав молекул большинства взрывчатых веществ входят ядра азота  $N^{14}$ . Используя явление ЯКР, обнаруживают и идентифицируют конкретное ВВ. Для этого применяется метод газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ-МС). Особенность метода в том, что введённый образец испаряется в инжекторе хроматографа и переносится в колонку (полностью либо частично). Наиболее летучие вещества с различной скоростью проходят через колонку, за счёт чего происходит их разделение. Для прохождения менее летучих соединений через колонку пропорционально повышают её температуру. Из колонки через термостатированный интерфейс соединения попадают в источник ионов, где они ионизируются (обычно электронным ударом). Образовавшиеся ионы направляются в масс-анализатор, в котором они разделяются по отношению массы к заряду ( $m/z$ ). Из квадрупольных ионов попадают в детектор, который определяет их количество. В результате анализа получается трёхмерный массив данных – каждая точка хроматограммы содержит масс-спектр. На рис. 1 представлен магнитный ква-

друпольный с двойной фокусировкой масс-спектрометр с несколькими интерфейсами для ввода образцов, в том числе газовым хроматографом, оснащённым оригинальным устройством – «концентратором-термодесорбером» [6].

Устройство позволяет проводить экспресс-исследования газообразных и жидких образцов. Продолжительность анализа при этом не превышает 2–3 мин, что с использованием стандартных баз данных по масс-спектрометрии позволяет быстро идентифицировать неизвестные вещества. Принцип работы устройства основан на возбуждении ядра элемента периодической таблицы и поглощении энергии при воздействии внешнего электромагнитного радиочастотного поля определённой частоты. Имеющие несферическое распределение положительного заряда ядра (к примеру, N, Na, Cl и др.) возбуждаются. При переходе обратно в равновесное состояние излучают накопленную энергию на той же частоте. Явление получило название ядерного квадрупольного резонанса.

### Масс- и дрейф-спектрометры

Действие масс-спектрометров основано на физико-химическом методе измерения отношения массы ионов к их заряду (масс-спектрометрии). Спектрометрия основана на ионизации молекул, разделении ионов в газовой фазе, происходящем в зависимости от соотношения их массы и заряда, и регистрации разделённых ионов. Материальное вещество состоит из мельчайших частиц – молекул и атомов. Рассматриваемый тип детектора устанавливает молекулярную массу вещества, атомарный и изотопный состав, а также пространственную структуру расположения атомов, что позволяет идентифицировать и само вещество. Масс-спектрометры обладают высокой чувствительностью и позволяют обнаруживать следовые количества органического вещества в больших объёмах газов и жидкостей. Работа дрейф-спектрометров основана на ионизации непрерывного потока газа, разделении образовавшихся ионов микропримесей по их подвижности в электрическом поле специальной формы и регистрации разделённых ионов (метод спектрометрии подвижности ионов в электрическом поле). Благодаря принципу функцио-



Рис. 1. Квадрупольный масс-спектрометр HIDEN HAL/3F RC 51 PIC с тройным масс-фильтром и детектором импульсного ионного подсчёта

нирования обладают высоким быстродействием (от сотых долей секунды до 1–2 с), но при этом имеют недостаточную для вызовов времени разрешающую способность [13].

### Системы на основе радиолокации

Основаны на излучении миллиметровых волн и используют собственные радиометрические излучения различных покровов и сред естественного и искусственного происхождения, в том числе и живых объектов. Одной из практических задач, потенциально решаемых с помощью радиотепловых методов наблюдений в диапазоне миллиметровых волн, является регистрация неоднородностей радиотеплового излучения тела человека при бесконтактном досмотре. Принцип работы основан на «радиосигнальном» голографировании и обеспечивает обнаружение скрытых на теле человека предметов из металла, дерева, керамики, стекла, пластмассы и других материалов. К примеру, пропускная способность «рамки» SafeScout от фирмы Provision составляет до 600 человек в час при возможности обнаружения предметов одновременно на разных участках тела человека. На рис. 2 представлен радиоволновый сканер стационарного базирования «SafeScout» L3 Communications.

В транспортной инфраструктуре и на предприятиях разных форм собственности теперь нередко можно встретить стационарные модули, похожие на тер-



Рис. 2. Радиоволновый сканер «SafeScout» L3 Communications

миналы, включённые как элементы безопасности.

### Устройства на резонансном лазерном поглощении

Принцип действия спектрофонов основан на резонансном поглощении наркотическими и взрывчатыми веществами лазерного излучения с регистрацией возникающих при этом локальных перепадов давления в виде звуковых волн чувствительным микрофоном. Спектрофон (рис. 3) взаимодействует с ПК, состоит из компактного лазера, контрольной камеры с детектирующим микрофоном (рис. 4), модулятора лазерного излучения, фазочувствительного усилителя сигнала и ПО для управления процессом и обработки результатов анализа.

В рабочем цикле анализируемая проба воздуха поступает в контрольную камеру, в зону действия луча лазера, длина волны которого совпадает с максимумом поглощения анализируемого вещества.

### Разновидности электронных спектрометров

Устройства РЭА специального назначения можно условно разделить по нескольким критериям. Во-первых, по предназначению и перечню диагностируемых веществ. Как правило, каждое устройство многофункционально. Во-вторых, по форм-фактору – есть устройства портативные, уместяющиеся в ладони, есть переносные, есть для стационарного монтажа и есть встра-



Рис. 3. Спектрофон Гриф-01 с лазерным детектором



Рис. 4. Датчик для спектрофона

иваемые и универсальные модули, к примеру, встраиваемый детектор взрывчатых и наркотических веществ «Кербер-СТ», вид которого представлен на рис. 5.

Детектор предназначен для интеграции в системы массового персонализированного контроля для выявления взрывчатых и/или наркотических веществ на пальцах рук человека. Обнаружение и идентификация ВВ и НС осуществляется в автоматическом режиме включением пробоотборного устройства детектора.

Различия устройств контроля также можно классифицировать по трём комплексным группам эксплуатационных и технических требований к разным моделям специальной РЭА. К группе «А» относится стационарная досмотровая аппаратура, основанная на использовании различных видов проникающих излучений и предназначенная к применению в аэропортах, таможенных терминалах и транспортных узлах. В основе принципа работ – один из современных вариантов компонентного локально-распределительного анализа (рентгеновская просмотровая аппаратура, нейтронная томография и др.).

Группа «Б» – это стационарная аппаратура высокочувствительного и экспрессного анализа и предварительной идентификации НС, с использованием современных физико-химических методов (дрейф-спектрометрия ионов, поверхностная ионизация, резонансное лазерное поглощение и др.).

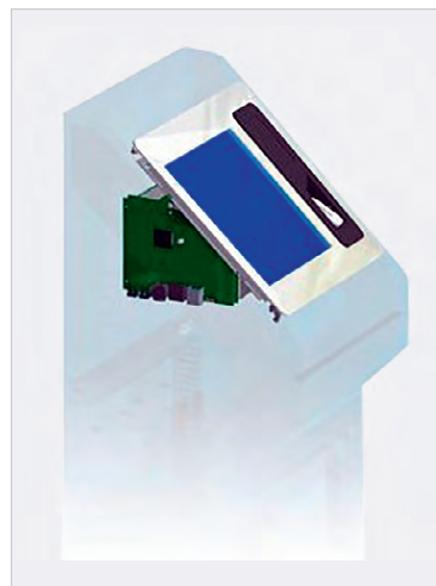


Рис. 5. Вид встраиваемого детектора взрывчатых и наркотических «Кербер-СТ»

В группе «В» РЭА, обеспечивающей иммунохимические и химические тесты и диагностикумы, как правило, малогабаритные переносные электронные устройства, предназначенные для индивидуального пользования в целях выявления и предварительной идентификации НС непосредственно в выездных условиях. В-третьих, и это главное для обзора, – по способу диагностики. Способов несколько.

### Диагностика иммунохимическим способом

Одно из перспективных направлений для решения задач контроля наркотиков в соответствии с мировой практикой связано с разработкой высокоспецифичных иммунохимических диагностикумов, реагирующих на различные группы НС, когда диагностируют частицы условно твёрдого материала (порошка), собранные на специальную тестовую фактуру. Ею может быть салфетка, ткань, стекло и другой материал. Частицы могут быть толщиной в несколько микрон. Этот метод условно называют химическим. Примеры такого оборудования связаны с иммунохроматографическим анализом вещества. С помощью иммунохимических диагностикумов осуществляется прямое или косвенное (по продуктам метаболизма) выявление широкого спектра наркотических веществ: опиатов (морфин, героин и др.), каннабиноидов, барбитуратов, амфетаминов, бензодиазепи-

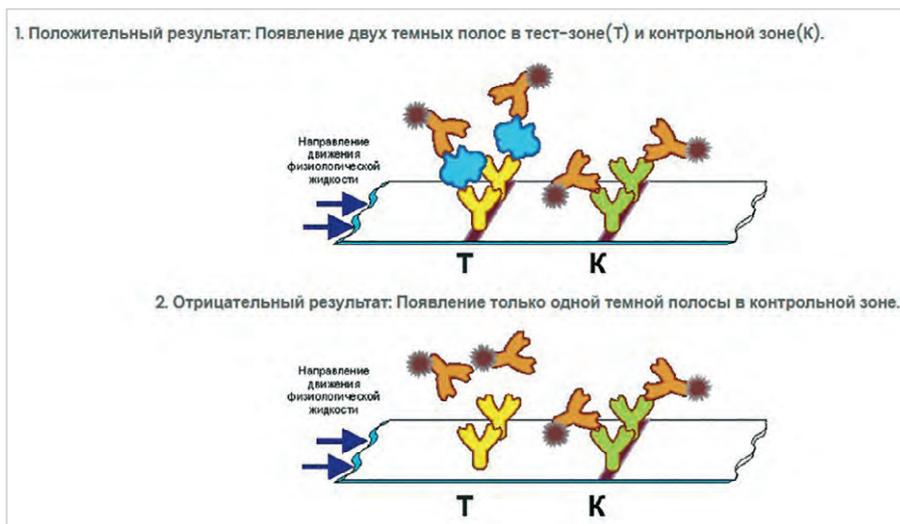


Рис. 6. Реакция по способу ИХА

нов и др. Такие наборы предназначены для предварительной идентификации наркотических и сильнодействующих веществ во внелабораторных условиях, по способу применения можно их разделить на 3 основные группы: капельные, аэрозольные и ампульные.

Капельные тесты являются наиболее простыми в изготовлении и эксплуатации. Основаны на использовании химических реакций наркотических препаратов со специально подобранными реагентами с образованием окрашенных продуктов. Ампульные тесты являются наиболее распространённым в практике правоохранительных органов набором для выявления НС различных типов. Химическая реакция с образованием окрашенных продуктов происходит в полимерных контейнерах (пакетах или трубках) после помещения в них пробы, содержащей наркотик, и раздавливания стеклянной ампулы с реагентом. Общепринятым стандартом является комплект NIS фирмы «Бектон-Диниксон» (США). Аэрозольные химические тесты сочетают простоту и быстроту капельных реакций на фильтровальных бумагах, что особенно ценится в выездных условиях. Наиболее известны аэрозольные тесты для определения кокаина («Кокаспрей») и каннабиноидов («Каннабиаспрей») [6].

Химическое тестирование (иммунохимический анализ – ИХА) – способ определения низких концентраций веществ в биологических материалах. Соответственно, в данной области задействуют в основном биосенсоры. В отличие от рассмотренных выше, биодатчики (биосенсоры) значительно отлича-

ются, так как состоят из биологического компонента (клетки, фермента или антитела), соединённого с электронным преобразователем, передающим энергию в виде электрического тока. Это устройства-детекторы, действие которых основано на специфичности клеток и молекул, они используются для идентификации и измерения количества даже незначительных концентраций веществ, в том числе и взрывчатых.

К исследуемым материалам относятся цельная кровь, сыворотка или производные. ИХА – условно новый метод анализа, также обозначается как метод сухой иммунохимии, стрип-тест, QuikStrip cassette, QuikStrip dipstick, экспресс-тест или экспресс-анализ. У них есть общее: все методы ИХА основаны на реакции «антиген – антитело». Антиген – вещество, узнаваемое организмом как чужеродное, которое может запускать иммунную (защитную) реакцию. Антитела – белки, образующиеся клетками организма в ответ на внедрение антигена. Важны не термины, а то, что антитела могут специфически связываться с соответствующим ему антигеном. А метод основан на том, что при погружении теста в жидкость та начинает мигрировать вдоль полоски по принципу тонкослойной хроматографии. Вместе с жидкостью двигаются антитела с красителем (см. рис. 6). Примерно по тому же принципу работают тесты на беременность для женщин.

Однако этот способ нельзя вполне назвать «электронным», разве что в случаях, когда для анализа применяется электронное оборудование, пример которого представлен далее.



Рис. 7. Детектор IONSCAN-400B

Таблица 1. Некоторые технические характеристики устройства IONSCAN-400B

Технология	Спектрометрия ионной подвижности (IMS)
Обнаруживаемые ВВ	Гексоген, пентрит, ТНТ, Semtex, нитрат аммония, НМХ, нитроглицерин, DNT, HMTD, TATP, Tetryl и др.
Обнаруживаемые наркотики	Кокаин, героин, ТНС (конопля), метамфетамин и др.
Время анализа	6–8 с
Время готовности из холодного старта	Менее 20 мин
Способ анализа пробы	Салфетка
Вес	22 кг
Габариты	40×34×32 см
Условия рабочей среды	0–40°С, влажность менее 95%
Электропитание	220 В, 50 Гц

Детектор для обнаружения наркотиков IONSCAN-400B (рис. 7) предназначен также для обнаружения ВВ. Используется технология спектрометрии ионной подвижности материи:

- взрывчатых веществ: гексоген, пентрит, ТНТ, Semtex, тетрил; нитраты, нитроглицерин, НМХ и т.д. (чувствительность – в области 1 пг);
- наркотиков: кокаин, героин, РСР, ТНС, метамфетамин, ЛСД, марихуана и т.д. (чувствительность – 1 нг, длительность анализа 6–8 с).

Характеристики устройства представлены в табл. 1.

IONSCAN-400B – настольный детектор следов ВВ и наркотических веществ, один из наиболее распространённых и надёжно работающих. Проба берётся с поверхностей (кожа рук, одежда, багаж и др.) путём протирки специальной салфеткой. Салфетка помещается в прибор и через 8 с результат анализа высвечивается на экране. На рис. 8 представлена иллюстрация



Рис. 8. Иллюстрация практического забора «пробы» салфеткой с рулевого колеса автомобиля



Рис. 11. Устройство Химэксперт-Т

практического забора пробы салфеткой с рулевого колеса автомобиля [13].

По той же аналогии можно «снять пробу» с любых предметов и даже документов. Для оперативного анализа есть переносные анализаторы, к примеру, «Йон-Т» (рис. 9).

Пробоотбор также возможен на тампоны на воздушный фильтр (при использовании ручного пробоотборника). Переключение режимов обнаружения (ВВ, НВ) требует нескольких секунд. IONSCAN-LS – прибор для поточного анализа подготовленных жидких проб. Оборудован авто-сэмплером. Модификация IONSCAN Document Scanner предназначена для обнаружения следов взрывчатых и наркотических веществ на документах. Условный аналог устройства российского производства – «Кербер-Д» (рис. 10).

Тестеры ИХА при высокой чувствительности обладают низкой селективностью и требуют дополнительного подтверждения положительного результата другими аналитическими методами. На практике используются в клинических или судебно-химических лабораториях как средство быстрого отбора среди большого количества образцов, требующих дальнейшего исследования.



Рис. 9. Электронный анализатор модели Йон-Т



Рис. 12. Устройство контроля в формате спектрометр плюс ноутбук с ПО

### Диагностика растворённых материалов

Примеры такого оборудования уместно рассмотреть на примере бесконтактного идентификатора токсичных материалов, биологических агентов и ВВ «Химэксперт-Т» с функцией романовского спектрального анализа. На рис. 11 представлено техническое средство досмотра, обеспечивающее оперативную идентификацию подозрительных предметов и веществ (включая опасные химические и биологические агенты и взрывчатые вещества), выявленных в личных вещах, багаже или ручной клади пассажиров при ручном досмотре или на рентгено-телевизионном оборудовании.

Устройство, разработанное отечественными специалистами, обеспечивает оперативную идентификацию химических и биологических агентов в жидком, твёрдом и сыпучем виде методом спектроскопии комбинационного рассеяния – без необходимости отбора проб и непосредственного контакта с веществом, в том числе через герметичный контейнер [11].

В принципе работы устройства заложен метод спектроскопии комбинационного рассеяния (романовский метод), ранее применявшийся только в условно сложном и громоздком электронном оборудовании. Лазерный луч,



Рис. 10. «Кербер-Д»

направленный в сторону тестируемого вещества, в том числе в жидкой форме и в прозрачной таре, возбуждает колебания молекул вещества. Частота колебаний уникальна почти для каждого химического соединения. Примерно так же – безошибочно – идентифицируют человека по индивидуальным свойствам его папиллярных линий (дактилоскопия) – как классическим способом сравнения отпечатков пальцев, так и более современным с применением электронного сканера-анализатора.

Спектрометр фиксирует эти колебания вещества, создаётся графика-диаграмма с выводом на дисплей и записью в память устройства, а электронный контроллер сравнивает полученные данные с образцами в базе данных – библиотеках ПО. Спектрометр выполняется в четырёх модельных версиях: прибор плюс ноутбук с ПО (рис. 12), переносное устройство, в формате встраиваемого моноблока и модуля стационарного монтажа.

Спектры комбинационного рассеяния света измеряют с использованием возбуждения на длине волны 1064 нм при выходной мощности лазера 495 мВт в геометрии обратного рассеяния на 180° и в спектральном рабочем диапазоне от 250 до 2500 см<sup>-1</sup> с разрешением 9,5 см<sup>-1</sup> (при 1296 нм).

### Практический пример

Устройство прошло обязательную сертификацию в ФСБ как лицензированное средство досмотра, в том числе для применения на объектах транспортной инфраструктуры согласно постановлению Правительства РФ от 26 сентября 2016 г. № 969 «Об утверждении требований к функциональным свойствам технических средств обеспечения транспортной безопас-

Таблица 2. Некоторые ТТХ «Химэксперт-Т»

Принцип действия	Спектроскопия комбинационного рассеяния (рамановская спектроскопия)
Объекты для анализа	Жидкости, порошки, твёрдые тела, в том числе в прозрачной упаковке
Проведение измерений	Без взаимодействия с веществом, в том числе сквозь герметичный контейнер
Время анализа, с	От 5 до 60
Режимы анализа	Простая идентификация веществ по базе данных; идентификация веществ по библиотекам запрещённых/разрешённых к проносу (ChemExpert-RSI)
Длина волны лазера, нм	532
Спектральное разрешение, см <sup>-1</sup>	5–8
Спектральный диапазон, см <sup>-1</sup>	100–4000
Мощность лазерного источника, не более, мВт	30
Сигнал оповещения о результатах идентификации	Отображение информации о результатах идентификации на встроенном дисплее; передача информации о результатах идентификации по проводному или беспроводному каналу связи (при наличии установленного соединения)
Интерфейсы	USB, Bluetooth, Ethernet, Wi-Fi
Время автономной работы, ч	До 8
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	270×160×130
Вес, кг	3

ности и Правил обязательной сертификации технических средств обеспечения транспортной безопасности». На практике устройство применяют также в криминалистических лабораториях и даже в геологии. Многие задаются вопросом – почему пассажиров не пропускают на предполетном досмотре с водой и напитками? Почему такие же правила введены на входе в «важные» государственные учреждения, а также в здания судебной системы. Представим себе, что пассажир несет ёмкость с прозрачной жидкостью в пластиковой таре. Что в закрытой бутылке с прозрачной жидкостью – кислота, продукты жизнедеятельности человека, жидкость с ртутью или дистиллированная вода для автомобильной аккумуляторной батареи, спирт, токсичное, горючее, легковоспламеняющееся или взрывоопасное вещество, представляющее потенциальную угрозу? Для быстрого определения состава жидкости не помогает пока ни металл-детектор, ни рентгеновские интроскопы, ни обнаружители паров ВВ. Тем не менее представленный электронный прибор решает эту задачу – бесконтактным способом определяет широкий перечень веществ опасных классов и даже биологических объектов.

Особенности применения и идентифицируемые вещества: анализ без пробоподготовки и разрушения образцов, широкий спектр идентифицируемых веществ, возможность идентификации

веществ сквозь прозрачные и полупрозрачные преграды, низкая стоимость анализа.

Среди идентифицируемых веществ:

- опасные химические агенты (токсичные, ядовитые, отравляющие, химически активные вещества и пр.) – около 100 наименований;
- опасные биологические агенты (споры бактерий, биологические токсины и пр.) – около 20 наименований;
- взрывчатые вещества – около 100 наименований (включая 19 наименований жидких взрывчатых веществ);
- горючие и легковоспламеняющиеся вещества – около 50 наименований;
- наркотические средства, психотропные вещества и их прекурсоры – около 50 наименований;
- продукция химической и фармацевтической промышленности – более 10 000 наименований;
- вода, прохладительные напитки и алкоголь.

Библиотеки запрещённых и опасных веществ содержат:

- перечень веществ, в отношении которых установлен запрет или ограничение на перемещение в зону транспортной безопасности (утверждён приказом Министерства транспорта РФ от 23 июля 2015 г. № 227);
- вещества из Единого перечня товаров, к которым применяются запреты или ограничения на ввоз или вывоз Государственными участниками таможенного союза в рамках Евразийского экономического сообще-



Рис. 13. Иллюстрация работы устройства

ства (Приложение № 1 к Решению коллегии Евразийской экономической комиссии от 16 августа 2012 г. № 134);

- вещества из Перечня основных опасных веществ, запрещённых к перевозке на борту воздушного судна (РОС 9284 AN/905 ИКАО) [11].

Тактико-технические характеристики (ТТХ) устройства представлены в табл. 2.

На рис. 13 представлена иллюстрация работы устройства.

В этой связи интересны описания международной патентной заявки WO 90/07108, кл. G01N 21/65 и EP № 543578, кл. G01J 3/18. Описания свидетельствуют, что вещество типа Семтекс (Semtex) имеет два активных химических ингредиента: циклотриметилен-тринитрамин, или RDX, и пентаэритритол-тетранитрат, или PETN. Ряд исследователей ранее описывали рамановские спектры RDX и PETN и других ВВ, полученные с помощью рамановской спектроскопии, в частности в [12, 14]. В этой и других аналогичных по теме работах описываются условия для обнаружения взрывчатого материала в образце, в частности, детектор для рамановского спектрального анализа. Детектор для обнаружения рамановского рассеянного света регистрирует пики изменений среды в пределах от 400 до 3200 см<sup>-1</sup>, что даёт возможность обнаружения искомых веществ.

### Принцип действия

На сегодняшний день рамановская спектроскопия является общепринятой аналитической технологией и рекомендована к использованию в разных



Рис. 14. Иллюстрация подвижности молекул в среде под воздействием импульса ионизации

областях диагностики – при контроле еды и медикаментов (FDA) и фармацевтеей (USP) для химической идентификации фармацевтических препаратов. Использование рамановской спектроскопии для идентификации НС в пределах возможностей современной электроники, поэтому технология хорошо подходит для использования сотрудниками правоохранительных органов и исследователями. Детектирование веществ с их последующей оперативной идентификацией основывается на ионной подвижности молекул в газовой среде при устойчивом атмосферном давлении. Источником ионизации является импульсный коронный разряд (рис. 14).

Принцип действия спектро-анализаторов основан на «тушении» фотолюминесценции сенсорного материала в среде, где предполагаются пары взрывчатых веществ. Система состоит из группы датчиков (от 8 до 16, в зависимости от комплектации) с общим пультом управления. Каждый датчик самостоятельно производит определение ВВ и посылает информацию на пульт управления (рис. 15).

Материал, собранный в контейнер, анализируется в стационарных установках, таких как Шельф-ТИ, ГК-Вектор, Сегмент-Гамма и аналогичных. На рис. 16 представлена иллюстрация такого анализа с помощью стационарной установки.

### Технические средства обнаружения НС, приборы и принцип действия

Спектроанализатор i-Raman EX компании B&W Tek с термоэлектрически охлаждаемым InGaAs (рис. 17) предназначен для обнаружения паров ВВ при оперативном обследовании различных объектов, в том числе и в полевых условиях.



Рис. 15. Иллюстрация датчиков ВВ и вид основного блока детектора Nitroscan

Применяется для обнаружения и идентификации типа ВВ при обеспечении безопасности воздушного, автомобильного, водного и железнодорожного транспорта, производственных предприятий, банков, офисов и жилых помещений. У данного устройства несколько особенностей. После включения автоматически калибруется 6–10 с и переходит в режим тестирования-обнаружения. Встроенный электрический насос, постоянно прокачивая воздух, отбирает пробы на расстоянии 10 см от обследуемого объекта. На наличие ВВ указывают световой и звуковой сигналы. Частота звукового сигнала возрастает с увеличением концентрации паров ВВ. Изделие снабжено ЖК-дисплеем для вывода наглядной и верифицируемой информации о состоянии прибора и исследуемого объекта – обеспечен результат тестирования, вывод на экран сообщения о типе ВВ. ЖКИ также информативен и полезен для проверки и настройки прибора, когда нет возможности подключить детектор к ПК. Поскольку конструкция предусматривает систему автокалибровки, изменение влажности среды либо температуры воздуха не оказывает влияния на процесс анализа.

Детектор оптоволоконной рамановской системы 1064 нм состоит из 512 элементов и волоконно-оптического зонда, подключённого к держателю виал NR-LVH. Образцы водного полимера (≈10–20 весовых % твёрдых веществ) заливают в виалы из боросиликатного стекла с завинчивающей-



Рис. 16. Анализ материала в контейнере с помощью стационарного спектроанализатора

ся крышкой (высота 4,5 см, внешний диаметр 1,5 см, внутренний диаметр 1,1 см). Сбор данных производится с использованием ПО BWSpec (с функцией вычитания темного спектра). Измерения производятся по времени интегрирования 500 мс, общее время измерения 5 минут. Конструкция устройства пробоотбора исключает «эффект памяти» при обнаружении взрывчатого вещества. Тип обнаруживаемых ВВ: ТНТ, НГ, ЭГДН, гексоген, октоген, семтекс.

Процедуру поиска ВВ и ПН можно повторять с частотой 50 Гц, смещая точку облучения исследуемой зоны и осуществляя таким образом режим сканирующего обследования. Ещё одно преимущество в том, что в качестве зондирующего излучения, так и носителя полезного сигнала используются гамма-кванты, обладающие высокой проникающей способностью, это позволяет обнаруживать ВВ и ПН в сокрытом веществе и на значительной глубине.

### Детектор ВВ МО-2М

Детектор ВВ МО-2М относится к устройствам для обнаружения и контроля лекарственных, наркотических, токсичных и взрывчатых веществ на образце и может быть применён для исследования образцов в области материаловедения, нанотехнологий, археологии, судебной медицины и др. Устройство содержит источник света, фокусирующее устройство, для освещения образца – детектор для обнаружения рамановского рассеянного света, полученного от образца, в котором между образцом и детектором размещён узкополосный фильтр, пропускающий к детектору свет в узкой полосе, в области фокуса фокусирующей системы перпендикулярно оптической оси



Рис. 17. Спектроанализатор i-Raman EX компании B&W Tek

фокусирующей системы размещена по крайней мере одна диэлектрическая частица, формирующая непосредственно на теневой стороне фотонную струю с пространственным разрешением, превышающим дифракционный предел.

Диэлектрическая частица выполнена в виде монослоя частиц. Фокусирующее устройство содержит линзу, приспособленную для получения от источника света линейного фокуса света поперек образца. Характерный размер диэлектрической частицы выбирают не менее максимальной длины волны рамановского спектра искомого вещества и не более поперечного сечения области фокусировки фокусирующей системы.

Приведенное на рис. 18 самодельное устройство в лабораторных условиях не испытывалось, обладает недостаточной чувствительностью. Тем не менее мы показали, что даже вне лаборатории можно сделать детектор-анализатор, подобный рассмотренному выше на примере МО-2М. Принцип действия также связан с спектральным сканированием с помощью ИК-лучей и лазерного пучка, но на самодельном устройстве крайне упрощён.

Анализ основан на попадании в воду частиц НС или ВВ (обе категории тяжелее воды и оседают на дно, а органические вещества растворяются и изменяют состав и прозрачность жидкости). Попадание частиц происходит после того, как палец руки опускают в резервуар с жидкостью на 2-3 минуты. За неимением в авторском арсенале соответствующих НС и ВВ опыт был поставлен на мельчайших частицах металла. Его пылинки осели на коже руки после производства работ ножовкой по металлу – при отрезании металлического профиля.



Рис. 18. Устройство, созданное и испытанное автором в домашних условиях по аналогии с детектором МО-2М

Даже простое устройство их зафиксировало.

С помощью двух модулей – передатчика и приёмника ИК-спектра можно самостоятельно изготовить простой спектроанализатор и условно определять примеси в жидкости. Для этого модули устройства устанавливают на твёрдой поверхности соосно – точно друг напротив друга, между ними устанавливают прозрачный сосуд с жидкостью – дистиллированной водой. Изменение «прозрачности» определяют на индикаторе – им может служить любой подходящий тестер с цифровой «шкалой». Тестер подключается к выходному каскаду приёмного модуля и определяет колебания напряжения на шунтирующем (выходного каскада) резисторе. Соответственно калибровка самодельного устройства производится непосредственно перед испытанием (анализом). На качество измерений влияет как чистота «эталонной» жидкости, стенка тары, так и (косвенно) освещённость интерьеров. Поэтому этот способ приводится как иллюстрация принципа действия профессиональных приборов. Для повышения чувствительности применяют фокусировку излучения на образце с помощью линз. Область фокусировки излучения микрообъектива имеет вид эллипсоида вращения. Минимальный размер поперечной оси эллипсоида вращения на уровне половинной мощности для идеальной безаберрационной линзы равен  $1,22\lambda F/D$ , где  $\lambda$  – длина волны используемого излучения,  $F$  – расстояние от линзы до области фокусировки и  $D$  – размер апертуры линзы. Размер продольной полуоси эллипсоида  $8\lambda(F/D)$ . Подробно о настройке оптики в [2].



Рис. 19. Забор биоматериала для диагностики с помощью устройства контроля Dräger DrugTest 5000



Рис. 20. Иллюстрация практического контроля на пограничном пункте пропуска на границе России и Финляндии

### Приборы неинвазивного контроля: Dräger DrugTest 5000

Тест-комплект Dräger DrugTest 5000 предназначен для использования в составе системы тестирования вместе с анализатором наркотических средств и психотропных веществ в жидкости полости рта Dräger DrugTest 5000. Конструкция устройства обеспечивает контроль отбора необходимого объёма пробы слюны, а также взаимодействие между пробой слюны и реагентами, нанесёнными на тест-полоски, расположенные внутри тестовой кассеты. Прибор служит для одновременного обнаружения в жидкости полости рта (слюне) человека наркотических средств, психотропных веществ следующих групп: опиаты, каннабиноиды, кокаин, амфетамин, метамфетамин, бензодиазепины в целях качественной и безошибочной диагностики. Неинвазивная и гигиеничная процедура отбора пробы слюны происходит с помощью специального переходника для забора материала; иллюстрация представлена на рис. 19 и рис. 20.

Оптоэлектронная аналитическая система для обнаружения наркотических средств и психотропных веществ в организме человека состоит из двух элементов – тестового ком-



Рис. 21. Компактный анализатор TacticID-GP Plus производства компании B&WТек

плекта Drager DrugTest 5000 Test-Kit для сбора пробы ротовой жидкости и анализатора Drager DrugTest 5000 Analyzer, осуществляющего обработку пробы, вывод и хранение в памяти устройства результатов теста. Диагностический процесс с одновременным анализом по 6 видам веществ и их метаболитов (опиаты, кокаин, каннабиноиды, амфетамин, метамфетамин и бензодиазепины) занимает примерно 10-12 минут. Установленные уровни пороговых значений концентраций (Cut-Off) для исследуемых групп наркотических средств и психотропных веществ представлены в табл. 3.

Немаловажным фактором является возможность ошибок или ложноположительных результатов при тестировании. В табл. 4 представлены некоторые данные относительно обнаружения НС.

Описание тестов доступно в [7]. Среди этих названий встречаются вполне «аптечные» препараты, и тут нужно вспомнить истину о том, что лекарство от яда отличается только дозой и применением.

Технические характеристики устройства представлены в табл. 5.

### Компактный анализатор TacticID-GP Plus

Компактный анализатор TacticID-GP Plus производства компании B&WТек предназначен для бесконтактной судебно-медицинской экс-

Таблица 3. Установленные уровни пороговых значений концентраций (Cut-Off) некоторых групп наркотических средств

Наркотическое средство (НС)	Калибратор	Значение минимальной концентрации для анализа
Кокаин, СОС	Кокаин	20
Опиаты, ОПИ	Морфин	20
Бензодиазепин, BENZ	Диазепам	15
Каннабиноид, ТНС	Delta-9-ТНС	25
Амфетамин, АМР	D-Амфетамин	50
Метамфетамин, МАМР	D-Метамфетамин	35

Таблица 4. Процент ложноположительных результатов при тестировании соответствующих веществ НС

Наименование НС	Условное количество	Процент
Героин	Нет данных	
Морфин		
Промедол		
Барбитураты	1	0,4
Дионин	1	0,4
Кодеин	1	0,4
ЛСД	1	0,4
Мескалин	1	0,4
Трамал	1	0,4
Фенциклидин	1	0,4
Димедрол	2	0,7
Метаквалон	2	0,7
Эфедрин	2	0,7
Барбитураты	1	0,4
Метадон	3	1,1
Амфетамины АМР	4	1,4
Апрофен	5	1,8
Бупренорфин	5	1,8
Циклодол	5	1,8
Крэк	6	2,1
Кокаин СОСВ, СОС	9	3,2

Таблица 5. Некоторые технические характеристики устройства Drager DrugTest 5000

Параметр	Значение
Габаритные размеры встраиваемого модуля, мм, не более	350×210×220
Масса встраиваемого модуля, кг, не более	5
Предел обнаружения по ТНТ при температуре от +17 до +23°C и относительной влажности от 20 до 60 %, г, не более	2×10 <sup>-8</sup>
Время очистки устройства отбора пробы при попадании на него большого количества ВВ, мин, не более	2
Время установления рабочего режима, мин, не более	20
Время измерения, с, не более	4
Режим работы	Непрерывный, круглосуточный
Компьютерные интерфейсы связи	Ethernet (TCP/IP), USB, «сухой контакт»

пертизы и обеспечивает в реальном времени идентификацию химических веществ, взрывчатых веществ, наркотических средств способом бесконтактного анализа. Принцип действия прибора

основан на использовании комбинационного рассеяния света с последующим высокоточным анализом смесей за счёт использования хемометрических алгоритмов. На рис. 21 представ-



Рис. 23. Пример контроля почтовой корреспонденции с помощью TacticID-GP Plus



Рис. 24. Пример контроля «закрытых мест»

лен внешний вид компактного анализатора TacticID-GP Plus производства B&WTeK.

Некоторые технические характеристики:

- длина волны возбуждения/мощность: 785 нм/макс / 300 мВт (регулируется программным способом с шагом 10%);
- спектральный диапазон/разрешение: 176–2900 см<sup>-1</sup> / ≈ 9 см<sup>-1</sup> на 912 нм;
- имеет ПЗС-линейку;
- в библиотеке для определения более 10 000 опасных, НС, химических и ВВ;
- степень защиты прибора IP65;
- результат исследования: совпадение/несовпадение (HQI).

Анализ смеси обеспечивается встроенной видеочамерой условным разрешением 12 мп, с выводом светокодированного результата на дисплей. Встроенная камера позволяет сделать фотографии исследуемых веществ, которые затем включают в финальный отчёт. Защищённая коммуникация обеспечивается хранением данных, отправкой результатов, обновлением ПО и библиотек и осуществляется через USB и/или беспроводное Wi-Fi или Bluetooth-соединение. Экран прибора сигнализирует красным, жёлтым или зелёным цветом после сканирования, таково предупреждение об опасности/безопасности исследуемого вещества. А также отображается информация о веществе согласно GHS и NFPA704 нормативам классификации. Принцип работы TacticID-GP Plus основан на использовании комбинационного рассеяния света, что позволяет в реальном времени проводить идентификацию неизвестных химических веществ, ВВ, НС и других веществ, не ставя под угрозу целостность образца или цепь доку-

ментальств. TacticID-GP Plus оснащён комплексной библиотекой со спектрами более 10 000 веществ [10]. Есть возможность создания новых библиотек для стандартных измерений и для измерений методом SERS. Несомненная польза бесконтактного неразрушающего анализа в том, что есть возможность сканирования непосредственно через пластик, бутылки и другие упаковочные материалы, в том числе непрозрачные (рис. 22).

По тому же принципу работают стационарные спектроанализаторы типа IONSAN400, Лиг-1, След, Safran и др. И переносные модели Drager5000, EDV3000, MMTD, Sabre5000 (и др.), и отечественные разработки N2200, Заслон-М, и многие другие. На рис. 23 представлена иллюстрация сканирования «закрытых мест» на предмет обнаружения следов ВВ и НС посредством спектроанализатора Sabre5000.

### Обнаружат даже в канализации...

Что касается чувствительности современных электронных датчиков, есть примеры контроля опасных средств даже в больших объёмах жидкости (потока) с существенным влиянием сторонних загрязнений. Такие устройства распознают признаки производства наркотиков даже в сточных водах. В РЭА специального назначения, такой как «Нитроскан-модуль», система стационарных датчиков уверенно обеспечивает обнаружение частиц и производных амфетамина [5].

Устройство апробировано с установкой в канализационных трубах для непрерывного мониторинга сточных вод. Работает система следующим образом. Принцип реакции полимера основан на технологии молекулярных отпечатков. Молекулы полимера

реагируют только на молекулы вещества, выделяющиеся при производстве синтетических наркотиков. Для производства амфетамина в подпольных лабораториях типично используется химическая реакция, получившая название синтеза Лейкарта. После нескольких последовательных химических операций в соль амфетамина добавляется щелочное соединение. Это приводит к образованию свободного основания амфетамина, которое можно транспортировать и применять для дальнейшего производства НС. Отходы реакции Лейкарта содержат специфические маркеры, указывающие на синтез амфетамина. Для их идентификации разработали химические датчики с полимерной основой. Полимер, установленный на позолоченные электроды для оптимального контакта и улучшенной токопроводимости в электрической цепи с крайне малым уровнем сигнала, используется в качестве распознающего бензилметилкетон (БМК) элемента в ёмкостном датчике. Это успешно проверили в ходе испытаний в канализационной системе Берлина [5, 7].

### Особенности электронных датчиков для разных сред

Применяемые в спектрометрах для обнаружения и контроля ВВ и НС электронные датчики среды можно условно разделить на полупроводниковые и электрохимические. Помимо спектрального анализа с помощью ИК-сканирования (полупроводниковые датчики) «на просвет», в РЭА специального назначения применяются датчики газов, реагирующие на опасную среду. Такой средой является не только «угарный газ» как продукт распада деревянных заготовок (к примеру, датчик МР-7), к приме-



Рис. 24. Цифровой датчик горючих газов ZM02

ру, русской печи в бане и сауне, но и всевозможные виды газообразных сред – от топливного газа в автомобилях до природного газа. Датчики ME-3, ME-4, MH440D, MH742B, ZC13, MQ-2B, MQ-8, MP-5, MP-7, MC101-106 и модули типа ZP05, ZP06, ZP13 реализованы по принципу полупроводниковой технологии с обязательной термостабилизацией, их также характеризуют высокая чувствительность, широкий диапазон входного напряжения, защита от помех, стабильность работы и ударопрочность, короткое время отклика, менее 30 с, и малые размеры как датчиков, так и модулей на их основе. Причём модули типа ZP06-ZP11 и аналогичные имеют широкий диапазон обнаружения: 1~25% НПВ, а также являются универсальным средством для подключения в устройствах с большой функциональностью, предназначенных для комплексных измерений. Разъёмы и платы таких модулей унифицированы. Это позволяет отечественным разработчикам в течение нескольких лет создавать новые РЭА-устройства для диагностики, обнаружения и контроля сред – под российской маркой, при этом датчики, платы и модули применяются китайские.

Диагностика газообразных сред имеет свои особенности. Обладая высокой чувствительностью, быстродействием и избирательностью, электронные датчики в комплексном взаимодействии способны обнаружить ВВ и НС, скрытые различными веществами значительной толщины (к примеру, сумки, тара), что связано со специфическими процессами взаимодействия вторичного излучения с веществом. С вероятностью более 99%

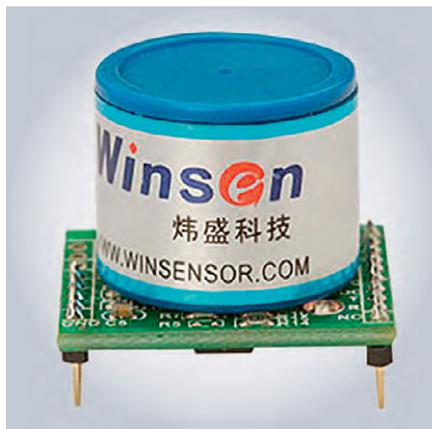


Рис. 25. Электрохимический модуль H2 ZE07-H2

могут быть обнаружены 10 г ТНТ и 50 г героина, скрытые под 30 мм стали, 20 см воды или 10 см бетона при большой скорости обработки среднего багажа (100×70×30 см), менее 10 секунд на каждый предмет и площади досмотра 1000 см<sup>2</sup> при диаметре гамма-пучка сканирующего воздействия всего 5 см. Для технологии MEMS представлен цифровой датчик горючих газов ZM02 со сверхнизким энергопотреблением, быстрым откликом, высокой чувствительностью и готовностью к работе после подключения питания (рис. 24).

Почти аналогичен по техническим характеристикам и форм-фактору датчик модели GM-402B MEMS. Электрохимический настраиваемый модуль H2 ZE07-H2 (рис. 25) применяется для обнаружения газа в диапазоне 0–30 000 ppm, имеет выход питания UART (электрический уровень 3V-TTL), аналоговый выход и ЦАП (стандартное выходное напряжение 0,4–2 В). Обеспечивает разрешение 50 ppm и время отклика ≤ 60 с. Время прогрева после подачи питания до готовности ≤ 3 мин. Температурный режим устойчивой работы в диапазоне –10...+55°С. Режим влажности в диапазоне 15–90% относительной влажности. Срок службы 3–5 лет. Модуль применяется в комплексе с другими датчиками типового ряда ZE в описанных выше устройствах – для бесконтактного обнаружения запахов пороха, продуктов горения, реагирует на алкогольные пары и водород.

### Выводы

Применяемые сегодня биосенсоры для определения биологически активных веществ, влияющих

на физическое состояние человека, специфичны и чувствительны, но склонны к потере функциональности в условиях окружающей среды. Несмотря на то что инновационный подход в создании датчиков обнаружения НС и ВВ обозначился ещё в первые годы XXI века, способ обнаружения бензилметилкетона в водных средах с применением технологии молекулярных отпечатков можно назвать перспективным. Так выявляют не только бензилметилкетон, исходное соединение в синтезе амфетамина и метамфетамина, но и амфетамины, синтезированные из эфедрина и его аналогов и замещённых нитростиролов. В целом же для обнаружения наркотических прекурсоров по этому методу подходят полимеры на основе других мономеров и линкеров. Важно и то, что для обнаружения каждого конкретного вещества нужен индивидуальный полимер к датчику.

Технология определения ВВ позволяет производить замеры как в помещениях, так и на открытом воздухе, при соблюдении температурных режимов, указанных в технических характеристиках РЭА специального назначения. Рабочий диапазон концентрации пока находится в пределах 50–1000 мкм, это невысокий – относительно требований времени – показатель для обнаружения целевых соединений в открытой среде и, в частности, в сточных водах. Но чувствительность датчика относительно невысока, составляет около 0,1 мг для ячейки объёмом 250 мкл, а это ограничивает применение диагностической РЭА для разбавленных водных растворов. Отсюда общее направление для совершенствования датчиков и модулей на их основе – расширение чувствительности до относительно слабой концентрации частиц с целью их обнаружения.

Рамановская микроскопия как метод анализа тонких шлифов в минералогии и геологии позволяет преодолеть проблемы оптической идентификации, возникающие при анализе мелкозернистых включений (размерами менее 100 мкм), а также при измерении непрозрачных минеральных фаз. А также для идентификации микропластика, извлечённого из поверхностных вод эстуария. Открыты перспективы электронной диагностики материалов в музейном

деле и коллекционировании артефактов: для определения подлинности и состава красителей в почтовых марках 1885 года результативно использовался портативный спектрометр i-Raman EX (рамановского спектроанализа). Теперь новейшие разработки направлены на снижение влияния флуоресценции при анализе материалов, получаемых из растительных компонентов, для достижения их быстрой и точной верификации при входном контроле поступающего сырья. Для этого достигнуты положительные результаты в тестировании РЭА с ИК-системой диагностики ВВ и НС – при изменении длины волны к 1064 нм относительно 785 нм – ранее. Таким образом, создаются новые модели электронных сканеров для обнаружения НС и ВВ при том же, открытом ранее, принципе рамановского спектрального анализа. Совершенствование РЭА в рассмотренной области связано с изменением технических характеристик и с интегрированием в одно устройство нескольких дополнительных функций для полного и точного определения угрозы комплексным методом.

### Литература

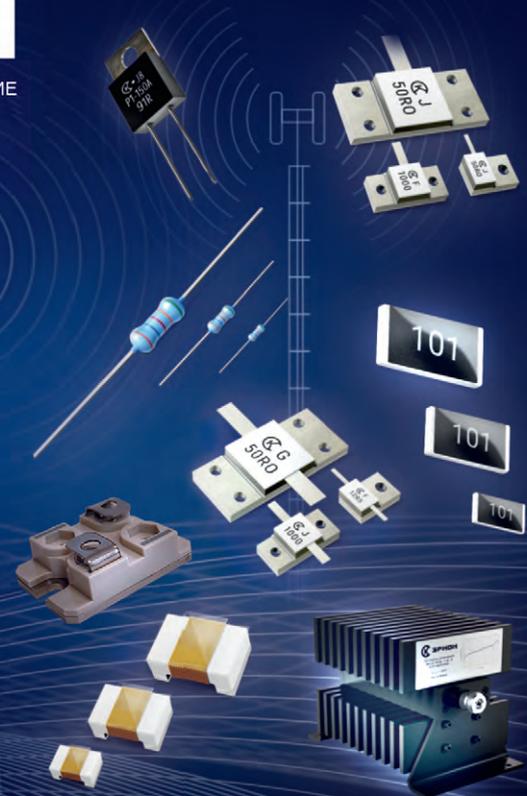
1. *Беляев И.Ю.* Проблема систем контроля за незаконным оборотом наркотических средств и психотропных веществ // Вопросы безопасности. 2022. № 1. С. 35–47. URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=37626](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=37626).
2. *Борн М., Вольф Э.* Основы оптики. Изд. 2-е / пер. с англ. М.: Наука, 1973.
3. Всемирный доклад о наркотиках – 2021 // URL: [https://www.unodc.org/res/wdr2021/field/V2104297\\_russian.pdf](https://www.unodc.org/res/wdr2021/field/V2104297_russian.pdf).
4. Встраиваемый детектор ВВ и НС «КЕРБЕР-СТ» // URL: <https://www.analizator.ru/production/ims/kerber-st/>.
5. *Грищенко Д.* Не в кайф: учёные создали датчики для поиска наркотиков в сточных водах // URL: <https://iz.ru/1099619/denis-gritcenko/ne-v-kaif-uchenye-sozdali-datchiki-dlia-poiska-narkotikov-v-stochnykh-vodakh>.
6. Детекторы наркотиков // URL: <https://divecon.net/catalog/detektory-narkotikov/>.
7. Описание некоторых тестов // URL: <http://progbio.ru/ForSpeshial.htm>.
8. Патент РФ № RU194268U1. Детектор для обнаружения и контроля лекарственных, наркотических и токсических средств // URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU194268U1\\_20191204](https://yandex.ru/patents/doc/RU194268U1_20191204).
9. Прибор для обнаружения и идентификации взрывчатых веществ, наркотиков, боевых отравляющих веществ и токсичных отходов MMTD // URL: <http://www.bnti.ru/des.asp?itm=4958&tbl=03.05.01.&p=1>.
10. Портативный рамановский спектрометр TacticID для идентификации наркотических веществ // URL: <https://www.czl.ru/blog/raman-spectroscopy/raman-spectrometer-tacticid-for-narcotics-identification.html>.
11. ПРС «ХимЭксперт-Т» // URL: <https://khimexpert.com/product/prs-himekspert-t/>.
12. Рамановская спектроскопия (спектроскопия комбинационного рассеяния) // URL: <https://www.czl.ru/blog/raman-spectroscopy/>.
13. Техника для спецслужб. Бюро научно-технической информации // URL: <http://www.bnti.ru/des.asp?itm=4494&tbl=03.06>.
14. *Botti S., Almaviva S., Cantarini L., Palucci A., Puiu A. and Rufoloni A.* Trace level detection and identification of nitro-based explosives by surface-enhanced Raman spectroscopy // J. Raman Spectrosc. 2013. Pp. 44, 463–468.





# 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](mailto:gr@erkon-nn.ru)  
[www.erkon-nn.ru](http://www.erkon-nn.ru)

Реклама

# Перспективы и безопасность оптоволоконных линий на основе GOF, ROF, PSF, а также формата SMPTE и РЭА для потоковой передачи данных

Вадим Экземплярский

Сегодня создание устойчивой и безопасной связи зависит от совершенствования разработчиками материалов оптоволоконных кабелей разного назначения и РЭА, безошибочно воспринимающей в потоке цифровой сигнал на расстояниях в несколько километров. Благодаря новым технологиям и разработкам оптоволоконные кабели теперь могут надёжно обеспечивать питание электронных устройств, двустороннюю передачу видео- и аудиоданных, что делает их идеальными для систем безопасности, видеонаблюдения на больших территориях и массового звукового оповещения. В статье представлены примеры современного оборудования, используемые протоколы и технические решения для оптоволоконных линий связи.

## Аргументы защиты систем безопасности

Поскольку передача сигналов по радиоканалу, в том числе посредством спутниковой, сотовой (LTE) и радиосвязи, сопряжена с рисками перехвата, «глушения» внешними средствами и в целом довольно слабой помехозащищённостью, устройства двусторонней связи используются не только в производстве и в инженерных целях, но и в системах критической инфраструктуры и безопасности. До сего дня проводная передача данных остаётся наиболее надёжной и востребованной в системах «ответственной» связи, в то время как радиоканал на разных частотах применяется либо дублирующим средством доставки информации, либо в устройствах и системах бытового назначения. Дополнительная системная надёжность обеспечивается тем, что при оптоволоконном кабельном соединении имеется резервный канал для устране-

ния неполадок в случае сбоя основного. Стандартное 10-контактное соединение для двусторонней связи с помощью преобразователя-конвертера применяют в условиях, когда соединения гарнитуры необходимо подключить к нескольким источникам и к оператору. В случае аварийной ситуации резервный канал обратной связи автоматически управляется с конвертера и становится основным: потоки данных переключаются с использованием дополнительной пары в кабеле, если оптоволокно повреждено.

## Разновидность оптоволоконных кабелей для линий связи

Рассматривая разновидности оптоволоконных кабелей современного производства, уместно разделить их по назначению и конструктивным особенностям (в том числе количеству оптических каналов), а также по способу прокладки;

наблюдаются существенные различия в строении и материалах (разного поглощения) – от изоляции-диэлектрика, гидрофобного заполнителя как водоблокирующего элемента, бандажной ленты, оцинкованных проволок до непосредственно оптоволоконной жилы (рис. 1). По способу прокладки различают оптоволоконные кабели стационарной или временной прокладки. К последнему случаю относится кабель (рассмотрим далее на примерах), используемый в линиях связи больших расстояний, но с разъёмными соединениями и возможностью стыковки с помощью специальных муфт. Он подключается к движущейся, мобильной или съёмной РЭА, в том числе для обеспечения потоковых данных аудио- и видеосвязи с высокой пропускной способностью и минимальными потерями сигнала.

Оптические (оптоволоконные) кабели производятся в разных модификациях. При общем функционале их можно разделить по сферам применения и условиям эксплуатации: наземной (в том числе навесной, воздушной прокладки), подземной, подводной, специальной. Самонесущий оптоволоконный кабель – полностью диэлектрическая конструкция с центрально расположенным оптическим модулем. Может содержать от 1 до 24 оптических волокон (каналов для передачи данных), причём каждый канал – отдельное стандартное одномодовое волокно с подавленным «водяным пиком». К примеру, плоский диэлектрический оптоволоконный кабель наружного исполнения с силовыми элементами из ERP-пластика модификации RS-Link-GYFXTBY-12 состоит из 12 волокон (рис. 2). Одна катушка (объём) рассчитана на длину прокладки 2 км. Тип волокна – одномодовое G.652D с негорючим диэлектриком типа LSZH. Типичная область применения такого оптоволоконного кабеля – подключение по технологиям GEPON и GPON. GPON (GigabitPON) – пассивная оптическая технология, обеспечивающая многофункциональ-

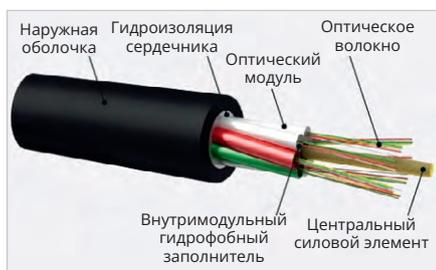


Рис. 1. Составляющие оптоволоконного кабеля

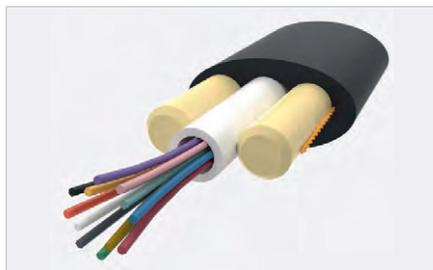


Рис. 2. Самонесущий оптоволоконный кабель модификации RS-Link-GYFXTBY-12

ный широкополосный доступ в Интернет с качественным и надёжным соединением на скоростях до 1 Гбит/с. По одному оптоволоконному кабелю, проведённому непосредственно в квартиру или частный дом, современный абонент получает услуги передачи данных и телефонии с гарантированным качеством обслуживания. Сочетается с разными абонентскими терминалами, к примеру, GPON ONU ZXA10 F601 (RS-GPON-ZXA10-F601), 1xGE, 1x10/100/1000 Base-T с внешним источником питания и напряжением 12 В. Оптоволоконный кабель ZXA10 F601 как элемент оптической GPON для построения сети доступа с одним Ethernet-портом 10/100/1000М для применения в режиме FTTH и с GPON-интерфейсом 2,488 ГГц используется в случаях, когда иные типы оптоволоконных кабелей типа FTTH не могут обеспечить необходимую надёжность кабельной инфраструктуры. К примеру, в условиях повышенных ветровых и гололёдных нагрузок, а также на линиях электропередач для монтажа требуются полностью диэлектрические кабели.

Разумеется, оптоволоконный кабель, предназначенный для эксплуатации в особых условиях, оснащают дополнительной внешней защитой: в трубах, кофрах или кабель-каналах. Отдельный вариант – экранированный помехозащищённый кабель-канал. Частные случаи применения – на дне речной и морской акваторий. Количество волокон (каналов) указано также в конце маркировки кабеля цифрами или другими символами. Устойчивость к продольным натяжениям кабелю придана конструктивно введением двух FRP-прутков (Fiber-epoxy Reinforced Plastic) диаметром 0,8 мм. Наружная оболочка изготовлена из устойчивого к ультрафиолету и негорючего полиэтилена для защиты волокон от воздействия водорода. Может крепиться анкерами типа ODWAC-22, что значительно экономит средства на монтаже [2, 4, 11]. В отличие от рассмотренного выше кабеля технологии GPON, дроп-кабель (DROP) почти незаменим для подвешенного монтажа. Такую востребованность связывают с развитием PON в малоэтажном (частном) секторе, когда участок дроп-кабеля применяют заключительным (оконечным) элементом линии связи. Дроп-кабель с оболочкой из негорючего безгалогенного низкодымного материала LSZH соединяет абонента (пользователя) с сетью телеком-оператора, предоставляющего почти неограниченный спектр услуг, касающихся доступа в сеть Интернет, видеосервис

(просмотр видео любых форматов, в том числе удалённого домофона), стационарный телефон и соединения в системе IoT (видеонаблюдение, удалённое управление датчиками и устройствами). Технология PON позволяет быстро и качественно передавать данные посредством всего одного оптического волокна-канала. Таким является оптический самонесущий плоский дроп-кабель RS-Link-FTTH с типом волокна G.652D. В кабеле от 1 до 12 волокон (рис. 3). Силовой элемент – 2 стальные проволоки диаметром 0,45 мм, одна стальная проволока диаметром 1 мм. Такая особенность конструкции кабеля позволяет выдерживать нагрузку при растяжении 900 Н. Применяется в условиях протяжки линий связи между зданиями и опорами на расстоянии до 50 м. В названии, как правило, указана технология и предназначение FTTH и количество волокон. Особенным техническим достоинством оптоволоконных кабелей в пожаробезопасной и притом гибкой оболочке LSZH специалисты признают их пригодность для общественных мест с массовым пребыванием людей. Материалы класса LSZH не распространяют горение, не содержат галогенов и не выделяют коррозионно-активных продуктов, что при прокладке в помещениях является обязательным условием.

Специалисты в области телекоммуникаций сталкиваются с проблемой обеспечения устойчивой связи, когда необходимо размещать видеокамеры на расстоянии до 2 км от контроллеров и серверов. Частные случаи решаются специалистами телевидения, видео- и киностудий. В этой сфере также необходим один многофункциональный, помехозащищённый, прочный, а потому и удобный во многих отношениях кабель питания и передачи данных длиной в несколько километров, чтобы обеспечивать работу от переносной камеры до передвижной студии (на автомобильном шасси). Гибридный оптоволоконный кабель NOVACORD SMPTE 311 HD предназначен для камерных каналов для мобильного и стационарного применения, обеспечивающих передачу сигналов высокой чёткости в соответствии с форматом SMPTE. Каждый кабель содержит медные линии: 4 силовые для питания камер AWG 20 (4×0,6 мм) и 2 для передачи команд управления AWG 24 (2×0,22 мм), а также 2 одномодовых канала оптоволоконна Corning Single-Mode 9/125 мкм (2×SM) для передачи цифровых потоков видео- и аудиосиг-



Рис. 3. Оптоволоконный кабель RS-Link-FTTH

налов. Совместим с профессиональными и вещательными камерами Sony, JVC, Panasonic, Grass Valley (и др.) и Blackmagic Design (через Blackmagic Fiber Converter) в соответствии со стандартами SMPTE-311M/304. Рабочая температура эксплуатации в диапазоне  $-40...+80^{\circ}\text{C}$ . Оболочка FRNC – пожаробезопасная.

*Технические характеристики оптоволоконного кабеля ADSS8-1 (рис. 4):*

- допустимое растягивающее усилие: 1 кН;
- допустимое раздавливающее усилие: не менее 0,3 кН/см;
- диапазон рабочих температур:  $-60...+70^{\circ}\text{C}$ ;
- продольное проникновение воды: не более 3 мл за 24 часа на 1 метр длины;
- диаметр кабеля, мм:  $5,2 \pm 0,2$ ;
- масса кабеля, кг/км, не более: 25, в катушке 2 километра кабеля.

Оптический кабель CO-ADSS8-1 применяется для подвеса (при высоких требованиях по устойчивости к внешним электромагнитным воздействиям) на опорах воздушных линий связи, опорах контактной сети железных дорог, линий электропередач с максимальной величиной потенциала электрического поля до 12 кВ, а также между зданиями и сооружениями.

Оптический модуль состоит из 8 одномодовых стандартных оптических волокон G657A1/G.652D (ITU-T G.652) с окраской. Оптический модуль выполнен в виде трубки из полибутилентерефталата, заполненной гидрофобным наполнителем. Наружная оболочка из полиэтилена высокой плотности с упрочняющими стержнями.

На рис. 5 представлены разъемы для подключения такого кабеля к оборудованию.

Ещё одна классификация подразделяет оптические кабели для Интерне-



Рис. 4. Оптоволоконный кабель ADSS8-1

та по материалу, из которого изготовлены оптоволокна:

- GOF – стекловолокно (Glass Optic Fiber);
- POF – полимерное волокно (Plastic Optic Fiber);
- PCF – стеклянно-кристаллическое волокно с защитным покрытием из полимера (Plastic Crystal Fiber).

Как рассмотрено выше, современный оптоволоконный кабель для дальних прокладок с пропускной способностью 12 Гбит/с состоит из двухсторонней пары на основе оптоволокна PSF, пары для потоковой передачи данных и пары питания, а также центрального силового элемента, обеспечивающего необходимую долговечность для непрерывного использования в течение нескольких лет. В данном случае под понятием «пара» предполагают оптоволоконный парный канал. Оптоволоконное соединение представляет собой канал Ethernet 10G открытого стандарта. Обеспечиваются потоковое видео и обратные взаимосвязанные каналы передачи цифровых данных в формате IP-видео с использованием высококачественного 10-битного кодирования и качественного декодирования. Формат 10G Ethernet для IP-видео признан как супербыстрый канал связи в том числе для сетей интернет-коммуникации с крайне низкими значениями задержки и потерь сигнала. Отсюда – с применением оптоволокна высокого качества – у разработчиков появилась возможность значительного, до нескольких километров, удаления источника данных от устройств и систем их обработки и дальнейшей трансляции.

Для сращивания участков оптоволоконного кабеля применяют оптическую муфту, форм-фактор которой может отличаться. На рис. 6 представлен вид на круглую оптоволоконную муфту GJS-8004 (GJS-1-D) на 96 волокон, предна-



Рис. 5. Разъёмы для подключения кабеля к оборудованию

значенную для установки на столбах, подвесах, вертикальных поверхностях.

Устройство крепления кабеля внутри оптической муфты GJS-8004 обеспечивает стойкость при внешнем вытягивании кабеля, его скручиваниях, а также при воздействии ударных нагрузок. Муфта GJS-8004 состоит из двух частей, скрепляемых специальным механическим хомутом, а резиновое кольцо, расположенное по периметру, обеспечивает надёжную герметизацию и препятствует проникновению влаги. Класс защиты IP65, габаритные размеры 178×288 мм, рабочая температура устойчивой эксплуатации в диапазоне –40...+65°C. Муфта имеет возможность вместить до четырёх сплайс-кассет, размещённых в одном ряду, с общей ёмкостью до 24 гильз или 48, если использовать два ряда. Стандартные преобразуют телевизионный сигнал с помощью специального оборудования – конвертера, который может применяться при коммутации с помощью Blackmagic Camera Fiber Converter. На всех профессиональных современных видеокамерах выпуска последнего десятилетия имеются разъёмы для систем обратной связи с коммутаторами. Профессиональные камеры URSA Broadcast и URSA Mini и другие – отличная иллюстрация к этому примеру. А оптоволоконные конвертеры-преобразователи сигнала типа Blackmagic и аналогичные оснащены системой 12G-SDI для работы со всеми современными форматами передачи цифровых данных, в том числе видео HD и Ultra HD до 2160p60.

Преобразователи-конвертеры сигналов разделяют по их функциональному назначению: для студийной или камерной работы. Одна из выдающихся технических особенностей конвертера в том, что при нарушении контактно-соедини-



Рис. 6. Круглая оптоволоконная муфта GJS-8004 (GJS-1-D) на 96 волокон

тельных элементов в кабеле – его обрыве или внутреннем замыкании (несанкционированном слиянии) потоков данных – конвертер в течение нескольких миллисекунд отключает высоковольтное питание электронного устройства и тем самым устраняет опасность потери или порчи элементов дорогостоящего оборудования. Так, при обнаружении повреждённого канала или утечки «на землю» в случае механического повреждения изоляции кабеля подача электроэнергии (питания) мгновенно отключается, чем дополнительно исключается опасность контактного поражения электротоком (при нарушении пары-канала высоковольтного питания).

### Технические особенности волоконного преобразователя

Волоконно-оптические преобразователи адаптированы для связи стандартными гибридными электрическими и оптоволоконными кабелями SMPTE 311M со стандартными разъёмами SMPTE 304. После подключения устройство в автоматическом режиме выполняет тест-проверку безопасности, а затем включается, передавая стандартное напряжение 200 В ±10% по кабелю SMPTE для видеокамеры и её аксессуаров. С такой конфигурацией можно устанавливать камеры в удалённых местах и не беспокоиться при этом о перепадах напряжения на больших расстояниях. Особенность оборудования также и в том, что студийный и камерный преобразователи на каждом конце оснащены специальными микроконтроллерами с функцией постоянного контроля питающего РЭА канала. Обмен данными между контроллерами обеспечивает стабильный сигнал в оптическом канале и бесперебойную работу источника питания в пределах

безопасных параметров. Контроллеры-преобразователи на примере Blackmagic Camera Fiber Converter и Blackmagic Studio Fiber Converter используют формат IP-видеосигнала (рис. 8). Поэтому почти любые потоковые данные в коммуникации, такие как двусторонняя связь, сигнализация, сигналы управления и оповещения, дистанционное управление камерой и объективом, также преобразуются в IP с малой задержкой. Отсюда многофункциональность, надёжность и высокое качество, что несомненно свидетельствует о перспективах применения оптоволоконного кабеля в сочетании с преобразователем-конвертером, являющимся элементом конфигурируемого и настраиваемого (в том числе дистанционно, с использованием одного кабеля) электронного оборудования и инфраструктуры систем РЭА.

Для качественной обработки видео в преобразователе используют современные карты видеозахвата. К примеру, новейшую карту захвата видеосигнала типа DeckLink PCI Express устанавливают на рабочие станции и серверы на базе Mac, Windows и Linux, что делает её универсальной для применения в современных системах РЭА. Оптоволоконный преобразователь имеет двусторонний канал для работы камеры Ultra HD и 3 обратных канала HD на основе IP-видео, обеспечивает питанием видеокамеру типа URSA Broadcast и другую РЭА на расстоянии до 2 км. Для соединения используется разъём SMPTE 304 (штекер); видеовход формата 12G SDI, видеовыход формата 3G SDI для обратного канала камеры и ещё три канала 3G SDI для обратных выходов SDI. Система передачи звука Talkback Audio организована с помощью двух 5-контактных разъёмов типа XLR для гарнитуры с трёхполосным аудиомикшером на каждый выход и одним выходом типа Tracker. Аналоговое аудио обеспечено двумя 3-контактными входами XLR для AES линейного или микрофонного типа с фантомным питанием.

Конвертер-преобразователь (рис. 7) имеет разъёмы для подключения камеры Ultra HD, 3 обратных канала HD, полное удалённое управление камерой, PTZ, несколько каналов обратной связи. Разъём оптоволоконного кабеля удобно расположен на передней панели рядом со встроенным 5-дюймовым ЖК-дисплеем, даёт возможность мгновенно контролировать изображение с нескольких удалённых камер. Волоконный преобразователь-конвертер крепится к задней части видеокамеры. Кроме многофункционального управления с возможностью микши-

рования программно-настраиваемого звука, управления записью, фокусировкой и диафрагмой, конвертер также включает в себя крепёжную пластину VLock для крепления аксессуаров, таких как профессиональный видеоискатель Studio Viewfinder. Прочная металлическая конструкция с компонентами высокого качества обеспечивает поддержку стандартной аккумуляторной пластины, что особенно важно в критичных условиях: в полевых условиях круглосуточной работы. Встроенная монтажная пластина VLock полезна для установки студийного видеоискателя. Особенность конструкции конвертера предполагает установку нескольких в ряд в стандартной стойке для оборудования с помощью монтажного комплекта. Рабочая температура в диапазоне 0...+40°C, а температурная среда консервации и хранения в диапазоне -20...+45°C при условии относительной влажности в диапазоне 0...90%. Устройству добавляет универсальности и функциональности монтажный кронштейн с винтами для крепления к камерам, 3 кабеля 12G SDI для подключения входа и выхода SDI.

### Особенности ПО и кодеков

Компьютерный интерфейс оформлен одним разъёмом USB-C. Порт USB-C также позволяет обновлять внутреннее программное обеспечение. Доступные операционные системы: Mac OS 10.14 Mojave, Mac OS 10.15 Catalina и поздних версий, Windows от 8.1 и выше. Внутреннее обновление ПО связано с тем, что прошивка встроена в программный драйвер. Загружается при запуске системы или через программу обновления. Программное обеспечение работает с 8-канальным PCI Express II поколения, совместимым с 8- и 16-канальными слотами PCI Express в Mac OS, Windows и Linux. Для систем Mac OS требуется компьютер Mac Pro со слотами PCI Express. Типично используется DaVinci Resolve, Media Express, Disk Speed Test, LiveKey, Blackmagic Desktop Video Utility и драйвер Blackmagic для Mac OS и Windows. Media Express, Blackmagic Desktop Video Utility и драйвер Blackmagic для Linux. Среди поддерживаемых и популярных приложений более 70 позиций, об этом можно прочитать в [10]. Поддерживаемые кодеки – AVC-Intra, AVCHD, Canon XF MPEG2, цифровая зеркальная фотокамера, DV-NTSC, DV-PAL, DVCPRO50, DVCPROHD, DPX, HDV, XDCAM EX, XDCAM HD, XDCAM HD422, DNxHR и DNxHD, Apple ProRes 4444, Apple ProRes 422 HQ, Apple ProRes 422, Apple ProRes



Рис. 7. Оптоволоконный конвертер Blackmagic для работы с 12G-SDI

LT, Apple ProRes 422 Proxy, 8-битное без сжатия 4:2:2, 10-битное без сжатия 4:2:2, 10-битное без сжатия 4:4:4.

Стандарты HD-видео имеют широкий формат от «анахронизмов эпохи» 720p50 и 720p59.94 до 1080PsF23.98, 1080PsF24, 1080PsF25, 1080PsF29.97, 1080PsF30, 1080i50, 1080i59.94 и 1080i60. Стандарты видео Ultra HD представлены форматами 2160p23.98, 2160p24, 2160p25, 2160p29.97, 2160p30, 2160p60, соответствие SDI SMPTE 259M, SMPTE 292M, 296M, 372M, 424M уровень В, 425M. Выборка видеформата 4:2:2 с параметром точности цветопередачи 10 бит, цветовое пространство стандартов PEK 601, PEK 709, PEK 2020. Десять популярных стандартов видео Ultra HD от 2160p23.98 до 2160p60 также отличаются от стандартов SD-видео (525i59, 94 NTSC, 625i50 PAL). Стандарты видео 3D SDI различаются с 22 стандартами видео 2K (только SDI – от 2КП23 до 2КПсФ30 ДКИ), 10 стандартами видео 4K (от 4Кп23, 98 DCI до 4КП60 DCI), 3D-видео HDMI (формат 720p50, 1080i60). Поддержка метаданных обеспечивается SDI ПП 188/СМПТЭ 12М-2 и субтитрами с точностью цветопередачи SDI: 8-, 10-, 12-битный RGB 4:4:4 во всех режимах до UHD 30p и 8-, 10-битный YUV 4:2:2 во всех режимах. Поддержка нескольких скоростей SDI обеспечивается переключением между HD, 3G-SDI, 6G-SDI и 12G-SDI. Стандартная телевизионная частота дискретизации 48 кГц, 24-битное аналого-цифровое преобразование определяет сэмплирование аудиосигнала.

### Особенности обработки и преобразования сигнала

Потоковое видео считается будущим вещания. Вкратце, организация потокового видео и аудио происходит так. Согласно



Рис. 8. Блок-схема формирования потоковой передачи данных

блок-схеме рис. 8, создается файл (видео и аудио – отдельно), проходящий этапы усиления сигнала, кодирование, мультиплексирование, сжатие и транспортировку до потребителя. Транспортировка потоковых данных, особенно в условиях удалённости видеокамеры от потребителя, обеспечивается с помощью современного оптоволоконного кабеля. Raw-изображения и аудио после сжатия (для уменьшения объёма файла и улучшения скорости трафика) посредством кодека совмещаются в пакет с помощью мультиплексора, и далее сигнал передаётся по кабелю (или беспроводным способом).

### Разные протоколы для передачи данных по IP

Приложения (расширения) и протоколы SDI, SMPTE, SRT, NDI (и др.) унифицируют и подготавливают данные в пакетную форму, объединяя компоненты видео-, аудио- и метаданных в единый поток. Единый поток удобно обрабатывать и транслировать, в том числе по одному кабелю. Формат SMPTE ST2110, выпущенный обществом инженеров кино и телевидения, – это набор стандартов для взаимодействия по IP с разными расширениями файлов, передачи мультимедиа, включая цифровое видео-, аудио- и метаданные. Тайм-код SMPTE известен как формат медиа-метаданных, то есть набор взаимодействующих стандартов для маркировки отдельных кадров видео или фильма тайм-кодом. Тайм-коды добавляются к фильму, видео или аудиоматериалу, а также адаптированы для синхронизации и идентификации во времени для редактирования. Так, расширение файлов SDI вполне подходит для потокового вещания по форматам (от старых – к новым) SMPTE 259M, SMPTE 292M, SMPTE 296M, SMPTE 372M, SMPTE 425M, SMPTE 435, SMPTE 2022, SMPTE 2081, SMPTE 2082, SMPTE 2082-10, SMPTE 2108-1, SMPTE 2110, апробиро-

ванных с применением оптоволоконка типа ITU-R BT.656 и ITU-R BT.601 и др. Особое назначение имеют оптоволоконные кабели для аудио- и видеоконтента с кодированием SMPTE. Разница в кодировании между SMPTE и типичным машинным форматом представлена на рис. 9.

Отличительное свойство SMPTE 2110 в сравнении с предыдущими стандартами передачи видео, такими как SDI или SMPTE 2022, в том, что позволяет быстро распределять производственные рабочие процессы. С помощью SMPTE 2110 видео-, аудио- и элементы метаданных отдельно друг от друга доступны для обработки и редакторской работы.

Там, где технически ограничена пропускная способность, значимую роль играет NDI, который сжимает видео и аудио до 100 Мбит/с (или меньше). Для ST 2110 требуются IP-сети, способные поддерживать пропускную способность 10 Гбит/с и более. SRT-транспортный протокол с открытым исходным кодом, разработанный компанией Haivision, используется для широкоэмительных рабочих процессов в дополнение к SMPTE 2110. Требования к пропускной способности – не менее 2–3 Гбит/с для HD-видео в зависимости от сжатия без потерь и других ресурсов. Это означает, что он не всегда подходит для таких ситуаций, как удалённое производство (REMI) через Интернет, где битрейт должен быть намного ниже [8, 11]. Формат SRT не привязан к кодекам, поэтому используется для передачи сжатых потоков в HEVC или H.264 в производственные рабочие процессы. SMPTE 2110 может заменить SDI, но пока существует потребность в потоковой передаче видео с условно низкой задержкой и пропускной способностью через Интернет при отправке видео из одной части мира в другую или через облачные платформы для дальнейшего про-

изводства видео, такой формат будет актуален.

Преобразование между форматами HD в SD происходит с понижающим сжатием сигнала на выходе в SDI в компонентный и композитный сигнал формата NTSC/PAL. Особенности выходного сигнала SD дают возможность выбора между кратким форматом (максимальное сжатие), анаморфотным форматом 16:9 и форматом 4:3. Встроенный высококачественный аппаратный понижающий преобразователь выводит Ultra HD в HD с понижающим преобразованием сигнала на выходы SDI C и D, при этом что выход HDMI предназначен для подключения к монитору, поддерживающему только HD. Но ещё более востребовано встроенное высококачественное аппаратное кросс-преобразование из SD в 720 HD или 1080 HD и обратно из 1080 HD в 720 HD при воспроизведении. Тут также возможен выбор между масштабом изображения 4:3, масштабированием 14:9 или масштабированием 16:9. Вывод HD происходит через HD-SDI, HDMI и компонентный аналоговый сигнал. Эффекты в реальном времени обеспечиваются приложениями и ПО, такими как DaVinci Resolve, Premiere Pro CC Mercury Playback Engine, с дополнительными эффектами – Final Cut Pro X и Avid Media Composer. 3D-обработка обеспечена двойным потоком и захватом кадров и воспроизведения. Функционал DeckLink 4K Экстрим 12G (рис. 10) обеспечен платой-адаптером HDMI и ещё одним разводным кабелем для аналогового управления и управления по RS-422. Температурные условия эксплуатации, хранения и относительной влажности соответствуют всей линейке оборудования и параметрам, указанным выше для преобразователь-конвертеров.

Особенности оборудования есть и в поддержке HDR. Поскольку стандарт HDMI поддерживает только статические метаданные HDR с точностью цветопередачи 8, 10 и 12 бит (глубокий цвет), для расширения метаданных HDR используются характеристики передачи HLG и PQ 4:4:4, 4:2:2 и 4:2:0. К примеру, HDMI 2.0b поддерживает Deep Color и HDR с автоматической настройкой под параметры подключённого дисплея. Так, соединения по видео HDMI и SDI переключаются между SD/HD/2K и 4K. Компонентные аналоговые видеосоединения переключаются между SD и HD.

## Особенности двухканальной двусторонней связи по оптоволокну

Использование IP-видео ввиду технологической гибкости и эффективности открывает перспективные возможности для создания и редактирования разного современного контента. Ещё один иллюстративный пример, когда двухканальные каналы обратной связи применяются в разных, в том числе удалённых системах, таких как домофон с резервным копированием данных. Это удаётся с помощью оптоволоконных кабельных соединительных линий, совместимых с профессиональными 5-контактными XLR-гарнитурами двусторонней связи. С помощью гарнитуры двусторонней связи можно дистанционно, не прерывая поток данных, регулировать разные параметры, к примеру громкость, а также общаться в режиме «конференции» одновременно с несколькими абонентами.

Этот способ с помощью преобразователя удобен для всех линий связи, используемых с помощью оптоволоконного кабеля с большой протяжённостью. Вход/выход 12G-SDI используют для подключения оптоволоконного преобразователя. Другой из возможных вариантов – выход 12G SDI конвертера подключают к входу 12G SDI на видеооборудовании. Два 5-контактных разъёма XLR типа «female» позволяют подключить ещё 2 гарнитуры. 10-контактный разъём Hirose обеспечивает дополнительный выход внутренней связи и «сигнальный» выход (управляющего сигнала, которым можно управлять включением другого оборудования, к примеру, поворотом камеры, включением СГУ (сирены) или активацией стационарного средства электрошокового оборудования). Три выхода SDI позволяют выводить три обратных канала от коммутатора к дополнительному оборудованию через 3G SDI. Для этого используют гибридный разъём для подключения оптоволоконного кабеля. Аудиовходы XLR для подключения внешнего аналогового звука от профессионального оборудования, микрофонов и аудиомикшеров. В устройстве используются разъёмы Molex для подключения электропитания оборудования от преобразователя. Разъём DTap: выход 12 В для питания аксессуаров (внешний монитор и аналогичные) с напряжением питания в диапазоне 11,9...14 В DC при силе тока 2 А. Потребляемая мощность < 30 Вт. 9-контактный разъём PTZ позволяет подключать PTZ-головку с электроприводом.

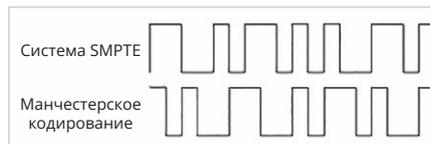


Рис. 9. Разница в кодировании между SMPTTE и типичным машинным форматом

## Перспектива технологии

Рассмотрим перспективы современной потоковой технологии передачи данных по оптоволоконному кабелю на примере передачи видеосигнала. Формат видео Ultra HD со скоростями 4K–12K и совместимый с SD- и HD-SDI-оборудованием примерно в 16 раз превышает разрешение типичного HD-видео 1080 при условно большом масштабе трансляции и разрешении дисплея с изображением, к примеру, 7680×4320 точек на дюйм. Усовершенствованная модель DeckLink 8K Pro имеет четырёхканальный скоростной режим 12G-SDI, а модель DeckLink 4K Extreme 12G стоимостью почти \$1000 с двухканальными соединениями 12G-SDI обеспечивает ещё более высокое качество цветового разрешения при поддержке двухпоточкового стереоскопического 3D и соответствующей частоты кадров до 100р. В дополнение – аудио AES/EBU, повышающее, понижающее и перекрёстное преобразование и встроенный стереоскопический 3D-выход с полной полосой пропускания 4:4:4 RGB. DeckLink 8K Pro позиционируют как усовершенствованную систему захвата III поколения с 8-канальным интерфейсом PCI Express и карту воспроизведения для рабочих процессов с высоким разрешением. DeckLink 8K Pro обеспечивает не только 8-, 10-битный формат YUV 4:2:2, но также 10- и 12-битный RGB 4:4:4. Благодаря 4 разъёмам 12G-SDI DeckLink 8K Pro поддерживает все форматы SD, HD, Ultra HD, 4K DCI, 8K и 8K DCI. Соединения 12G-SDI дополнительно можно настроить для многоканального захвата и воспроизведения 4 различных видеопотоков при частоте кадров до 4K DCI 60р с помощью бесплатного ПО DeckLink SDK по каждому каналу.

По таким характеристикам рассматриваемые устройства вполне конкурентоспособны и востребованы для цветовой коррекции программными инструментами, включая и популярный редактор DaVinci Resolve. На выходе системы получают видеопоток 12-битного RGB и качество изображения 4:4:4, подготовленное для последующей и



Рис. 10. DeckLink 4K Экстрим 12G

глубокой цветопередачи и работы с широким динамическим диапазоном, поддержку высокой частоты до 100 кадров в секунду.

Это реальные шаги к построению стереоскопического 3D. Модели DeckLink поддерживают рабочие процессы на основе файлов или лент, что обеспечивает мониторинг в комплексах монтажа и цветокоррекции с использованием профессиональных мониторов SDI, телевизоров HDMI и цифровых кинопроекторов. И всё это на дистанции в несколько километров от источника видеопотока до оператора его обработки. Модели DeckLink SDI 4K и DeckLink Studio 4K обеспечивают 6G-SDI. Для других, более простых случаев выпускается модель DeckLink SDI Micro – мини-атюрная карта M2 с разъёмами 3G-SDI для одновременного захвата и воспроизведения во всех форматах до 1080р60. Компактная по форм-фактору 1-полосная карта mini PCIe с HD-SDI и HDMI для захвата одного канала во всех популярных форматах обработки видео до 1080р30. Из новинок уместно отметить мини-монитор DeckLink HD с картой воспроизведения 10-битного SDI и HDMI PCIe для форматов SD и HD до 1080р60 и 2Kp60 DCI, включая HDR.

## Особенности коммутации и соединений

Оптоволоконные входы/выходы рассчитаны на подключение соответственно двух оптических кабелей с пропускной способностью 12 Гбит/с. Видеовходы и видеовыходы для цифрового потокового видео аналогичны: 2×12 Гбит/с SD/HD/2K/4K с поддержкой одиночного/двойного соединения 4:2:2/4:4:4 и переключения между форматами 2D/3D. Аналоговые видеовходы и видеовыходы аналогичны и рассчитаны на 1-компонентный YUV на трёх разъёмах BNC с возможностью переключения на S-Video или композитный сигнал с поддержкой HD и SD. Видеовходы и видеовыходы HDMI по форм-фактору аналогичны: разъём HDMI типа A с поддержкой 2160р60.



Рис. 11. Иллюстрация электронных возбуждений в полупроводниковом полимере

Аналоговые аудиовходы и аудиовыходы аналогичны и представляют собой 2 канала профессионального балансного аналогового звука, подключаемые через разъёмы XLR. Аудиовходы AES/EBU – два небалансных с преобразователем частоты дискретизации канала. Аудиовходы и аудиовыходы SDI аналогичны: 16 каналов, встроенных в SD/HD/2K/4K. Аудиовходы и выходы для HDMI: 8 каналов, встроенных в SD/HD/4K. Синхронный вход Tri-Sync или Black Burst. Управление устройствами организовано так: совместимый с Sony™ порт управления RS-422 сочетается с последовательными портами передачи данных, где с помощью настраиваемого ПО организовано TxRx-реверсивное направление. Компьютерный интерфейс – 8-канальный PCI Express второго поколения, совместимый с 8- и 16-канальными слотами PCI Express с картой HDMI или SDI.

### Условные недостатки оборудования

Они не касаются качеств кабеля. Тем не менее в рассматриваемом оборудовании преобразователей сигнала по входу HDMI нельзя захватывать данные из источников, защищённых от копирования. Сначала нужно снять защиту программным способом. Среди «сложных моментов» можно назвать и растущую цену оптоволоконна, и особенности его производства, связанного с добычей газа гелия [3].

### Оптоволоконно и фотоника

С перспективами оптоволоконных линий связи связано развитие в области фотоники. Не только из-за уменьшения энергетических потерь, особенно чувствительных пропорционально расстоянию линий связи, но и с улучшенной возможностью к миниатюризации

оборудования, удешевлению его производства и рентабельности, а это важный экономический фактор для любой страны, поэтому высока конкуренция в разработках и совершенствовании технологий для фотоники и оптоволоконна. Проблематика также связана с тем, что полезную энергию из тепла до сих пор принято получать в основном в виде электричества. Поэтому для оптоволоконна важна не столько сила светового потока, модулированного цифровыми данными, сколько его неискusstvenное происхождение. Когда удастся получать и модулировать полезный для передачи по оптоволокону сигнал (да ещё и в потоковом формате) с помощью источника от солнца, огня свечи или костра, тогда наступит новая эра и фотоники, и оптоволоконных передатчиков. Определённые успехи есть: в 2021 году на ускорителе Брукхейвенской национальной лаборатории Министерства энергетики США впервые удалось получить материальное вещество/антивещество напрямую из фотонов, то есть из чистой энергии [11].

Субтерагерцовый диапазон от 100 до 300 ГГц будет использоваться передатчиками и приёмниками 6G. Исследованиями японских учёных установлено, что на верхнем конце этих частот многоуровневая модуляция сигнала становится заметно чувствительной к шуму. При этом фазовый шум ухудшает качество модуляции многоуровневого сигнала [10]. Эта проблема до сих пор ограничивала возможности связи на частоте 300 ГГц. Тем не менее удалось создать и беспроводную линию связи субтерагерцового диапазона (ТГц), использующую передатчик и приёмник со сверхнизким фазовым шумом на основе фотоники. Исследователи из Университе-

та Осаки и IMRA America разработали одноканальную оптическую беспроводную линию со скоростью до 240 Гбит/с, опубликовав результаты своей работы в начале 2024 года. На рис. 11 представлена иллюстрация эксперимента.

Оптическая беспроводная линия связи основана на лазере вынужденного рассеяния Бриллюэна для генерации сигналов на частоте 300 ТГц и нацелена на мультиплексированную многоканальную скорость передачи данных до 1 Тбит/с. Отсюда понятно, что на сверхвысоких частотах генератор сигналов на основе фотонного устройства имеет гораздо меньший фазовый шум, чем типичный генератор электрических сигналов. Максимальная скорость передачи данных, достигнутая ниже порога прямой коррекции ошибок с жёстким решением (HD-FEC) с использованием оперативной обработки сигналов, составила 240 Гбит/с с 64-квадратурной амплитудной модуляцией (64QAM) на одной несущей частоте 275 ТГц. Успешная передача потоковых данных пока на расстояние 20 метров, но беспроводным способом со скоростью более 200 Гбит/с зафиксирована и описана в [11]. Пока это самая высокая одноканальная производительность, полученная посредством беспроводной связи в субтерагерцовом диапазоне частот.

### На пути к оптронному процессору

Существенная и определяющая разница между электроном и фотоном в том, что у фотона нулевая масса, а абсолютная у электрона –  $9,109 \cdot 10^{-31}$  кг. Это также влияет на потери сигнала в протяжённых линиях связи. Поэтому фотонный переключатель предпочтительнее как элемент устройства передачи данных на оптических каналах связи (на порядок увеличивает пропускную способность канала). При применении сигнала, модулированного лазерным лучом малой мощности, тот же фотонный ключ – мультиплексор действует в качестве усилителя, повышая интенсивность входящего сигнала в тысячи раз (рис. 12). Для установки состояния 0 или 1 и переключения между ними фотонное устройство использует два лазера: очень слабый «затравочный» лазер (Seed) и основной лазер накачки (Pump). Лазер накачки создаёт в одном месте тысячи идентичных квазичастиц, образуя конденсат Бозе–Эйнштейна, который кодирует логические состояния низкого («0») и высокого («1») уровня. Эти состояния – основа цифровой передачи данных.

На рис. 13 представлена иллюстрация электронных возбуждений в полу-

проводниковом полимере. Красным цветом обозначены экситоны, синим – поляритоны. Экситон – это квазичастица, представляющая собой электронное возбуждение в диэлектрике, а именно: связанное состояние электрона и дырки. Поляритон – квазичастица, возникающая при взаимодействии фотонов с элементарными возбуждениями среды: оптическими фононами, экситонами, плазмонами, магнонами и др. [1, 7]. Взаимодействие в материале плоскости фотонов с экситонами приводит к появлению короткоживущих образований, называемых экситон-поляритонами, являющимися квазичастицами, лежащими в основе функции фотонного переключателя. Переключение состояния происходит внутри микрополости тонкого органического полупроводникового полимера полипарафенилена (MeLPPP) толщиной 35 нм между высокоотражающими неорганическими структурами. Микрополость построена так, чтобы входящий свет максимально задерживался внутри для его «сцепления» с плёнкой.

Для переключения между двумя состояниями управляющий импульс «засевает» конденсат незадолго до включения лазера накачки. Начальный импульс возбуждения стимулирует преобразование энергии от лазера накачки, увеличивая количество квазичастиц в конденсате. Большое количество частиц соответствует состоянию «1» устройства, что отражается на излучении, выходящем из системы. Эта открытая учёными зависимость подтвердила особенность однофотонной нелинейности при комнатной температуре. Чтобы снизить энергопотребление устройства, исследователи использовали несколько приёмов. Во-первых, энергетический зазор между состояниями накачки и конденсата соответствовал энергии одной молекулярной вибрации в полимере. Во-вторых, удалось найти оптимальную длину волны для настройки лазера и реализовать схему для быстрого обнаружения конденсата Бозе–Эйнштейна. В-третьих, «затравочный» лазер и схема обнаружения конденсата подобраны таким образом, чтобы подавить шум от фонового излучения устройства. Эти меры позволили максимизировать соотношение сигнал/шум и предотвратить поглощение избыточной энергии микрополостью, что в противном случае приводило к её нагреву за счёт молекулярных колебаний.

В недалёком будущем разработчики будут использовать суперкристаллы с кристаллической решёткой, как у перовскита, из почти правильных октаэдров, развёр-



Рис. 12. Блок-схема лазерной установки при исследованиях в области фотоники

нутых под небольшим углом относительно идеальных положений. Несмотря на то что оптоволоконный кабель и линии связи на его основе ещё не изжили себя и будут долго в XXI веке применяться в РЭА, на смену им приходят инновационные материалы, известные редкими физическими характеристиками, в том числе сильной связью (корреляцией) между световым пучком и опорным веществом. Эта связь приводит к мощному квантовому отклику в виде сверхфлуоресценции [1, 7]. Больше всего энергии в системе потребляет лазер накачки, поддерживающий линию связи в рабочем состоянии.

### Перспективы и недостатки оптоэлектрических линий связи

Основные потери в фотоэлектрических линиях связи происходят в интерфейсе при оцифровке сигнала. Особенно это значимо для потокового сигнала в трансляции с большой скоростью. Как совершенствуют системы модуляции-демодуляции в оптоволоконных линиях связи? Можно проиллюстрировать примером исследования для получения/передачи изображений огромного масштаба с площадью в 1 км<sup>2</sup> и более. Разработчики технологии производства кабелей с минимальными потерями сигнала пытаются решить проблему применением и конфигурацией деформируемого зеркала (для свёртки/развёртки) или кольца (для частотной фильтрации). А потоковую информацию (данных) для обработки спроецируют через оптическую систему на матрицу камеры, чтобы на третьем условном этапе процесса считывать экспозицию. Процесс в совокупности занимает несколько миллисекунд, притом что в таком процессе возможно достижение скорости более 1 триллиона операций в секунду, что примерно в 500 раз быстрее, чем у современных высококачественных полупроводников.

### Выводы

Многое в развитии отечественных успехов в области РЭА зависит от оперативного введения технологий. Оптические линии связи сегодня при-

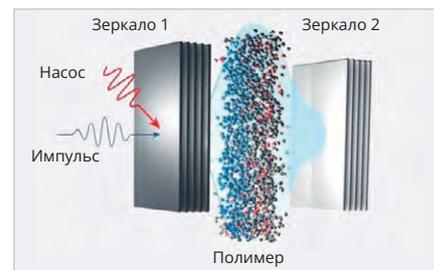


Рис. 13. Механизм передачи электронных возбуждений в полупроводниковом полимере

меняются даже в глухих деревнях, но мы шли к этому в течение 30–40 лет. Помним и о том, что примерный срок выхода теоретической работы в практическое использование в современном мире всё ещё составляет от 10 до 30 лет, хотя он и сократился за последние полвека вдвое.

### Литература

1. Заседателев А. и др. Однофотонная нелинейность при комнатной температуре. Nature, 2021. URL: <https://www.nature.com/articles/s41586-021-03866-9>.
2. Кабель оптический ADSS8-1. URL: <http://rftel.ru/magazin/product/adss8-1>.
3. Каушаров А.П. Мировой инфляционный кризис оптоволоконка // Современная электроника. 2023. № 1. URL: <https://www.cta.ru/articles/soel/2023/2023-1/166489/>.
4. Классификация оптических кабелей связи. URL: <https://kabel-s.ru/blog/interesnoe-o-kabele/klassifikaciya-opticheskikh-kabeley-svyazi/>.
5. Конвертеры Blackmagic Fiber. URL: <https://www.blackmagicdesign.com/products/blackmagicfiberconverters/>.
6. Новый оптический «транзистор» ускоряет вычисления в 1000 раз. URL: <https://habr.com/ru/companies/itsumma/news/579574/>.
7. Оптоволоконные датчики Scaime. URL: <https://testsol.ru/catalog/eto-i-kip/scaime/otpovolokonnye-datchiki>.
8. Самонесущий кабель. URL: <https://hub.rs-link.ru/index.php/category/opticheskiy-kabel-samonesushchiy/?yclid=14008749631347097599>.
9. Что такое SMPTE 2110 и как его использовать в распределённом видеопроизводстве? URL: <https://haivision.ru/blog/all/chto-tekoe-smpte-2110/>.
10. Collisions of Light Produce Matter/Antimatter from Pure Energy. URL: <https://www.bnl.gov/newsroom/news.php?a=119023>.
11. Single-channel 240-Gbit/s sub-THz wireless communications using ultra-low phase noise receiver. URL: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/elex/advpub/0/advpub\\_20.20230584/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/elex/advpub/0/advpub_20.20230584/_article).



# Оценка устойчивости электронной аппаратуры к воздействию дестабилизирующих факторов космического пространства

к.т.н. Сергей Кравчук, д.т.н. Владимир Соколов,  
к.т.н. Оксана Вовк, к.т.н. Николай Жегов  
(МОКБ «Марс» – филиал ФГУП «ВНИИА»)

В статье представлен обзор методов испытания электронной аппаратуры на стойкость к различным дестабилизирующим факторам космического пространства. Авторы рассматривают современные методы оценки стойкости, а также описывают развитие базовых методик испытаний.

В настоящее время без космических аппаратов (КА) невозможно представить функционирование современного общества. Это не только спутники связи, навигационные, телекоммуникационные и метеорологические спутники. Это геофизические, геодезические, астрономические спутники, спутники дистанционного зондирования Земли, разведывательные и военные спутники. Если исследования дальнего космического пространства с помощью космических обсерваторий (зондов) направлены на получение от этого пользы в долгосрочной перспективе, то информация со спутников связи, навигационных, телекоммуникационных, метеорологических спутников является неотъемлемой частью нашей жизни. Поэтому к стабильности их работы предъявляются жёсткие требования.

Прогнозирование и обеспечение стабильности функционирования КА в космическом пространстве определяются устойчивостью электронной аппаратуры (ЭА) к воздействию дестабилизирующих факторов космического пространства. Интерпретация результатов испытаний электронной аппаратуры к этим воздействиям является непростой задачей.

Согласно современным представлениям, основными дестабилизирующими факторами космического пространства (КП) являются ионизирующее излучение, космическая плазма, тепловое излучение Солнца, планет и КП, невесомость, собственная внешняя атмосфера, микрометеориты, космический вакуум, замкнутый объём [1]. В общем случае необходимо принимать во внимание все действующие факторы, но влияние двух первых доминирует.

При выборе методов прогнозирования и обеспечения устойчивости электронной аппаратуры КА к воздействию дестабилизирующих факторов космического пространства необходимо учитывать ряд аспектов. Основные из них перечислены ниже.

Во-первых, в реальных условиях эксплуатации космические аппараты функционируют продолжительное время, подвергаясь при этом воздействию ионизирующих излучений, иногда при сопутствующем влиянии повышенных или пониженных температур. В результате изделия электронной техники в космических аппаратах неизбежно подвергаются воздействию ионизирующих излучений космического пространства (основной дестабилизирующий фактор – протоны средних энергий – 90% от всех излучений) и повышенных температур.

При проведении НИОКР для оценки стойкости и надёжности изделий применяются методики, регламентируемые базовыми методиками. Эти методики предполагают испытание на воздействие каждого дестабилизирующего фактора (протоны, электроны) на отдельные партии с последующим воздействием механико-климатических факторов, и отдельно оценивается наработка на надёжность.

Во-вторых, плотность галактического излучения составляет 1–2 част/(см<sup>2</sup>×с) при энергии частиц 10<sup>8</sup>...10<sup>20</sup> эВ, плотность потока частиц солнечного излучения составляет до 10<sup>6</sup> част/(см<sup>2</sup>×с) при их энергии до 10<sup>7</sup> эВ [2].

Так как совокупность ионизирующих излучений космического пространства (ИИ КП) не может быть воспроизведена в земных условиях, при исследовании

радиационной стойкости приборов был популярен метод моделирования, состоящий в замене всего спектра космических излучений излучениями одной энергии с плотностью потока 10<sup>6</sup>...10<sup>9</sup> част/(см<sup>2</sup>×с) [3]. За счёт высокой интенсивности излучений многих испытательных установок дозы ИИ, получаемых аппаратурой за весь срок функционирования на орбите, набирались за непродолжительное время.

В-третьих, в реальных условиях космического пространства на аппаратуру значительное влияние могут оказывать единичные тяжёлые заряженные частицы (ТЗЧ). К тяжёлым заряженным частицам относятся протоны и дейтроны (ядра лёгкого и тяжёлого водорода), альфа-частицы (ядра атомов гелия, состоящие из двух протонов и двух нейтронов) и ядра химических элементов. Энергия их колеблется в пределах 2...11 МэВ. Оценка влияния этих частиц на аппаратуру производится, как правило, расчётными методами, имеющими определённую погрешность.

Важно учитывать, что, например, в местах прохождения солнечно-синхронной орбиты через полярные области и на высоких орбитах отсутствует геомагнитная защита от воздействия ТЗЧ галактических и солнечных космических лучей. При длительном функционировании КА на таких орбитах особенно велика вероятность воздействия этих частиц на аппаратуру.

В табл. 1 обобщены параметры ионизирующих излучений космического пространства.

Рассмотрим влияние указанных расхождений моделирования на точность результатов испытаний и предлагаемые современными базовыми методиками способы решения этих проблем.

Что касается испытаний электронной техники космических аппаратов на радиационную стойкость и надёжность, то, несмотря на то что методы и критерии оценки воздействия дестабилизирующих факторов космического пространства однозначно указаны в базовых

методиках, учёт расхождения реальных условий и принятых методов моделирования – задача разработчиков космических аппаратов.

В базовых методиках и академических изданиях весьма подробно описано, что радиационная среда космического пространства состоит преимущественно из протонного и электронного излучений. А исследовательские и зачётные испытания, как правило, проводятся при воздействии протонного излучения на одну партию приборов, электронного излучения – на другую партию приборов.

Многие космические аппараты предназначены для функционирования в течение длительного времени (от нескольких месяцев до нескольких лет). Следовательно, помимо воздействия ионизирующих излучений космического пространства, аппаратура космического пространства подвергается процессам старения, которые традиционно описываются в терминах параметров надёжности и имитируются воздействием повышенных температур. Эти испытания согласно базовым методикам проводятся на третьей партии приборов.

Попытки описания комплексного воздействия различных дестабилизирующих факторов космического пространства на электронную аппаратуру с помощью математических методов дают теоретические результаты, малоприменимые для решения практических задач. К тому же базовые методики не позволяют использовать результаты таких методов для официального установления уровня стойкости.

Ещё в 1975 году анализировался подход к анализу комплексного воздействия дестабилизирующих факторов [4]. И этот анализ осуществлялся в терминах надёжности.

В источнике [4] дестабилизирующие процессы разделены на две группы:

- 1) процессы флуктуаций значений ВВФ (внешних воздействующих факторов);
- 2) процессы старения и износа элементов, входящих в состав изделия.

Если рассмотреть ситуацию, в которой в изделии имеют место и те, и другие процессы, то речь идёт о комбинированных отказах.

Уже в [4] в своё время обращалось внимание на то, что предположение, будто в изделии имеют место процессы только одной группы (флуктуационные или старения и износа), является идеализацией реальной ситуации. Это может быть близко к действительности в отдельные, ограниченные во времени периоды жизни изделия. Если говорить строго, то в каждом изделии имеют место и те, и другие процессы.

Таблица 1. Параметры ионизирующих излучений космического пространства

Вид излучения	Состав излучения	Энергия частиц, эВ	Плотность потока, част/ (см <sup>2</sup> ×с)	Средняя доза облучения КА на его поверхности за год, рад
Галактические космические лучи (ГКЛ)	Протоны (90%)	10 <sup>8</sup> ...10 <sup>20</sup>	1...2	10
	Ядра гелия (7...15%)			
	Ядра тяжёлых элементов (1%)			
Солнечные космические лучи (СКЛ)	Протоны (90%)	1...10 <sup>7</sup>	10 <sup>3</sup> ...10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup> ...10 <sup>4</sup>
	Ядра других частиц (10%)			
Радиационные пояса Земли (РПЗ)				за 5 лет
Внешний	Протоны Электроны	(1...10)×10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup> ...10 <sup>7</sup>	5×10 <sup>4</sup> ...5×10 <sup>5</sup>
Внутренний	Протоны Электроны	(20...800)×10 <sup>6</sup> < 1×10 <sup>6</sup>	10 <sup>4</sup> ...10 <sup>7</sup>	5×10 <sup>4</sup> ...5×10 <sup>5</sup>

Согласно [4], интенсивность комбинированных отказов увеличивается с течением времени. Комбинированные параметрические отказы (при которых происходит постепенное изменение параметров элементов) имеют такую особенность, что им предшествуют сбои, интенсивность которых возрастает, и в результате они переходят в устойчивый отказ.

В [4] делался вывод, что подробные исследования комбинированных отказов приводят к весьма сложным распределениям *t* (времени, необходимого для изменения параметра под влиянием старения или износа до границы поля допусков) одного из элементов. Учитывая условия практического использования этих распределений, вряд ли целесообразно искать для них точные модели.

Например, в [5] исследовались две идентичные партии микросхем. Первая партия подвергалась воздействию электрических нагрузок, затем воздействию ионизирующих излучений такой же дозой. Деградиация параметров микросхем первой партии оказалась существеннее, что предсказывалось. Согласно мнению авторов [5], предложенный способ позволяет определить наличие в микросхемах скрытых дефектов, которые при последующей эксплуатации могут привести к их отказу ранее прогнозируемого срока службы.

Остановимся подробнее на критериях, описывающих радиационную стойкость и надёжность.

Под надёжностью в широком смысле понимается свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и услови-

ях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования [6]. Это комплексное свойство, состоящее из сочетания свойств: безотказности, долговечности, сохраняемости и ремонтпригодности. Все они теснейшим образом связаны с определёнными случайными величинами, имеющими размерность времени. Критерием, характеризующим безотказность, является время безотказной работы.

Безотказность – свойство непрерывно сохранять работоспособность в течение заданного времени.

Время безотказной работы – это показатель надёжности системы, в течение которого изделие работает.

В отличие от радиационной стойкости, надёжность определяется расчётными методами. Если, например, КА должен функционировать в течение 10 лет, то экспериментально проводить подобные испытания не представляется возможным. Поэтому имитацию функционирования изделий на длительных сроках проводят при повышенных температурах, так называемых температурах испытаний (*T<sub>исп</sub>*).

Температура испытаний – это условная (расчётная) постоянная температура, при непосредственном воздействии которой в приборах (материалах) в течение рассматриваемого времени происходят те же изменения, что и при реальном распределении температур.

Температура старения прибора обусловлена влиянием на его характеристики термически активных физико-химических процессов, протекающих в его составных частях, и описывается с помощью коэффициента относительной регрессии (КОР). КОР характеризует изменение физико-химических свойств материалов и элементов приборов, влияющих на изменение

параметров работоспособности приборов, протекающих в его составных частях.

Скорость процессов старения определяется уравнением Аррениуса:

$$b = C \times \exp(-Ea/(R \times T)) = C \times \exp(-B/T). \\ B = Ea/R,$$

где  $b$  – скорость процесса старения;  
 $Ea$  – энергия активации процесса, Дж/моль<sup>-1</sup>(кал/моль);  
 $R$  – универсальная газовая постоянная;  
 $T$  – температура.

При испытаниях приборов для ускорения процесса старения в качестве форсирующего фактора используют температуру. Коэффициент ускорения определяют по формуле:

$$K_{\text{уск}} = b_{\text{исп}} / b_{\text{xp}} = \exp(B/A),$$

где  $b$  – скорость процессов старения при температурах  $T_{\text{исп}}$  и  $T_{\text{xp}}$ ;

$$t_{\text{xp}} / t_{\text{исп}} = b_{\text{исп}} / b_{\text{xp}};$$

$$A = T_{\text{исп}} \times T_{\text{xp}} / (T_{\text{исп}} - T_{\text{xp}}).$$

В [7] подчёркивается, что тепловое старение ИЭТ не отражает всего многообразия картины физической деградации. Деградация изделий является постоянным процессом, который доминирует над другими процессами, сопровождающими длительную эксплуатацию изделий. Особую роль играет процесс теплового старения в случаях эксплуатации ИЭТ на борту КА, например, в атмосфере сухого азота или вакууме, когда процессы гидратации и коррозии практически исключены.

Критерием радиационной стойкости является параметр объекта, значение которого в пределах установленных норм гарантирует работоспособное состояние объекта согласно требованиям НТД и КД во время и после действия ионизирующего излучения. Событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта, называется отказом. Так как нарушение вызвано воздействием ионизирующих излучений, то это радиационный отказ.

Радиационная стойкость описывается следующим образом.

Показатели стойкости к воздействию ионизирующих излучений – это максимальный уровень этих излучений, при котором значения параметров, характеризующих работоспособность аппаратуры, не выходят за пределы, установленные для этой аппаратуры.

Время потери работоспособности – время нахождения параметров аппаратуры за пределами, установленными в НД на аппаратуру.

Уровень бессбойной работы – максимальный уровень воздействующего фактора, который не приводит к выходу параметров аппаратуры за нормы, установленные

в нормативной документации, по эффекту сбоя.

Дополнительно, в случае необходимости, устанавливаются требования и критерии годности БИС и СБИС (допустимые значения частоты одиночных сбоев и отсутствие катастрофических отказов вследствие тиристорного эффекта) в ТЗ, стандартах и ТУ.

В настоящее время в рамках развития базовых методик испытаний результаты испытаний могут интерпретироваться как вероятность сбоев и/или отказов при применении в условиях воздействия ионизирующих излучений.

Согласно РД 134-0139-2005 «Методы оценки стойкости к воздействию заряженных частиц космического пространства по одиночным сбоям и отказам», показателями стойкости аппаратуры космических аппаратов являются частота сбоев и вероятность безотказной работы (интенсивность отказов). При этом критерием сбоеустойчивости рекомендуется считать превышение отношения допустимой частоты сбоев к расчётной частоте сбоев на один порядок.

Определить радиационную стойкость можно как экспериментальными, так и расчётно-экспериментальными или расчётными методами.

Экспериментальные методы подразумевают облучение аппаратуры или её составляющих на моделирующих установках.

Согласно базовым методикам допускается не подтверждать испытаниями стойкость аппаратуры по необратимым изменениям параметров, обусловленным структурными и ионизационными дозовыми эффектами, показатели стойкости которых, установленные по данным стойкости комплектующих изделий по расчётному методу, не менее чем в несколько раз превышают значения требований, заданных в документах на аппаратуру, и не противоречат результатам испытаний наименее стойких подсистем.

Однако при этом должна быть подтверждена принадлежность каждого из применяемых ЭКБ производственной партии, стойкость которых установлена. «Для отечественных ЭКБ разрешается не проводить испытания на стойкость, показатели стойкости которых подтверждаются данными ТУ на ту же партию изделий, сопроводительными документами на поставку, официальными результатами ранее проведённых испытаний изделий той же партии.

Согласно отраслевым стандартам можно не испытывать ЭРИ импортного про-

изводства, в сертификатах на поставленную партию которых имеются данные по радиационной стойкости, обеспечивающие заданные требования.

Оценка стойкости аппаратуры может быть проведена расчётно-экспериментальным методом, если она попадает под действие следующих условий:

- существующие испытательные установки не позволяют проводить испытания аппаратуры в целом (из-за значительных габаритов аппаратуры уровень вторичного излучения от облученной аппаратуры будет выше допустимого при проведении исследовательских работ в течение срока, существенно превышающего срок разработки КА);
- при разработке КА закупается ограниченное число комплектующей аппаратуры (аппаратура БСУ КА дорогостоящая, средства на закупку аппаратуры для проведения специальных испытаний не предусмотрены).

В настоящее время достаточно полно разработаны методы оценки стойкости ЭРИ и РЭА к воздействию ионизирующих излучений космического пространства, которые заключаются в проведении ускоренных испытаний на испытательных установках протонного и электронного излучений при высоких интенсивностях.

Правомерность такого подхода подтверждена в [8]. В этой работе исследовано облучение электронами 11 МэВ кремниевых окислов Si/SiO<sub>2</sub> в течение 30 с, 45 с, 60 с и 120 с и установлено, что количество радиационных дефектов возрастает с увеличением времени облучения, т.е. с увеличением дозы облучения.

Некоторые авторы рассматривают возможность описания комплексного характера воздействия дестабилизирующих факторов на аппаратуру КА путём установления связи между теориями радиационной стойкости и надёжности.

В [9] делается вывод, что из сопоставления определений «радиационная стойкость» и «безотказность», описывающих надёжность, следует, что они близки по смыслу. Отличием, с одной стороны, является отсутствие в явном виде упоминания о том, в течение какого времени не должны появляться отказы при воздействии ионизирующих излучений. С другой стороны, при определении безотказности в требованиях надёжности отсутствуют указания, в условиях воздействия каких факторов не должны появляться отказы.

Согласно источнику [9], это можно позволить для решения задач теории стойкости при хорошо развитом понятийном и

математическом аппарате теории надёжности. Для этого необходимо проанализировать информацию о перестройке внутренней структуры материалов приборов и параметров приборов при радиационных воздействиях и при длительном хранении или температурном воздействии.

В многочисленных источниках информации от 60-х годов и до настоящего времени описаны воздействие того или иного дестабилизирующего фактора на параметры приборов и, в лучшем случае, результаты отжига при повышенных температурах. Однако совместное воздействие дестабилизирующих факторов фактически не проанализировано в источниках информации.

В [10] представлена кривая восстановления прямого падения напряжения при изохронном отжиге диодной структуры, подвергшейся облучению. Кривая восстановления падения прямого напряжения в полулогарифмическом масштабе состоит из прямолинейных участков с различным наклоном, то есть кинетика восстановления падения прямого напряжения на этих участках следует экспоненциальной зависимости вида:

$$U_D(T)/U_D(\Phi) = K_1 \times \exp(-Ea/(kT)),$$

где  $U_D(T)$  – прямое падение напряжения диода после отжига при температуре  $T$ ,  $U_D(\Phi)$  – прямое падение напряжения диода после облучения,  $K_1$  – константа кинетики,  $Ea$  – энергия активации отжига дефектов в диапазоне температур.

С ростом температуры отжига энергия активации возрастает, что свидетельствует об отжиге более крупных дефектов. Ломаный ход кривой восстановления свидетельствует о том, что в процессе отжига дефекты перестраиваются.

В ряде работ, таких как [11–16], описано и проанализировано восстановление параметров облучённых ионизирующими излучениями приборов после термического отжига в течение различных промежутков времени.

Такие результаты свидетельствуют о том, что испытания комплексного воздействия дестабилизирующих факторов космического пространства не дадут правильных результатов, если одну и ту же партию приборов сначала подвергнуть радиационному воздействию, а потом тепловому, имитирующему длительную эксплуатацию прибора.

С другой стороны, в [17] утверждает, что к дефектам и несовершенствам, внесённым в приборы при их изготовлении, добавляются радиационные дефекты, вследствие чего термодинамическая

неустойчивость структуры приборов возрастает. Радиационные дефекты, взаимодействуя между собой и имеющимися в приборах несовершенствами, способствуют возникновению неблагоприятных ситуаций, приводящих к отказам при дальнейшей длительной эксплуатации.

Наиболее общая точка зрения изложена в [18]. Как известно, более упорядоченная структура является более стабильной, а следовательно, обладает и более высокой радиационной стойкостью и надёжностью.

Подробно упорядочение структуры кристаллов ионизирующим излучением описано в 2009 г. в книге Мамонтова А.П. с соавторами [18]. Этими исследователями разработана теория о том, что определяющее влияние на ход радиационных процессов оказывает исходная неравномерность структуры кристаллов и плёнок. А при облучении преобладают два процесса: стимулирование реакций в кристалле, «замороженных» при выращивании (стремление кристалла к равновесию), и накопление радиационных дефектов (переход кристалла в более неравновесное состояние). В условиях облучения при комнатных температурах относительно большими дозами высокоэнергетических частиц ( $10^{14} \dots 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ) изменения свойств кристаллов определяются наличием радиационных дефектов. Для яркого проявления процессов, связанных с установлением более равновесного состояния (по отношению к исходному, до облучения), необходимо снизить концентрацию вводимых облучением радиационных дефектов. Это можно сделать в том числе уменьшением энергии и доз облучения.

То есть процессы накопления, отжига дефектов носят нелинейный характер. Взаимодействие процессов стабилизации и старения структур, вызванных отжигом и накоплением дефектов, зависит от нескольких факторов, таких как начальное состояние структуры, уровни радиационных воздействий, последовательность радиационных и термических воздействий, конструкция полупроводникового прибора и пр.

Например, весьма интересный и нестандартный эффект описан в [19]. Установлено, что предварительное гамма-облучение может привести к повышению стойкости мощных n-МОП транзисторов к воздействию электростатического разряда (ЭСР). Наиболее вероятной причиной этого эффекта в [19] считается деградация коэффициента усиления «паразитного» биполярного транзистора в структуре n-МОП в результате гамма-облучения, после кото-

рого для включения биполярного транзистора требуется большее напряжение ЭСР.

Обычно, чтобы решить на практике задачу прогнозирования стойкости аппаратуры КА к комплексному воздействию дестабилизирующих факторов космического пространства, применяется значительный запас по времени функционирования изделий.

Чтобы обсудить вопрос радиационных испытаний, необходимо обратить внимание на ещё один вопрос. Для имитации воздействия протонов и электронов космического пространства на аппаратуру наиболее доступными являются ускоритель протонов с энергией 20 МэВ и ускоритель электронов с энергией 1 МэВ. Однако эти установки не задействованы на регулярной основе в испытаниях электронных компонентов, а сами эти испытания не носят массового характера, организации – держатели этих установок обычно не обеспечивают их метрологическую аттестацию на право проведения радиационных испытаний. Это вызывает проблемы с воспроизводимостью результатов испытаний и их достоверностью [20].

При определении уровня радиационной стойкости, согласно ОСТ 134-1034-2012, для аппаратуры необратимые изменения её параметров при воздействии электронов и протонов могут моделироваться последовательным облучением аппаратуры гамма-нейтронным излучением.

Как упоминалось в начале статьи, необходимо учитывать, что в реальных условиях на аппаратуру КА действуют не только ионизирующие излучения различных энергий и типов частиц в течение различных сроков функционирования на орбите КА, а также и то, что воздействующие ионизирующие излучения имеют различную интенсивность. А при моделировании ионизирующих излучений космического пространства в земных условиях весь спектр космических излучений заменяется излучениями с плотностью потока  $10^6 \dots 10^9 \text{ част}/(\text{см}^2 \times \text{с})$  [3]. Эти различия необходимо учитывать при оценке радиационной стойкости аппаратуры КА.

Например, в [21] установлено, что для операционного усилителя малой мощности с частотной компенсацией и высоким коэффициентом усиления наблюдается ярко выраженный эффект увеличения деградации со снижением интенсивности излучения, который заключается в радикально большей динамике изменения параметров от уровня дозы гамма-излучения в случае проведения облучения при низкой интенсивности

(0,014 рад (Si)/с) по сравнению с облучением при высокой интенсивности (20 рад (Si)/с).

Кроме того, в [21] установлено, что для изделий биполярной технологии использование ускоренных испытаний на основе проведения облучений при повышенной интенсивности и повышенной температуре может приводить к завышению показателей стойкости испытываемых изделий.

Поэтому современные базовые методики дополнены методами оценки радиационной стойкости радиоэлектронной аппаратуры с учётом воздействия низкоинтенсивных излучений (мощность дозы которых не превышает 0,01 рад/с, имитирующих воздействие естественного ионизирующего излучения КП по дозовым ионизационным эффектам). Расчётно-экспериментальный метод состоит в определении уровня радиационной стойкости по формуле:  $D_{\text{рЭА}} = D_{\text{ТУ}} (P_{\text{экс}}/P_{\text{исп}})^n$ , где  $D_{\text{рЭА}}$  – уровень радиационной стойкости при низкой мощности поглощённой дозы ИИ КП;

$D_{\text{ТУ}}$  – уровень радиационной стойкости, подтверждённый документами;

$P_{\text{исп}}$  – мощность поглощённой дозы облучения испытательной установки, при которой проводились испытания изделий ЭКБ по ТУ (рекомендуется от 0,01 до 0,1 рад/с);

$P_{\text{экс}}$  – мощность поглощённой дозы воздействия ИИ КП, соответствующая реальным условиям эксплуатации;

$n$  – коэффициент аппроксимации зависимости уровня радиационной стойкости изделий ЭКБ от мощности дозы излучения.

Кроме того, для современных базовых методик с учётом длительного воздействия низкоинтенсивного облучения подчёркнуто, что эти методы справедливы для изделия на основе биполярной, гибридной технологий, технологии изготовления биполярных и комплементарных «металл-окисел-полупроводник» структур на одном кристалле, а также на основе технологий «металл-окисел-полупроводник», «кремний на изоляторе», комплементарных «металл-окисел-полупроводник» структур (для ИС, не содержащих биполярных структур). Отдельно выделена методика об оценке радиационной стойкости и испытаний функционально-сложных изделий микроэлектроники.

Если продолжать обсуждение проблемы плотности воздействующих частиц, то немаловажным аспектом является воздействие единичных тяжёлых заряженных частиц на электронную аппаратуру. Внимание на этот вопрос обращалось ещё в 90-х годах прошлого века [2].

В связи с тенденцией к повышению степени интеграции электронных приборов, сопровождаемой миниатюризацией активного объёма отдельных компонентов интегральных схем, возможно произвольное искажение информации и появление ошибок при её обработке без устойчивого повреждения элементов интегральных схем (так называемые перемежающиеся отказы), которые возникают под действием ИИ с чрезвычайно низкими интегральными потоками вплоть до воздействия отдельных частиц. Как оказалось, перемежающиеся отказы могут быть вызваны фоном естественной радиации, например, радиоактивными изотопами урана и тория, содержащимися в ничтожных количествах в корпусах приборов. Перемежающиеся отказы являются специфическим типом радиационных эффектов, возникающих в микроэлектронных приборах с высоким уровнем интеграции, причём защита от них путём увеличения толщины экранов неэффективна как раз в силу очень низкого порога их возникновения.

Согласно базовым методикам для БИС и СБИС, предназначенных для функционирования в КА, требования по стойкости по эффектам одиночных сбоев предъявляют от воздействия отдельных протонов естественных радиационных поясов Земли (ЕРПЗ), галактических космических лучей (ГКЛ), солнечных космических лучей (СКЛ) и тяжёлых заряженных частиц ГКЛ и СКЛ.

В [22] представлены результаты расчёта частоты и числа (вероятности) случайных одиночных эффектов в аппаратуре КА. Они создаются ионизирующими излучениями КП и потоком частиц от бортовых радиоизотопных источников тепла на основе диоксида плутония-238 в период межпланетного полёта космического аппарата с посадкой на Марс.

Максимальное число одиночных сбоев происходит при воздействии пиковых потоков солнечной вспышки, длящихся 12–24 ч. Воздействие ГКЛ по всей траектории движения КА различно. Анализ одиночных отказов основан на понятии вероятности одиночных отказов. В [22] установлено, что для интегральных микросхем частота одиночных сбоев, создаваемая потоком частиц от сборки источников тепла из 8 штук, составляет один сбой за четверо суток полёта. Частота сбоев от ГКЛ составляет от трёх до пяти сбоев за два года полёта, частота сбоев при воздействии пиковых потоков от солнечных вспышек составляет от 2 до 5 сбоев

за 12 часов. Эти сбои парируются применением программных методов.

Оценка сбоев и защита от воздействия ТЗЧ проводятся разными способами. В литературе описаны различные подходы к оценке и описанию этих эффектов.

В [23] представлены результаты исследования эффектов локальной ионизации при воздействии ТЗЧ в диодных матрицах и определена ширина чувствительной области приборов. Для испытаний облучение образцов проводилось ионами в вакуумной камере при различных температурах. В процессе облучения контролировалось возникновение одиночных радиационных эффектов в виде одиночных эффектов переходных ионизационных реакций SET (Single Event Transient). Установлено, что ширина чувствительной области не зависит от температуры облучения и ограничена толщиной эпитаксиального слоя.

Во многих источниках, например [24], [25], [26], также описаны исследования приборов на стойкость к воздействию ТЗЧ с помощью ионов в условиях вакуума.

В [27] проведён сравнительный анализ методов формирования одиночных радиационных эффектов в аппаратуре, предназначенной для функционирования в КА. В качестве критерия радиационной стойкости по одиночным радиационным эффектам принимается частота одиночных сбоев или вероятность необратимых отказов. Она определяется зависимостью сечения образования одиночных радиационных эффектов от линейных потерь энергии ТЗЧ.

Для моделирования ТЗЧ КП применяются ускорители тяжёлых заряженных частиц. Такие эксперименты отличаются высокой трудоёмкостью и требуют декапсуляции ИМС, что вносит дополнительную погрешность при испытаниях.

В [27] анализируется возможность для формирования использования генераторов сфокусированного лазерного излучения видимого и инфракрасного спектра и пучков высокоэнергетических электронов. Все эти методы требуют калибровки, расчётов и дополнительной апробации.

В [28] рекомендуется обеспечивать аппаратную избыточность в сочетании со схемотехническими и программно-алгоритмическими решениями для парирования неизбежных сбоев и необратимых отказов с учётом эффектов одиночных отказов при воздействии заряженных частиц ионизирующих излучений КП.

Таким образом, цель этой статьи – если не дать ответ на весьма актуальный

и до сих пор нерешённый вопрос разработки способов интерпретации результатов испытаний, проводимых по действующим базовым методикам на стойкость к комплексному воздействию дестабилизирующих факторов в реальных условиях функционирования аппаратуры, то обратить внимание на существование задачи по разрешению этого вопроса. Очень важно учитывать, что любое моделирование имеет существенное отличие от реальных условий.

Поэтому базовые методики испытаний совершенствуются в направлении ориентации результатов радиационных испытаний на разработчиков ЭРИ или РЭА.

## Литература

1. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах космического применения / К.И. Таперо, В.Н. Улимов, А.М. Членов. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. 304 с.
2. Радиационная стойкость в оптоэлектронике / Ф.А. Заитов, Н.Н. Литвинова, В.Г. Савицкий, В.Г. Средин. М.: Воениздат, 1987. 166 с.
3. Райкунов Г.Г. Ионизирующие излучения космического пространства и их воздействие на бортовую аппаратуру космических аппаратов. М.: Физматлит, 2013. 256 с.
4. Надёжность и эффективность АСУ / под общ. ред. Ю.Г. Заренина. Киев: Техника, 1975. 368 с.
5. Патент 2 100 817, Российская Федерация, МПК G 01 R 31/08. Способ испытаний на надёжность изделий электронной техники: № 4902384/28: заявл. 14.01.1991: опубл. 27.12.1997 / Б.А. Воронцов, И.В. Куликов. 7 с.
6. ГОСТ 27.002-2015. Надёжность в технике: утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21.06.2016 № 654-ст: дата введения 2017-03-01.
7. Борисов Ю.А. Прогнозирование радиационного старения полупроводниковых материалов / Ю.А. Борисов, В.Ф. Герасимов, Н.Ю. Никифоров [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2013. Вып. 1–3. С. 174–176.
8. Materials Science and Engineering B100 (2003) 23/26. Institute of Solid State Physics, Bulgarian Academy of Sciences, An advantage of MOS structures with ultra thin oxide during irradiation. S. Kaschieva.
9. Мьрова Л.О., Чепиженко А.З. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям. М.: Радио и связь, 1989. 297 с.
10. Сирота Н.Н., Чернышев А.А., Кориунов Ф.П. Отжиг радиационных дефектов в кремниевых диодах, облучённых быстрыми нейтронами // Тр. института тв. тела и полупроводников, 2012. С. 33–39.
11. Вавилов В.С., Горин Б.М., Данилин Н.С. и др. Радиационные методы в твердотельной электронике. М.: Радио и связь, 1990.
12. Коваленко А.К., Королева Е.А., Галеев А.П. и др. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру 2015, вып. 9. С. 11–13.
13. Temperature dependence of radiation damage and its annealing in silicon detectors. H.J. Zioch and al. IEEE Trans. Nucl. Sci., 2021, vol. 68, N8, pt. 1, p. 1694–1700.
14. Stein H.J. Thermodynamic and morphological analysis of large silicon self-interstitial clusters using atomic simulations. J. of Applied Phys., 117(2015), issued 3, April 07.
15. Гарнык В.С. Влияние характера рассеяния на время жизни неосновных носителей заряда в кремнии, легированном гафнием // Физика и техника полупроводников. 1994. Т. 28, вып. 2. С. 228–231.
16. Кориунов Ф.П., Богатырёв Ю.В., Носов Ю.П. Применение гамма-излучения для регулирования параметров серийных кремниевых диодов // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. М., 2009. Вып. 3. С. 5–8.
17. Чернышёв А.А. Основы надёжности полупроводниковых приборов и интегральных схем. М.: Радио и связь, 1988.
18. Мамонтов А.П., Чернов И.П. Эффект малых доз ионизирующих излучений. Томск: Дельтаплан, 2009. 288 с.
19. Арзамасцева Д.М., Петров А.С., Таперо К.И. Механизм деградации мощных n-МОП транзисторов при воздействии электростатического разряда после предварительного гамма-облучения // Тезисы докладов 26-й Всероссийской научно-технической конференции «Радиационная стойкость электронных систем» «Стойкость-2023», НТ сборник, Лыткарино 6–7 июня 2023 г., АО «НИИП». С. 94–95.
20. Таперо К.И., Петров А.С. Проблемные вопросы оценки радиационной стойкости солнечных батарей космического применения // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру 2023. Вып. 4. С. 5–11.
21. Петров А.С., Емельянов В.И., Таперо К.И. и др. Сравнение различных методов моделирования эффектов низкой интенсивности в биполярных операционных усилителях // Тезисы докладов 26-й Всероссийской научно-технической конференции «Радиационная стойкость электронных систем» «Стойкость-2023», НТ сборник, Лыткарино 6–7 июня 2023 г., АО «НИИП». С. 100–101.
22. Хамидуллина Н.М., Черников П.С., Зефирова И.В. Сравнение параметров одиночных эффектов, создаваемых ионизирующими излучениями космического пространства и радиоизотопных источников в РЭА межпланетных КА // Тезисы докладов 26-й Всероссийской научно-технической конференции «Радиационная стойкость электронных систем» «Стойкость-2023», НТ сборник, Лыткарино 6–7 июня 2023 г., АО «НИИП». С. 15–16.
23. Бакеренков А.С., Чубунов П.А., Бондаренко Н.А. и др. Анализ конфигурации чувствительных областей в диодных матрицах 2ДС627/ББ при воздействии ТЗЧ // Тезисы докладов 26-й Всероссийской научно-технической конференции «Радиационная стойкость электронных систем» «Стойкость-2023», НТ сборник, Лыткарино 6–7 июня 2023 г., АО «НИИП». С. 137–138.
24. Бондаренко Н.А., Мальцева М.С., Бабак Р.П. и др. Особенности подготовки и проведения испытаний регуляторов напряжения на стойкость к воздействию ТЗЧ // Тезисы докладов 26-й Всероссийской научно-технической конференции «Радиационная стойкость электронных систем» «Стойкость-2023», НТ сборник, Лыткарино 6–7 июня 2023 г., АО «НИИП». С. 147–148.
25. Цветков А.И., Лыков В.В., Никольская Т.В. и др. Особенности сбоя флеш-памяти с интерфейсом передачи данных SPI 16 Мбит W25Q16BV во время испытаний на стойкость к воздействию ТЗЧ // Тезисы докладов 26-й Всероссийской научно-технической конференции «Радиационная стойкость электронных систем» «Стойкость-2023», НТ сборник, Лыткарино 6–7 июня 2023 г., АО «НИИП». С. 149–150.
26. Воробьёв Л.С., Лыков В.В., Шляев Т.В. и др. Особенности проявления микродозового эффекта (SENE) при испытаниях цифрового потенциометра на стойкость к воздействию ТЗЧ // Тезисы докладов 26-й Всероссийской научно-технической конференции «Радиационная стойкость электронных систем» «Стойкость-2023», НТ сборник, Лыткарино 6–7 июня 2023 г., АО «НИИП». С. 151–152.
27. Яковлев М.В. Одиночные радиационные эффекты в элементах электроники // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру 2023. Вып. 4. С. 13–16.
28. Иванова В.А., Моргачёв Е.О., Орешко А.Ш. и др. Радиационные условия на орбитах мониторинга арктических регионов // Космонавтика и ракетостроение. 2023. Вып. 4(133). С. 106–112.

# Сверхпроводимость при высоких температурах: реальность и фальсификации.

## Часть 2. Почему южнокорейский LK-99 не признали сверхпроводником

Виктор Алексеев

Одним из последних ярких примеров несостоявшегося открытия сверхпроводимости при нормальных условиях стала история с веществом LK-99, названным так по первым буквам фамилий руководителей проекта Сукбэ Ли и Джи-Хун Кима. Группа южнокорейских учёных летом 2023 года разместила на сайте arXiv подробные результаты своих исследований, подтверждающих сверхпроводимость при температуре 127°C и атмосферном давлении синтезированного ими вещества LK-99. Детальное описание экспериментов не вызывало сомнений у мировой научной общественности. Однако попытки объяснить эти результаты поставили в тупик многих экспертов в области сверхпроводимости. Эта информация привела к взрыву в сетях комментариев и вопросов к авторам. Десятки лабораторий во всём мире попытались повторить эксперимент группы Ли Сукбэ. Однако никому не удалось получить точно такие же результаты, какие были опубликованы в южнокорейских препринтах.

Только совместные усилия лучших специалистов в области сверхпроводимости позволили установить, что LK-99 не является сверхпроводником. При этом резкий скачок удельного сопротивления объясняется фазовым переходом кристаллической структуры сульфида серы, содержащегося в виде примеси в образцах LK-99.

В первой части этой статьи было отмечено, что сверхпроводимость при комнатной температуре и нормальном давлении теоретически может полностью изменить современную науку и технику.

На сегодняшний день уже известно много случаев, когда сенсационные сообщения о новых сверхпроводниках публиковались без повторных длительных проверок. Нужно отметить, что все измерения эффектов сверхпроводимости проводятся с помощью крайне сложного современного оборудования на уровне фона аппаратуры. Поэтому для выявления полезной информации приходится использовать специальные математические методы обработки, позволяющие выявлять полезный сигнал из спектра шумов. В этом кроется одна из причин появления недостоверных сообщений.

Как пример такой ситуации можно привести статью индийских физиков, в которой сообщалось о сверхпроводимости при температуре и давлении окружающей среды в плёнках нано-

структурированного материала, состоящего из частиц серебра, внедрённых в золотую матрицу [1].

Однако тщательный анализ результатов измерений позволил экспертам сделать вывод, что всему виной была скрытая систематическая погрешность, искажающая конечные результаты. То есть была допущена ненамеренная ошибка.

Одним из последних ярких примеров несостоявшегося открытия сверхпроводимости при нормальных условиях стала история с «легендарным» веществом LK-99.

Исследовательская группа из Университета Сеула под руководством Сукбэ Ли и Джи-Хун Кима в 1999 году синтезировала комплаунд из оксид-сульфата свинца ( $PbO \cdot PbSO_4$ ) и фосфида тримеди ( $Cu_3P$ ), который они назвали по первым буквам своих фамилий «LK-99». Это вещество авторы определили как новый сверхпроводник и подали в 2021 году заявку на его патент.

В 2023 году 30 апреля в журнале «Journal of the Korean Crystal Growth and Crystal Technology» группа корейских учёных в составе Сукбэ Ли, Джи-Хун Кима, Сонен Има, Сумин Ана, Ен-Ван Квона опубликовала статью, в которой сообщалось о наблюдении явления сверхпроводимости в соединении LK-99 при температуре 97°C и при атмосферном давлении [2].

В середине лета (22 июля) 2023 года Сукбэ Ли, Джи-Хун Ким и Ен-Ван Квон разместили на сайте arXiv в виде препринта подробные результаты своих исследований по сверхпроводимости LK-99.

В опубликованном препринте с громким названием «The First Room-Temperature Ambient-Pressure Superconductor» авторы Сукбэ Ли, Джи-Хун Ким и Ен-Ван Квон заявили, что им впервые в мире удалось синтезировать сверхпроводник, демонстрирующий эффект сверхпроводимости при атмосферном давлении и критической температуре выше комнатной  $T_{кр} \geq 400K, 127^\circ C$ .

Сверхпроводимость LK-99 авторы этого препринта подтверждали достаточно подробными экспериментальными данными, среди которых главными были резкое падение сопротивления при температуре около 400 K и зафиксированный эффект Мейснера, проявлявшийся в слабой левитации.

При этом было представлено подробное описание не только процесса приготовления образцов, но также и использованного оборудования (установка для измерения электрических параметров; установка для измерений РФА; установка для измерения магнитных свойств на базе СКВИД; установка для измерения спектроскопических характеристик с помощью электронного парамагнитного резонанса; система измерения физических свойств «PPMS – DynaCool 9»; рентгеновская фотоэлектронная спектроскопическая установка РФЭС) [3].

22 июля 2023 года объединённая исследовательская группа под руко-

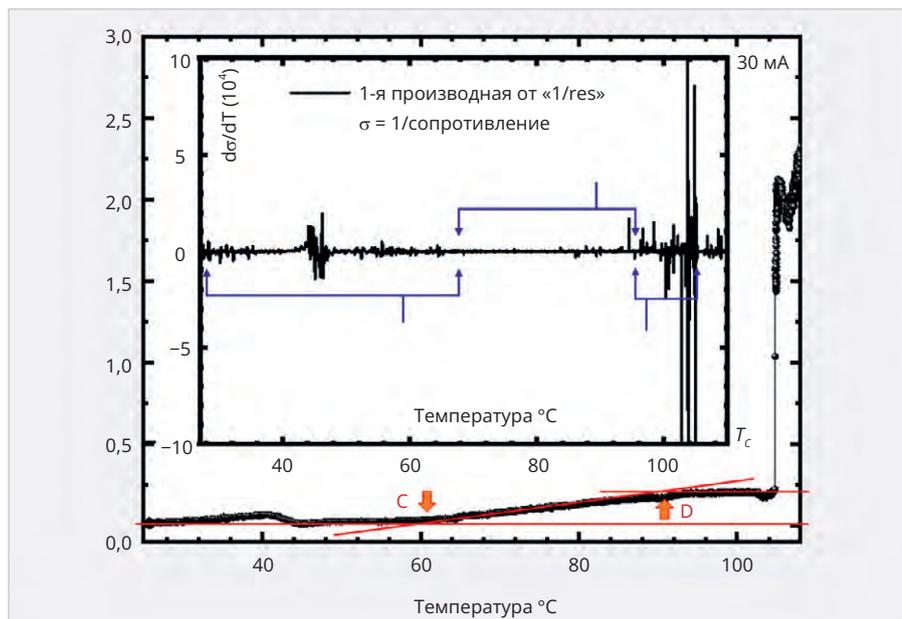


Рис. 1. Один из образцов LK-99 показал десятикратное падение удельного сопротивления с 0,02 до 0,002 Ом-см при достижении температуры  $d$  около 104°C

водством Сукбэ Ли, в которую вошли представители Quantum Energy Research Centre, ICT Basic Research Lab. ETRI, Department of Physics, College of William & Mary, Williamsburg, Nanyang University, разместила на сайте arxiv.org препринт, в котором была предоставлена дополнительная техническая информация. Например, подробно описывался эксперимент, в котором один из образцов LK-99 показал десятикратное падение удельного сопротивления с 0,02 до 0,002 Ом-см при достижении температуры около 104,8°C. Причём цифры были указаны авторами достаточно точно (рис. 1). Приведённое описание эксперимента не вызывало сомнений у экспертов. А вот попытки объяснить этот график поставили в тупик многих специалистов в области сверхпроводимости.

Кроме того, в этом препринте утверждалось, что эффект Мейснера (вытеснение внешнего магнитного поля из объёма сверхпроводника) подтверждается зафиксированным на видео эффектом левитации образца LK-99 при комнатной температуре и атмосферном давлении. Также в препринте были приведены результаты измерений магнитного поля в процессе данного эксперимента [4]. Видео левитации LK-99 сразу появилось в Интернете и мгновенно стало вирусным [5]. На этих видео показано, как образец LK-99 одним краем приподнимается над поверхностью магнита (рис. 2)

В препринте была подробно описана трёхступенчатая методика синтеза LK-99. Для того чтобы понять, что произошло на самом деле, ниже приведено описание той методики с сохранением именно тех формул и химических названий, которые даны в оригинальном тексте южнокорейского препринта.

Согласно этой методике сначала из оксида свинца PbO и сернокислого свинца (Lead-II Sulfate)  $PbSO_4$  был получен искусственный ланаркит (Lanarkite)  $Pb_2SO_5$  (молярная смесь 1/1,  $T = 725^\circ C$ ).

Затем при температуре 550°C и вакууме  $10^{-5}$  Торр синтезировали фосфид меди  $Cu_3P$  из порошков Cu и P, взятых в молярной смеси 3/1.

Поликристаллические керамические образцы LK-99 получали методом твердофазного спекания искусственного ланаркита и фосфида меди



Рис. 2. Демонстрация «левитации» в качестве доказательства эффекта Мейснера в компаунде LK-99

под вакуумом  $10^{-5}$  Торр и температуре 925°C при различных длительностях процесса, варьирувавшемся от 5 до 20 часов.

Необходимо подчеркнуть, что сами южнокорейские авторы препринтов наблюдали вариации химического состава конечного продукта LK-99 от образца к образцу в зависимости от используемых параметров процесса (длительность, температура, вакуум, скорости нагрева и остывания).

На рис. 3 показаны дифракционные рентгеновские спектры образцов LK-99, полученные с помощью XRD (X-Ray Diffraction).

Химический состав LK-99 в первом приближении авторы определили формулой  $Pb_9Cu(PO_4)_6O$ . Это соединение представляет собой искусственную модификацию природного минерала оксипироморфита (или апатита свинца)  $Pb_{10}(PO_4)_6O$ , в котором около 25% ионов свинца Pb(II) замещены ионами меди Cu(II).

В представленном препринте отчетливо зафиксированы только пики, соответствующие: Pb(1) 137,39 eV; P 131,62 eV и 132,3 eV; O 529,31 eV; 529,9 eV, 530,58 eV, 531,49 eV; Cu(0) 932,05 eV, 951,91 eV; Cu(II) 933,78 eV и 954,03 eV.

Нужно сказать, что группа Сукбэ Ли неслучайно заинтересовалась LK-99.

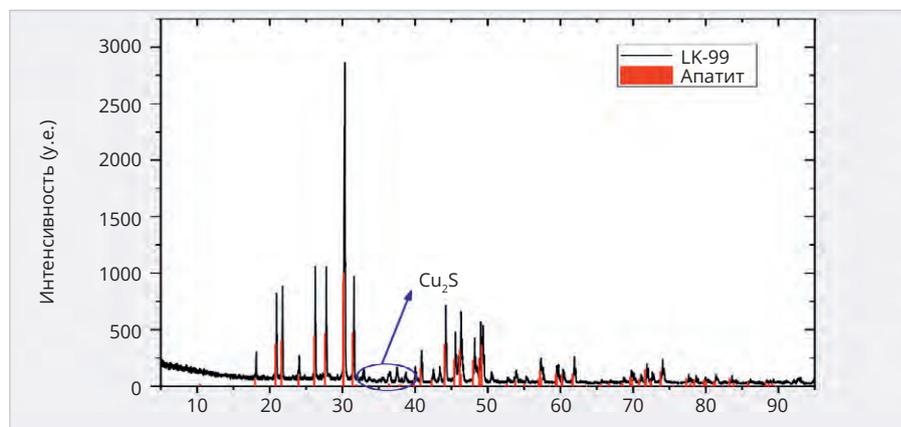


Рис. 3. Обработанные спектры образцов LK-99, полученные методом XRD (X-ray diffraction (XRD))

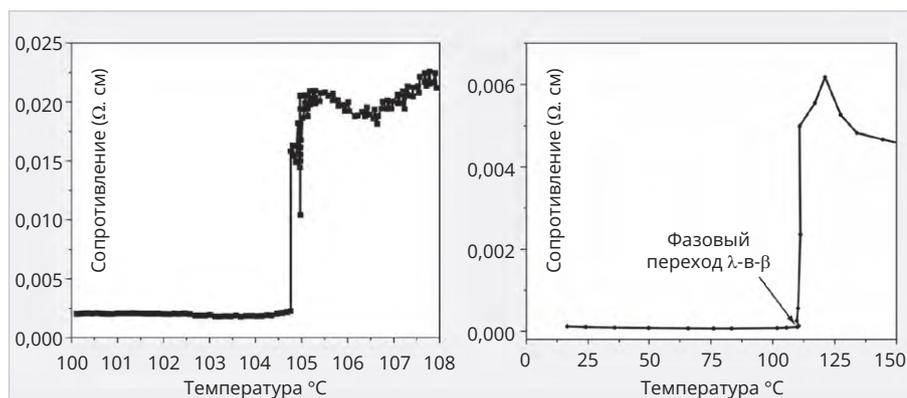


Рис. 4. Зависимость удельного сопротивления от температуры для LK-99 (левый рисунок) и сульфида меди (правый рисунок)

Входящие в состав этого искусственно-го минерала соединения меди наталкивали на мысль о сверхпроводимости в купратах, которую в 1986 году открыли Карл Мюллер и Йоханнес Беднорц, за что сразу же в 1987 году были удостоены Нобелевской премии по физике. Используя некоторые идеи из теории сверхпроводимости в купратах, Сукбэ Ли с сотрудниками предположили, что обнаруженные ими резкое уменьшение удельного сопротивления и частичная левитация в образцах LK-99 связаны с заменой ионов свинца на ионы меди. Такая модификация структурной решетки, по их мнению, вызвала возникновение квантовых ям в районе гетеропереходов между Pb(I) и кислородом.

Эти две публикации, естественно, привели к взрыву комментариев и вопросов. Особенно впечатляющими в южнокорейских препринтах были результаты потери удельного сопротивления (рис. 1) и видео левитации (рис. 2).

Следует сказать несколько дополнительных слов про сайт arXiv. Это сайт с полностью открытым доступом, поддерживаемый администрацией Корнеллского университета (США), предназначенный для обмена препринтами, которые представляют собой черновые версии ещё не опубликованных статей об экспериментальных или теоретических результатах в области естественных наук. Поэтому любой желающий может разместить на этом сайте свою работу с целью узнать мнение мировых экспертов о её научной ценности. Кроме того, подобная система быстрого оповещения научного мира о своих достижениях позволяет закреплять за собой первенство открытия. Важно то, что непосредственно перед публикацией статьи не рецензируются. Однако статьи прохо-

дят достаточно строгую проверку модераторами после размещения на сайте. При этом любой зарегистрировавшийся на сайте специалист может высказать своё отношение к статье, размещённой на сайте arXiv.

Одними из первых сомнения относительно химического состава и формулы образца LK-99, опубликованного в южнокорейских препринтах, высказали российские физики из «Центра высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов имени В.Л. Гинзбурга», ФИАН. В научном мире хорошо известны и по достоинству оценены исследования по сверхпроводимости искусственных компаундов, которые проводятся в Физическом Институте Академии наук РФ (ФИАН) [6].

В предложенной корейскими учёными реакции взаимодействия  $Pb_2SO_5$  и  $Cu_3P$  российские учёные усомнились в объявленном соотношении меди и фосфора в конечном образце LK-99. Кроме того, степень окисления в конечном образце у фосфора 5+, а у меди 2+ свидетельствует о наличии в полученном LK-99 примеси, которая принимала электроны в процессе восстановления. Например, таким элементом могла бы быть сера [7].

Многие исследователи, пытавшиеся повторить схему синтеза, предложенную Сукбэ Ли с сотрудниками, отмечали несбалансированность последней ступени реакции с образованием LK-99. Количество атомов свинца, меди и серы не совпадало в правой и левой частях уравнения реакции твердофазного спекания искусственного ланаркита и фосфида меди. Это говорит о том, что при остывании, для того чтобы система пришла в равновесие, должны образовываться какие-то дополнительные соединения.

Десятки лабораторий во всём мире пытались повторить эксперимент группы Сукбэ Ли. Однако никому не удалось получить точно такие же результаты, какие были опубликованы в корейских препринтах. В этой статье отметить все появившиеся за прошедший год статьи на эту тему не представляется возможным, поэтому ниже рассмотрены только основные работы, позволившие объяснить результаты экспериментов южнокорейских учёных.

Более подробный анализ истории с LK-99 можно найти, например, на сайте [8], где проанализировано около сотни публикаций, посвящённых LK-99.

Известный специалист по сульфидам меди из Университета Иллинойса Прашант Джайн сразу связал температуру 104,8°C, приведённую южнокорейской группой в качестве критической температуры сверхпроводимости LK-99, с температурой фазового перехода  $Cu_2S$ .

Сульфид меди – это очень интересное соединение, которое может принимать различные кристаллические формы в зависимости от степени окисления меди, вплоть до самых экзотических [9].

При температуре 104°C сульфид меди переходит из одного фазового состояния «γ-фаза  $Cu_2S$ » с моноклинной/псевдоорторомбической кристаллической структурой в другое фазовое состояние «β-фаза  $Cu_2S$ » с гексагональной кристаллической структурой. При этом резко меняются такие физические характеристики вещества, как, например, теплопроводность и удельное электрическое сопротивление.

Температура фазового перехода γ-β, равная 104°C, практически совпадает с температурой 104,8°C, при которой, как утверждает группа Сукбэ Ли, синтезированный ими LK-99 демонстрирует резкое падение удельного сопротивления [10].

На рис. 4 показаны зависимости удельного сопротивления от температуры для LK-99, полученного по данным, представленным группой Сукбэ Ли (левый рисунок), и сульфида меди (правый рисунок) [11].

Кроме того, графики зависимости удельной теплоёмкости при постоянном давлении, как и функции температуры, приведённые в препринтах южнокорейских исследователей для LK-99, демонстрируют λ-образную особенность, которая, однако, более характерна для сульфида меди (I).

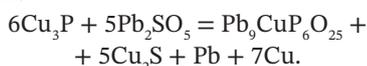
На основании этих данных Прашант Джайн, химик из Университета Иллинойса (University of Illinois at Urbana-Champaign), предположил, что приведённые в препринтах группы Сукбэ Ли результаты резких скачков удельного сопротивления, теплоёмкости и намагниченности LK-99, скорее всего, обусловлены сульфидом меди (Copper Sulfide  $\text{Cu}_2\text{S}$ ), возникающим как побочный примесный продукт в отмеченной выше неравновесной реакции синтеза LK-99.

Поэтому для однозначного решения вопроса о сверхпроводимости LK-99 необходимо проведение тщательного тестирования образцов, не содержащих сульфида меди.

Идея «балансирующих остатков» была проверена другими исследователями, которые обратили особое внимание на примеси сульфида меди ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) в рентгеновском спектре образца LK-99, представленном в южнокорейском препринте (рис. 3) [12].

В другой работе [13] использовалась методика синтеза LK-99, общая схема которой была описана Сукбэ Ли. Однако были несколько изменены параметры, для того чтобы в максимально возможной степени снизить содержание примесей сульфида серы в конечном образце. С этой целью были использованы особо чистые препараты и специальное химическое оборудование. С помощью рентгеновского спектрометра PXRD (Powder X-Ray Diffraction – PXRD) осуществлялся контроль чистоты полученного вещества на каждом шаге синтеза. На последнем этапе два прекурсора  $\text{Cu}_3\text{P}$  и  $\text{Pb}_2\text{SO}_5$ , взятые в стехиометрическом соотношении 6:5, герметизировались в кварцевой трубке и нагревались в течение 10 часов при  $925^\circ\text{C}$ . В результате были получены небольшие поликристаллические кусочки LK-99.

Химическая чистота синтезированного образца LK-99 была тщательно проверена с помощью дифракционного рентгеновского анализа. Сравнение полученных в этой работе спектров с аналогичными данными других публикаций позволили говорить, что был синтезирован практически чистый образец LK-99, не содержащий примесей. При этом наиболее возможным представляется следующий вариант сбалансированной реакции:



Здесь в качестве «балансирующего компонента» выступает  $\text{Cu}_2\text{S}$ , которое представляет собой твёрдое нерастворимое в воде и этаноле вещество. Следует отметить, что авторы этой очень тщательной и аккуратной с научной точки зрения работы однозначно утверждают, что полученное в результате вещество типа LK-99 не обладало ни одним из признаков сверхпроводника, о которых сообщалось в препринтах группы Сукбэ Ли. Не было обнаружено никаких элементов левитации. Образец LK-99 неподвижно лежал на сильном постоянном магните.

При этом изотермические измерения намагничивания (Isothermal Magnetization – МН) и измерения М-Т при 280К показали, что полученное в этом эксперименте вещество типа LK-99 обладает некоторыми свойствами диамагнетика [14, 15].

Во многом прояснить ситуацию помогла статья группы физиков из Академии Наук Китая (CAS), в которой они подробно описали свои результаты, показывающие однозначную зависимость содержания примесей  $\text{Cu}_2\text{S}$  в конечных образцах LK-99 от параметров процесса на разных этапах синтеза.

Опуская подробное описание данной методики, приведённое в оригинальной статье, отметим только основные отличительные черты этих экспериментов. Так, отжиг прекурсоров на последнем этапе синтеза проводился в различных режимах либо в вакууме, либо на воздухе. Химический состав конечного продукта LK-99 определялся с помощью порошкового рентгеноструктурного анализа на спектрометре с источником рентгеновского излучения Cu-K $\alpha$  ( $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ). Удельное сопротивление измеряли стандартным 4-зондовым методом в диапазоне от 2К до 400К в системе PPMS производства фирмы Quantum Design. Результаты экспериментов показали, что образцы, отожжённые в вакууме, содержали примерно 5%  $\text{Cu}_2\text{S}$ . При этом их удельное сопротивление плавно увеличивалось по мере снижения температуры ниже 400 К. В другой серии образцов, которые нагревались на воздухе, содержалось уже около 70%  $\text{Cu}_2\text{S}$ . Важно то, что удельное сопротивление таких образцов резко падало почти на четыре порядка при температуре около  $112^\circ\text{C}$  (385К). Однако оно останавливалось на нижней границе и не достигало нуле-

вого значения, что могло бы характеризовать эти образцы как сверхпроводники. Полученные результаты были очень близки к той ситуации, которая была описана в препринтах Сукбэ Ли.

В своём заключении учёные из CAS объяснили резкое падение удельного сопротивления структурным фазовым переходом  $\text{Cu}_2\text{S}$  из  $\beta$ -фазы в  $\gamma$ -фазу при снижении температуры ниже  $112^\circ\text{C}$  [16].

Многие авторы отметили, что магнитные свойства образцов LK-99, синтезированных по разным схемам, сильно зависели от содержания в них сульфидов серы.

Так, например, авторы статьи [17] получили методом твёрдофазного спекания поликристаллические керамические образцы типа LK-99. Порошковый рентгеновский дифракционный анализ показал, что основными компонентами этих образцов были  $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$  и  $\text{Cu}_2\text{S}$ .

Некоторые крохотные чешуйчатые фрагменты этих образцов приподнимались одним концом в общем слое измельчённой смеси, нанесённой на мощный неодимовый магнит  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ . Измерения намагниченности этих микрофрагментов LK-99 показали, что они содержат ферромагнитные включения. Однако авторы этой статьи не обнаружили ни наличия эффекта Мейснера, ни достижения нулевого сопротивления, свидетельствующих о реальном эффекте сверхпроводимости.

Несбалансированность реакции на последней стадии синтеза LK-99, выполненного точно по оригинальной схеме Сукбэ Ли, приводила к тому, что в разных лабораториях при различных режимах получались образцы, обладающие разными свойствами. Одни образцы LK-99 вообще не чувствовали внешнего магнитное поле, другие реагировали на него аналогично тому, как это демонстрируют диамагнетики, которые намагничиваются против направления внешнего поля [18]. Данное свойство при сильных полях, комнатной температуре и нормальном атмосферном давлении обеспечивает эффект диамагнитной левитации, который никак не связан со сверхпроводимостью [19].

Многочисленные исследования, последовавшие за упомянутыми выше публикациями, показали, что образцы типа LK-99, синтезированные различными методами, в основном демонстрировали парамагнитные или диамагнитные свойства [20].

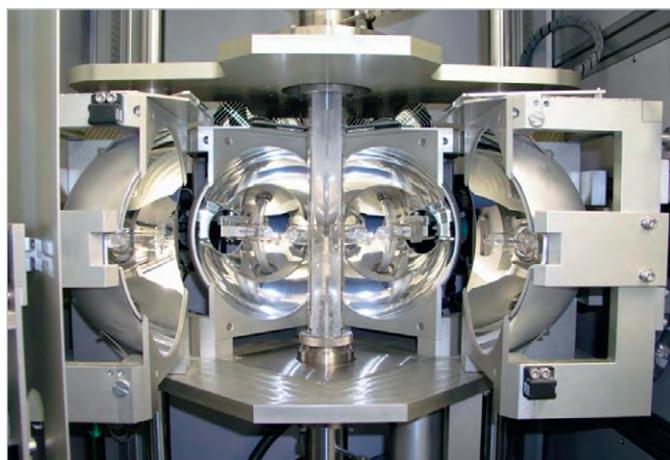


Рис. 5. Установка для выращивания монокристаллов с использованием «технологии подвижной зоны расплава» (TSFZ- T-10000-H-VI-VP, CSI Japan)

Таким образом, на определённом этапе исследований было установлено, что «странные свойства» образцов типа LK-99 обусловлены примесями сульфидов меди. Поэтому дальнейшие исследования были связаны с поиском вариантов синтеза, которые позволяли получить чистый образец без примеси  $Cu_2S$ .

Немецкие химики из Университета Дрездена экспериментально проверили варианты синтеза, исключаяющие промежуточные этапы с присутствием серы. В своих экспериментах они проверяли перечисленные ниже реакции [21]: а)  $9PbO + CuO + 3P_2O_5 \rightarrow Pb_9Cu(PO_4)_6O$ ; б)  $3Pb_3(PO_4)_2 + CuO \rightarrow Pb_9Cu(PO_4)_6O$ ; в)  $8Pb_3(PO_4)_2 + Cu_3(PO_4)_2 + 3PbO \rightarrow 3Pb_9Cu(PO_4)_6O$ ; г)  $9PbO + CuO + 6NH_4H_2PO_4 \rightarrow Pb_9Cu(PO_4)_6O + 6NH_3 + 9H_2$ .

Синтез в вариантах «а» и «б» проводился в вакуумированных кварцевых трубках при температуре  $925^\circ C$  и временем выдержки 10–20 ч.

В случаях «в» и «г» спекание проводилось в воздушной атмосфере в платиновых тиглях при тех же условиях нагрева.

Моноклинный  $Pb_3(PO_4)_2$  и триклинный  $Cu_3(PO_4)_2$  были получены с помощью прямых стехиометрических реакций  $(NH_4)_2HPO_4$  с  $PbO$  и  $CuO$  соответственно.

При этом были предприняты исключительные меры предосторожности, позволившие избежать любого возможного загрязнения образцов посторонними примесями. Например, использовались титановые тигли, кварцевые трубки и химикаты с чистотой 99,99%, а также предварительная проверка чистоты с помощью PXRD.

Рентгеноструктурный анализ показал, что во всех четырёх вариантах отсутствовала фаза оксиапатита свинца, образующаяся только при использовании в качестве прекурсора  $PbSO_4$  или  $Pb_2OSO_4$ .

Для образцов «а» и «б» характерными были в основном моноклинные фазы  $Pb_3(PO_4)_2$  и  $Pb_3Cu_3(PO_4)_4$  с очень мелкими непрозрачными кристаллами серого цвета.

В образце «в» преобладающими были фазы  $Pb_9(PO_4)_6$  и  $Pb_3Cu_3(PO_4)_4$  с конечными прозрачными кристаллами зелёного цвета.

Образец «г» имел конечные кристаллы жёлтого цвета с преобладающими фазами  $Pb_8O_5(PO_4)_2$ .

Было замечено, что в некоторых образцах варианта «г» несколько крошечных чешуек в присутствии мощного магнита располагались вертикально. Элементный анализ этих частиц показал, что они содержат следы железа на своей поверхности. Авторы статьи предполагают, что наиболее вероятным источником загрязнения железом стало использование металлического шпателя для взвешивания образца. В других вариантах этот эффект не был замечен.

Ни в одном из рассмотренных вариантов не было обнаружено скачков удельного сопротивления и плотности.

В середине августа 2023 года группа учёных из Института Макса Планка под руководством Паскаля Пуфяля, эксперта по выращиванию монокристаллов, опубликовала препринт с результатами синтеза монокристаллов  $Pb_{10-x}Cu_x(PO_4)_6O$  [22].

Паскаль Пуфаль является экспертом по выращиванию монокристал-



Рис. 6. Использование технологии «плавающей зоны» (floating zone) позволило получить химически чистые по всему объёму образцы: оптически прозрачные монокристаллы LK-99 [24]

лов с использованием «технологии подвижной зоны расплава» (Traveling Solvent Floating Zone – TSFZ). Эта технология, по существу, представляет собой модернизированный метод зонной плавки.

В этом методе не используются плавленые тигли, что очень удобно для выращивания монокристаллов химически активных материалов с высокими температурами плавления. В современных печах TSFZ прекурсоры размещены внутри питающего и затравочного стержней, которые расположены на небольшом расстоянии друг от друга внутри нагревательного цилиндра.

Зона плавления разогревается внешними галогенными излучателями через специальные окна и удерживается между питающим и затравочным стержнями за счёт собственного поверхностного натяжения.

Галогенные лампы позволяют фокусировать излучение в узкую полосу вокруг материала и нагревать до нужной температуры. После того как небольшой участок стержня расплавлен, плавающую зону перемещают с помощью галогенных ламп с очень маленькой скоростью. При этом монокристалл выращивается на затвердевающем конце зоны плавления. На рис. 5 показана коммерческая установка для выращивания монокристаллов методом TSFZ T-10000-H-VI-VP, CSI Japan [23].

Применение TSFZ позволило полностью исключить использование при синтезе соединений серы и тем самым гарантировать отсутствие примеси  $Cu_2S$ , вызывающей скачок удельного сопротивления при структурном фазовом переходе. Кроме того, метод TSFZ обеспечивал максимальную защи-

ту также и от других внешних загрязнений в процессе выращивания кристаллов.

Порошок-прекурсор готовили в виде стехиометрической смеси  $9\text{PbO}/1\text{CuO}/9\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , которую в глинозёмных тиглях запекали в печи при  $750^\circ\text{C}$  в течение 10 часов. Затем после шлифовки ещё раз помещали в печь на 10 ч при той же температуре.

Из приготовленных таким образом прекурсоров были сделаны питающие и заправочные стержни. Эти стержни помещали в цилиндрический реактор печи TSFZ (Crystal System Corporation CSC FZ-T-10000), заполненный аргоном особой чистоты. В процессе синтеза поддерживалась скорость перемещения зоны плавления 1 мм/ч. В результате были получены фазово-чистые по всему объёму оптически прозрачные фиолетовые монокристаллы с уровнем легирования медью, близкой к единице (рис. 6). Порошковый рентгеноструктурный анализ измельчённого кристалла показал фазово-чистый состав  $\text{Pb}_9\text{Cu}(\text{PO}_4)_6\text{O}$  с гексагональной структурой P63/m (пространственная группа № 176).

Этот монокристалл, полностью свободный от посторонних примесей, является изолятором с сопротивлением в миллионы Ом, что слишком много для проведения стандартного теста сверхпроводимости с потерей удельного сопротивления. Образцы из всех партий демонстрировали незначительный ферромагнетизм и диамагнетизм. Никаких признаков даже частичной левитации не было обнаружено.

В одной из последних работ относительно LK-99 (2024 г.) [25] образцы типа LK-99, синтезированные по методике, описанной в оригинальном препринте Сукбэ Ли, были исследованы методами рентгеновской дифракции и нейтронной спектроскопии. В результате этих экспериментов авторы установили, что кристаллическая структура основной фазы образцов имеет гексагональную структуру с пространственной группой P63/m, а также наличие примесных фаз Cu и  $\text{Cu}_2\text{S}$ . Место замещения Cu соответствует узлам в основном Pb1 (6h) и Pb2 (4f). В исследованном температурном диапазоне от 10 до 300 К не наблюдалось явных структурных искажений, вызванных легированием медью. В образцах LK-99 диамагнитный сигнал сопровождался слабой ферромагнитной составляющей при 2К.

Измерения неупругого рассеяния нейтронов не выявили магнитных

возбуждений при энергиях до 350 мэВ. В спектре возбуждений этого материала не было никаких признаков сверхпроводимости.

Таким образом, в результате объединённых усилий ведущих специалистов мира было достигнуто общее мнение о том, что LK-99 не является сверхпроводником ни при каких температурах, а чистый монокристалл этого вещества, не содержащий посторонних примесей, представляет собой классический тип изолятора с удельным сопротивлением в десятки МОм [24].

Основной причиной, вызвавшей иллюзию эффекта сверхпроводимости, была примесь сульфида меди, образующегося в конечном продукте LK-99 при синтезе по схеме, предложенной Сукбэ Ли. Кроме того, эта примесь  $\text{Cu}_2\text{S}$  вызывала резкое падение удельного сопротивления за счёт фазового изменения кристаллической структуры при температуре в районе  $104^\circ\text{C}$ . Явление неполной левитации в микроскопических образцах обусловлено примесями магнитных материалов.

По состоянию на конец мая 2024 года ни один из рассмотренных препринтов Сукбэ Ли не прошёл рецензирование.

Корейское научно-исследовательское объединение по криогенике и сверхпроводимости учредило комитет по проверке истории с LK-99, в который вошли физики и химики из Сеульского национального университета, Университета Сонгюнван и Университета науки и технологий Пхохан.

Предварительные очень осторожные выводы этого комитета говорят о том, что препринты, написанные группой Ли, не доказывают сверхпроводимость LK-99 [26].

Сами авторы нашумевших препринтов отметили, что опубликованные ими данные были недостаточно проверены и требуют дальнейших исследований [27].

К чести авторов этого нашумевшего «открытия» нужно сказать, что они не пытались оправдываться формальными ответами на задаваемые вопросы. Вместе с другими учёными команда Сукбэ Ли всячески способствовала поиску правильной трактовки своих экспериментальных данных.

Следует обратить внимание на то, что с материалами типа LK-99 всё не так просто и однозначно. Несмотря на то что международная научная общественность не признала LK-99 сверхпроводником, он продолжает демонстриро-

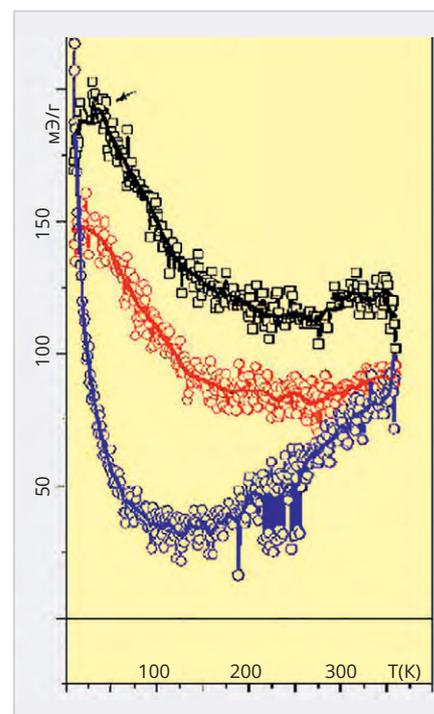


Рис. 7. Зависимости намагниченности от температуры в магнитном поле 200 эрстед (чёрная кривая – измерение ZFC до включения магнита, создающего поле; красная и синяя кривые, соответственно, – измерения ZFC и FC после включения магнита, создающего поле)

вать новые удивительные свойства. Так, например, китайская объединённая исследовательская группа, в которую входят учёные из Института технологического проектирования Китайской академии наук, а также шести крупнейших университетов, продолжает исследовать вещества типа LK-99. В январе 2024 года эта группа опубликовала препринт, в котором описано обнаруженное ими свойство образцов медьзамещённого апатита свинца (Copper-Substituted Lead Apatite – CSLA) проявлять как диамагнитные, так и парамагнитные свойства при охлаждении ниже 250К. При этом было зарегистрировано заметное различие между измерениями с охлаждением в нулевом поле (Zero Field Cooling – ZFC) и охлаждением в мощном магнитном поле (Field-Cooling – FC).

В магнитном поле (25 эрстед) образцы проявляли диамагнитные свойства, а при охлаждении в магнитном поле образцы вели себя, как парамагнетики. На рис. 7 показаны кривые зависимости намагниченности (DC Magnetization) от температуры в магнитном поле с напряжённостью 200 эрстед.



# Усовершенствованный двухканальный индикатор уровня звука на базе цветного 1,3" TFT-дисплея и микроконтроллера EFM8LB10F16

Алексей Кузьминов

В статье приведены принципиальная схема, разводка и внешний вид платы, а также программные средства двухканального индикатора уровня звука на базе цветного 1,3" TFT-дисплея с разрешением 240×240 пикселей (с контроллером ST7789), сопряжённого с микроконтроллером EFM8LB10F16 по параллельному интерфейсу. Показаны результаты работы устройства в составе УМЗЧ.

Дополнительные материалы к этой статье вы можете скачать с нашего сайта по этой ссылке



## Введение

Двухканальный индикатор уровня звука на базе дисплея OLED 1306 и микроконтроллера (МК) EFM8LB12, описанный автором в [1], показал хорошую работу, однако его недостатками являются: миниатюрный размер (видимая область экрана составляет всего 22×12 мм), малое разрешение (80×160 пикселей) и всего два цвета (жёлтый и синий) на чёрном фоне. Эти недостатки не позволяют в полной мере комфортно оценить уровни звука двух каналов усилителя, и, кроме того, такой дисплей смотрится в составе усилителя не особенно эстетично, а на большом расстоянии, например 2-3 метра, его трудно разглядеть, если специально не приглядываться. У автора возникла идея: а нельзя ли вместо дисплея OLED 1306 использовать цветной дисплей большего размера, например, TFT 1,3" с видимой областью экрана 25×25 мм и разрешением 240×240 пикселей? По стоимости (около 150 руб.) такой дисплей не дороже дисплея OLED 1306. Но использование такого TFT-дисплея связано с одной проблемой (к счастью, решаемой). Дело в том, что каждая строка OLED-дисплея состоит из 8 бит (или одного байта), и если такой бит равен 1, то он светится, а если нет, то он чёрный. Поэтому, если для передачи информации в такой дисплей использовать достаточно высокоскоростной интерфейс SPI (на скорости, например, 36 Мбод), то частота обновления экрана этого дисплея будет не менее 5 кГц [1]. В цветном же TFT-дисплее каждый пиксель состоит из трёх цветов (красный, зелёный

и синий – RGB), и для передачи цвета пикселя требуется не бит (как в OLED-дисплее), а два байта, которые и определяют цвет пикселя. Другими словами, объём информации, передаваемой в каждый пиксель TFT-дисплея, в 16 раз превышает аналогичный объём, передаваемый в OLED-дисплее. Кроме того, поскольку разрешение TFT 1,3" дисплея составляет 240×240 пикселей (против 80×160 пикселей у OLED-дисплея), объём передаваемой информации в TF-дисплей многократно возрастает. Пусть каждая гистограмма, отражающая уровень звука в TFT-дисплее, имеет, например, ширину 40 пикселей и высоту 240 пикселей и, таким образом, состоит из 40×240 = 9600 пикселей, а две гистограммы соответственно из 19 200 пикселей. Тогда для передачи двух байт в каждый пиксель потребуются передать 19 200×2 = 38 400 байт для двух гистограмм. Простой расчёт показывает, что при использовании интерфейса SPI даже на скорости 36 Мбод частота обновления экрана на TFT-дисплея будет составлять не более двух десятков Гц, что, понятно, неприемлемо, поскольку дисплей будет мерцать с частотой, заметной для глаза. Выход из создавшегося положения может быть найден, если в качестве канала передачи информации в TFT-дисплей использовать параллельный однобайтный интерфейс, в котором за один такт МК передаётся сразу весь байт, а при частоте тактового генератора МК в 72 МГц один такт составляет не более 14 наносекунд, что нетрудно подсчитать. А раз так, то, как будет видно из дальнейшего изложения, частота

обновления экрана TFT-дисплея будет составлять около 370 Гц, что в 2–4 раза превышает частоту обновления экрана современных телевизоров и мониторов (это, как правило, около 100 Гц, реже 200 Гц). Цветные 1,3" TFT-дисплеи с параллельным интерфейсом также выпускаются, и их стоимость не превышает стоимость дисплеев с интерфейсом SPI (контроллер ST7789 допускает оба типа интерфейсов – параллельный и последовательный SPI).

Преимущества цветного 1,3" TFT-дисплея перед дисплеем OLED 1306 очевидны: это больший размер и большее разрешение, а возможность использовать разные цвета (например, цвет фона – синий, цвет гистограммы при уровне звука ниже перегрузки – зелёный и цвет гистограммы при уровне звука выше перегрузки – красный) создаёт более комфортное восприятие уровней звука.

Здесь необходимо добавить, что цветные OLED-дисплеи соответствующего разрешения и размера также выпускаются, но они стоят в несколько раз дороже цветного 1,3" TFT-дисплея.

Таким образом, с использованием параллельного интерфейса сопряжения МК с TFT-дисплеем задача построения индикатора уровня звука вполне разрешима. Что и является предметом настоящей статьи.

## Схема платы устройства

Принципиальная схема платы устройства (рис. 1) ненамного отличается от аналогичной схемы, приведённой в [1].

Отличия аналоговой части следующие. Во-первых, вместо двух двоекных

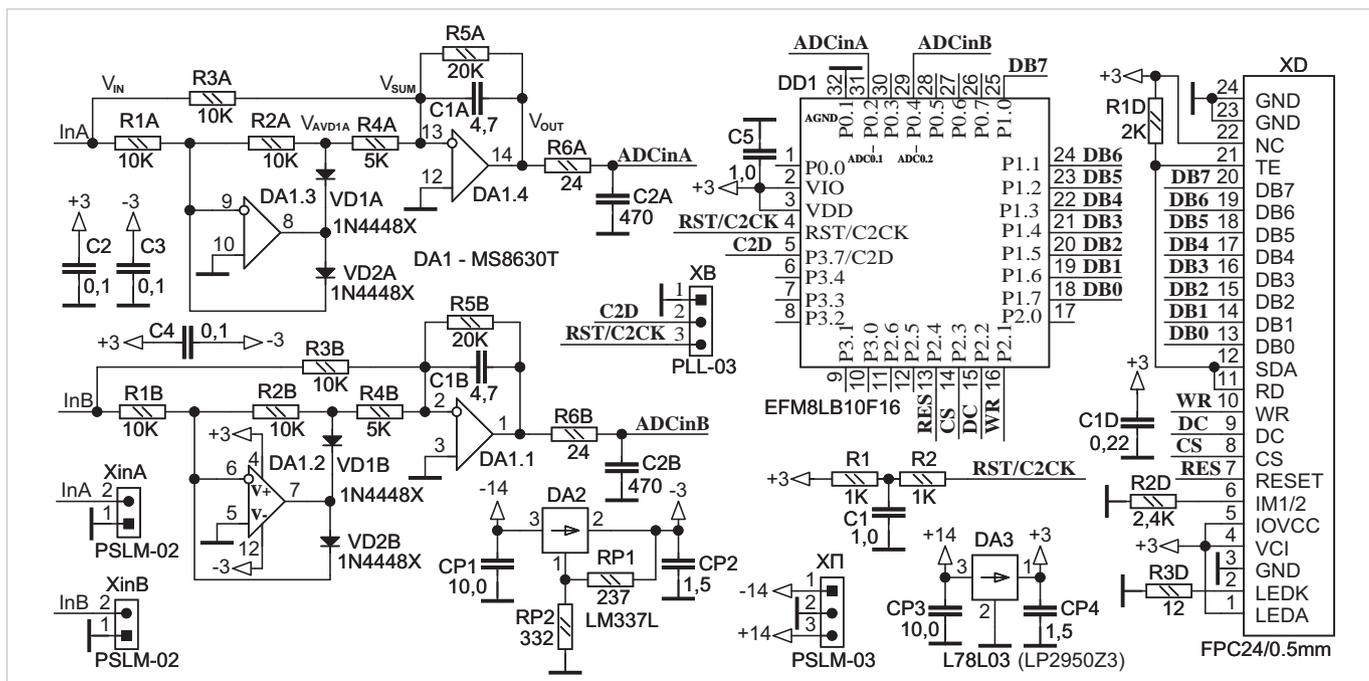


Рис. 1. Принципиальная схема платы устройства

ОУ MCP6002 в [1] применён четверённый прецизионный и более высокоскоростной ОУ MS8630 (DA1) с «нулевым» смещением (zero drift), который по стоимости даже чуть меньше стоимости двух ОУ MCP6002. Напряжение смещения (Offset Voltage) MS8630 составляет всего 2 мкВ против  $\pm 7$  мВ у MCP6002, а типовая скорость MS8630 составляет 1,25 В/мкс (3,8 МГц) против 0,6 В/мкс (1 МГц) у MCP6002. Кроме того, ОУ MS8630 с обвязкой занимает немного меньше места на плате, чем 2 ОУ MCP6002, в связи с чем размер платы несколько уменьшился (см. далее). Во-вторых, вместо диодов 1N4148 применены более современные диоды 1N4448 (VD1A–VD2B) с меньшим прямым падением напряжения. Всё это позволило поднять частоту выпрямленного напряжения с 10 кГц (в [1]) до 20 кГц (если не включать конденсаторы C1A и C1B, которые совместно с ОУ образуют интегратор или ФНЧ).

Принцип работы аналоговой части аналогичен принципу работы, описанному в [1], поэтому, чтобы не повторяться, он не приводится.

В цифровой части отличия следующие.

Вместо МК EFM8LB12F64 в корпусе QFN24 с программной памятью 64 кБ (в [1]) применён более дешёвый МК EFM8LB10F16 (DD1) в корпусе QFN32 с программной памятью 16 кБ (как будет видно из дальнейшего изложения, программа для МК занимает около 1,7 кБ).

Интерфейс с дисплеем – параллельный однобайтный. Данные (байт)

выводятся с порта P1 (P1.0–P1.7) – сигналы DB7–DB0. В дисплей также передаются сигналы: WR (запись данных), DC (данные/команда), CS (выбор кристалла – Chip Select) и RES (RESET – сброс дисплея).

Шлейф дисплея подключён к 24-контактному разъёму FPC0.5-24-03 (XD) с верхним расположением контактов.

Как следует из справочного листка (datasheet) ST7789, на неиспользуемые выводы (контакты XD) дисплея требуется подавать лог. 1. В связи с этим выводы XD TE, SDA и RD подключены к резистору R1D, который соединён с питанием (+3 В). Вывод IM1/2 определяет, какой тип интерфейса (SPI или параллельный) используется. При подаче лог. 0 на вывод IM1/2 используется параллельный интерфейс, поэтому этот вывод подключён к резистору R2D, соединённому с «землёй». Выводы IOVCC и VCI (питание дисплея) и анод светодиода подсветки (LEDA) подключены к питанию (+3 В). Катод светодиода подсветки (LEDK) подключён к «земле» через резистор R3D; в этом случае ток через светодиод подсветки составляет около 13 мА, что соответствует типовому значению. В некоторых случаях в подобных дисплеях устанавливают транзистор с соответствующей обвязкой, на базу которого подают сигнал BLK, позволяющий использовать ШИМ для уменьшения потребления тока (как правило, в устройствах с батарейным питани-

ем). Но в данном случае необходимости в таком транзисторе нет, и подсветка включена постоянно.

Как можно заметить из схемы, биты данных (сигналы DB0–DB7) подключены к порту P1 таким образом, что бит P1.0 соответствует биту DB7, P1.1 – DB6, ..., P1.7 – DB0, или, другими словами, байт, выводимый через порт P1, имеет обратный порядок расположения бит по сравнению с порядком бит, требующимся для правильной передачи информации в дисплей. Эта особенность связана исключительно с оптимальностью разводки платы (см. далее), а обратный порядок бит может быть легко скомпенсирован программными средствами, при этом, как будет видно из дальнейшего изложения, на скорость обмена информацией МК с дисплеем эта особенность абсолютно не повлияет.

Питание платы (DA2, DA3, разъём ХП) и программирование МК (разъём XB, цепочка R1R2C1) организованы аналогично устройству, описанному в [1].

## Разводка и внешний вид платы

Разводка (рис. 2а, б) сделана автором с помощью программы Sprint LayOut V.6. Размер платы по сравнению с платой в [1] уменьшился на 1 мм (25×25 мм против 25×26 мм в [1]). Сама плата (рис. 2в) приклеена пористой лентой с двусторонним липким слоем к стеклотекстолитовой пласти-

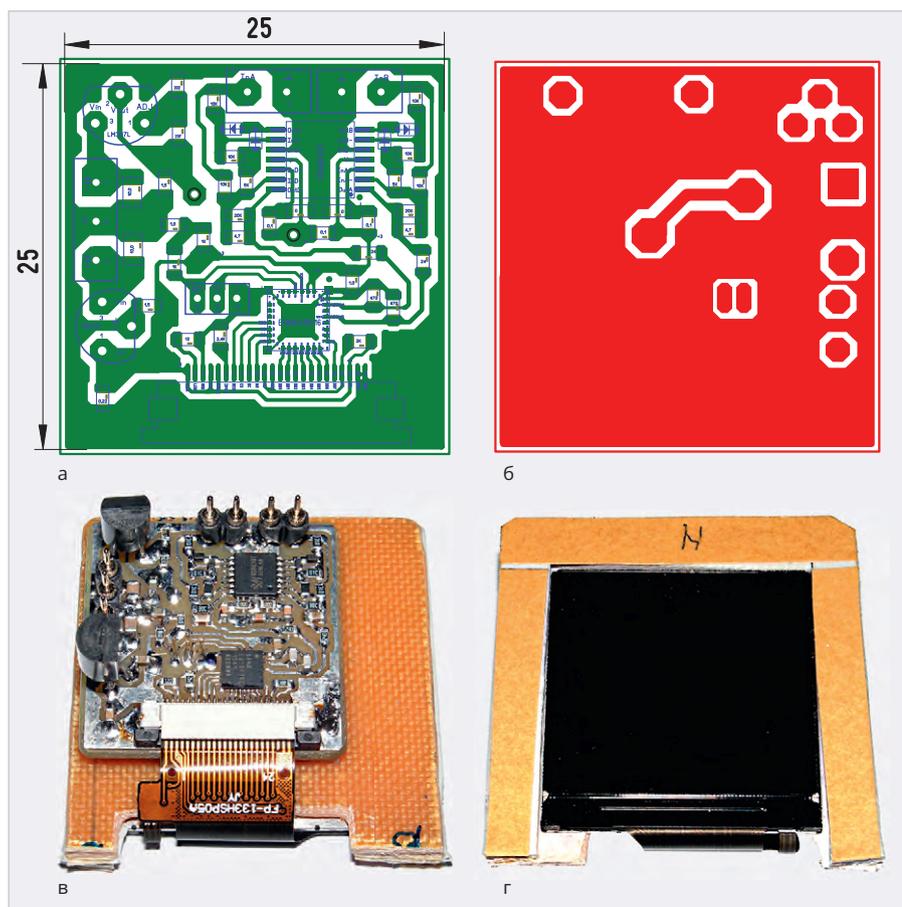


Рис. 2. Разводка и внешний вид платы: а, в – вид со стороны расположения компонент; б, г – вид с обратной стороны; д – укрупнённый вид МК

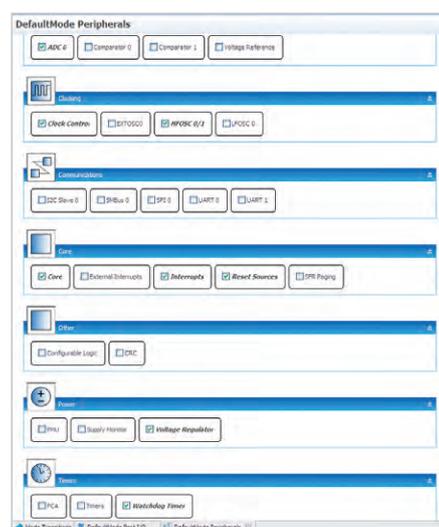


Рис. 3. Общее меню настроек

не, размерами на 5 мм больше размеров дисплея. Дисплей (рис. 2г) приклеен с обратной стороны к этой же пластине тонкой лентой с двусторонним липким слоем. Его шлейф перегнут через вырез в пластине и вставлен в соответствующий разъём на плате. По трём сторонам пластины к ней также тонкой лентой с двусторонним липким слоем приклеены три пластиковые пластины толщиной 1,5 мм, что

приблизительно на 0,15–0,2 мм больше толщины дисплея. Это сделано для того, чтобы после приклейки этих пластин к внутренней поверхности лицевой панели корпуса усилителя дисплей не касался этой поверхности во избежание повреждения. Как можно заметить из рис. 2г, с ленты ещё не снят защитный слой вощёной бумаги (жёлтого цвета). Она будет снята непосредственно перед приклейкой устройства.

Как можно заметить из разводки (рис. 2а), внешнего вида платы (рис. 2в) и укрупнённого вида МК (рис. 2д), контакты дисплея (DB0–DB7) и контакты порта P1 (P1.0–P1.7) МК расположены в обратном порядке (об этом уже упоминалось выше), что позволило сделать дорожки, соединяющие эти контакты, наиболее короткими. Это же касается и всех остальных дорожек для сигналов (RES, DC, CS и WR). При тактовой частоте МК 72 МГц длительность некоторых импульсов составляет не более 14 нс, и, чтобы эти импульсы подавались без искажений, длина дорожек должна быть как можно меньше, что и сделано. А обратный порядок расположения бит, как уже упоминалось выше,

скомпенсирован программными средствами (см. далее).

Здесь необходимо добавить следующее. При изготовлении платы в контактные площадки, отмеченные чёрными кружками на разводке (рис. 2а), необходимо вставить тонкий (0,2–0,3 мм) лужёный медный провод и пропаять его с двух сторон платы. Контактные площадки всех разъёмов и выводов микросхем стабилизаторов также необходимо пропаять с двух сторон платы. Кроме того, на торцевых поверхностях корпуса МК по углам расположены небольшие контактные площадки (по 2 в каждом углу), которые соединены с «землёй» МК. Эти контактные площадки необходимо соединить припоем с контактными площадками на плате, расположенными с трёх сторон корпуса МК и отмеченными на разводке как «земляные» («GND» и перевёрнутая буква «Т») – см. рис. 2д.

### Программные средства

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

Общее меню настроек (рис. 3) отличается от аналогичного меню в [1] только тем, что из него исключён интерфейс SPI. Все остальные настройки (кроме портов МК) – те же, что и в [1], поэтому, чтобы не повторяться, они не приводятся.

Порты (рис. 4) настраиваются следующим образом. P0.1, P0.2 и P0.4 настраиваются как аналоговые входы (Analog I/O, пример – на рис. 4б) и, кроме того, должны быть пропущены командами skip (они отмечены красными крестиками).

Порты P1.0–P1.7 и P2.1–P2.4 настраиваются как цифровые выходы (Digital Push-Pull Output, пример – на рис. 4в).

Все остальные неиспользуемые порты настраиваются как цифровые входы (Digital OpenDrain I/O – пример на рис. 4г).

Таким образом, порты корпуса рис. 4а как раз и соответствуют разводке – рис. 2д.

Теперь по поводу подпрограмм (п/п) и основной программы.

Вначале об обратном порядке бит в байте. В Интернете автор обнаружил массу п/п, которые изменяют порядок бит в байте на обратный. Однако все они состоят из нескольких операторов, включая операторы сдвига и некоторые другие. Естественно, такие п/п выполняются достаточно долго и поэ-

тому автора не устроили. Единственно, что автору понравилось, – это интересная п/п, основанная на табличном преобразовании. Она приведена ниже. Её суть в том, что входной байт (uint8\_t x) является индексом соответствующего элемента массива (code uint8\_t table[]), расположенного в памяти программ (code) и состоящего из 256 байт. Например, если  $x = 0x00$ , то в нулевом элементе массива расположен искомый байт, который в данном случае также равен  $0x00$ . Если  $x = 0x01 = 00000001_2$ , то искомый байт должен быть равен  $10000000_2 = 0x80$ , чему и равен 1-й элемент массива. Если  $x = 0x02 = 00000010_2$ , то искомый байт должен быть равен  $01000000_2 = 0x40$ , чему и равен 2-й элемент массива, и так далее, вплоть до последнего элемента массива, который равен  $0xff$ .

Обращение к этой п/п очень простое: если требуется получить байт (byte) с обратным порядком бит, то исходный байт (byte\_in) требуется подставить в качестве аргумента в эту функцию: `byte = reverse_byte(byte_in)`. Естественно, такая таблица потребует дополнительно 256 байт программной памяти, однако, как будет видно из дальнейшего изложения, это абсолютно не критично, так как вся программа занимает около 1,7 кБ программной памяти МК, составляющей 16 кБ. С другой стороны, эта п/п выполняется очень быстро, так как состоит всего из одного оператора (листинг 1).

Для вывода байта по параллельному интерфейсу используется следующая п/п (листинг 2), которая состоит всего из трёх команд: в порт P1 выводится исходный байт (byte), далее бит записи WR устанавливается в высокий уровень, а затем в низкий.

П/п (листинг 3) используется для вывода однобайтных команд и данных в дисплей при его инициализации и установки области экрана, в которую необходимо записать информацию. С использованием п/п `reverse_byte(byte_in)` и `outbyte(uint8_t byte)`, описанных выше, обе п/п представлены ниже. Обращение к этим двум п/п, естественно, занимает некоторое время, однако, поскольку п/п вывода команды и данных используются только один раз, это время не критично. Это же касается п/п установки области экрана (см. далее), так как она используется не более 3 раз при построении каждой гистограммы.

Другое дело, если требуется вывести большой массив 2-байтных данных в

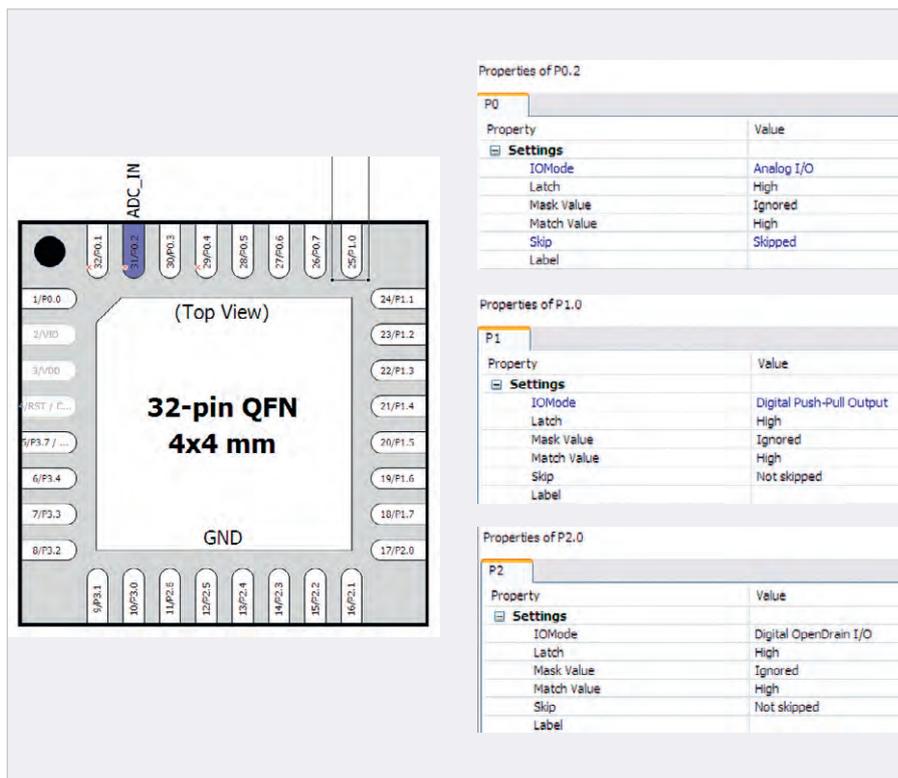


Рис. 4. Настройка портов МК: а – корпус МК с портами, б – аналоговые входы, в – цифровые выходы, г – цифровые входы

#### Листинг 1. Подпрограмма инвертирования байта

```
//-----
uint8_t reverse_byte(uint8_t x) {
    code uint8_t table[] = {
        0x00, 0x80, 0x40, 0xc0, 0xa0, 0x60, 0xe0,
        0x10, 0x90, 0x50, 0xd0, 0x30, 0xb0, 0x70, 0xf0,
        0x08, 0x88, 0x48, 0xc8, 0x28, 0xa8, 0x68, 0xe8,
        0x18, 0x98, 0x58, 0xd8, 0x38, 0xb8, 0x78, 0xf8,
        0x04, 0x84, 0x44, 0xc4, 0x24, 0xa4, 0x64, 0xe4,
        0x14, 0x94, 0x54, 0xd4, 0x34, 0xb4, 0x74, 0xf4,
        0x0c, 0x8c, 0x4c, 0xcc, 0x2c, 0xac, 0x6c, 0xec,
        0x1c, 0x9c, 0x5c, 0xdc, 0x3c, 0xbc, 0x7c, 0xfc,
        0x02, 0x82, 0x42, 0xc2, 0x22, 0xa2, 0x62, 0xe2,
        0x12, 0x92, 0x52, 0xd2, 0x32, 0xb2, 0x72, 0xf2,
        0x0a, 0x8a, 0x4a, 0xca, 0x2a, 0xaa, 0x6a, 0xea,
        0x1a, 0x9a, 0x5a, 0xda, 0x3a, 0xba, 0x7a, 0xfa,
        0x06, 0x86, 0x46, 0xc6, 0x26, 0xa6, 0x66, 0xe6,
        0x16, 0x96, 0x56, 0xd6, 0x36, 0xb6, 0x76, 0xf6,
        0x0e, 0x8e, 0x4e, 0xce, 0x2e, 0xae, 0x6e, 0xee,
        0x1e, 0x9e, 0x5e, 0xde, 0x3e, 0xbe, 0x7e, 0xfe,
        0x01, 0x81, 0x41, 0xc1, 0x21, 0xa1, 0x61, 0xe1,
        0x11, 0x91, 0x51, 0xd1, 0x31, 0xb1, 0x71, 0xf1,
        0x09, 0x89, 0x49, 0xc9, 0x29, 0xa9, 0x69, 0xe9,
        0x19, 0x99, 0x59, 0xd9, 0x39, 0xb9, 0x79, 0xf9,
        0x05, 0x85, 0x45, 0xc5, 0x25, 0xa5, 0x65, 0xe5,
        0x15, 0x95, 0x55, 0xd5, 0x35, 0xb5, 0x75, 0xf5,
        0x0d, 0x8d, 0x4d, 0xcd, 0x2d, 0xad, 0x6d, 0xed,
        0x1d, 0x9d, 0x5d, 0xdd, 0x3d, 0xbd, 0x7d, 0xfd,
        0x03, 0x83, 0x43, 0xc3, 0x23, 0xa3, 0x63, 0xe3,
        0x13, 0x93, 0x53, 0xd3, 0x33, 0xb3, 0x73, 0xf3,
        0x0b, 0x8b, 0x4b, 0xcb, 0x2b, 0xab, 0x6b, 0xeb,
        0x1b, 0x9b, 0x5b, 0xdb, 0x3b, 0xbb, 0x7b, 0xfb,
        0x07, 0x87, 0x47, 0xc7, 0x27, 0xa7, 0x67, 0xe7,
        0x17, 0x97, 0x57, 0xd7, 0x37, 0xb7, 0x77, 0xf7,
        0x0f, 0x8f, 0x4f, 0xcf, 0x2f, 0xaf, 0x6f, 0xef,
        0x1f, 0x9f, 0x5f, 0xdf, 0x3f, 0xbf, 0x7f, 0xff
    };
    return table[x];
}
```

каждый пиксел гистограммы. В этом случае обращение как к п/п вывода байта (`outbyte(uint8_t byte)`), так и к п/п `reverse_byte(byte_in)` будет занимать существенное время, поскольку указанный массив данных насчитывает несколько тысяч байт (см. далее). Поэтому, во-первых, поскольку про-

#### Листинг 2. Подпрограмма вывода байта по параллельному интерфейсу

```
void outbyte(uint8_t byte) {
    P1 = byte;
    WR = 1;
    WR = 0;
}
```

**Листинг 3. Подпрограммы вывода однобайтных команд и данных в дисплей**

```
//-----
void outcmd(uint8_t byte_in) { //вывод команд
  uint8_t byte;
  byte = reverse_byte(byte_in);
  DC = 0;
  CS = 0;
  outbyte(byte);
  CS = 1;
}

//-----
void outdat(uint8_t byte_in) { //вывод данных
  uint8_t byte;
  byte = reverse_byte(byte_in);
  DC = 1;
  CS = 0;
  outbyte(byte);
  CS = 1;
}
```

**Листинг 5. Подпрограммы работы с дисплеем**

```
//-----
// определение области экрана для заполнения
void SetWindow(uint8_t startX, uint8_t startY, uint8_t stopX, uint8_t stopY) {
  outcmd(0x2A);
  outdat(0x00);
  outdat(startX);
  outdat(0x00);
  outdat(stopX);
  outcmd(0x2B);
  outdat(0x00);
  outdat(startY);
  outdat(0x00);
  outdat(stopY);
}
//-----

// заливка всего дисплея цветом
void LCD_Fill(uint16_t color) {
  uint16_t i; //16
  SetWindow(0, 0, 239, 239); outcmd(0x2C);
  DC = 1;
  for (i = 0; i < 57600; i++) { //240*240=57600
    outdat16(color);
  }
  outcmd(0x2C);
  outcmd(0x29);
}

//-----

// заливка области экрана цветом
void FillWin(uint8_t startX, uint8_t startY,
  uint8_t stopX, uint8_t stopY, uint16_t color) {
  uint16_t i, j;
  SetWindow(startX, startY, stopX, stopY);
  outcmd(0x2C);
  j = ((stopX - startX) + 1) * ((stopY - startY) + 1);
  DC = 1;
  for (i = 0; i < j; i++) {
    outdat16(color);
  }
  outcmd(0x2C); // запись в память дисплея
}
```

**Листинг 4. Подпрограмма записи двух байтов цвета**

```
//----outdat16-----
void outdat16(uint16_t wor) {
  U.US = wor;
  CS = 0;
  P1 = U.UB[0]; //Ст.б.
  WR = 1;
  WR = 0;
  CS = 1;
  CS = 0;
  P1 = U.UB[1]; //Мл.б.
  WR = 1;
  WR = 0;
  CS = 1;
}
//-----
```

го вначале установлено совмещение двухбайтного слова с массивом из двух однобайтных элементов:

```
/ / - - - - -
union {
  uint16_t US; // U.UB[0]
- Ст.б.
  uint8_t UB[1]; // U.UB[1]
- Мл.б.
} U; // U.US - 2-байтное
uint16_t число.
//-----
```

С использованием этого совмещения п/п записи двух байтов цвета в каждый пиксель представлена на листинге 4.

Как видно из этой п/п, запись каждого из двух байтов происходит за 5 тактов (начиная с CS = 0; по CS = 1;), каждый из которых при тактовой частоте 72 МГц занимает около 14 нс, т.е. всего 14 нс × 5 = 70 нс. Если каждая гистограмма имеет ширину 40 пикселей и высоту 240 пикселей, т.е. состоит из 9600 пикселей, то для передачи двух байтов в каждый пиксел двух гистограмм потребуется передать 9600 × 2 × 2 = 38 400 байтов (см. выше). Умножив это количество байтов на 70 нс, получим: 38 400 × 70 нс = 2 688 000 нс = 2,688 мс ≈ 2,7 мс, что соответствует частоте обновления экрана дисплея  $F = 1/2,7 \text{ мс} = 0,3704 \text{ кГц} \approx 370 \text{ Гц}$ , что, как уже говорилось, в 2–4 раза превышает частоту обновления экранов современных телевизоров и мониторов (100–200 Гц).

Следующие три п/п (листинг 5) определяют область экрана для заполнения данными, заливку всего дисплея определённым цветом (она входит в п/п инициализации дисплея) и заливку определённой области экрана определённым цветом.

П/п АЦП в настоящей программе та же самая, что и в [1]; она подробно

грамма использует всего три цвета: синий (BLUE), зелёный (GREEN) и красный (RED), имеет смысл заранее перевернуть все байты этих цветов (их всего 6 штук). Автором это сделано вручную и представлено ниже. В этом случае обращение к п/п reverse\_byte(byte\_in) уже не потребуется, и указанные двухбайтные слова побайтно будут выводиться напрямую в порт P1.

```
##define BLUE 0x000f //синий
#define BLUE 0x00f0 //синий
инверсный
```

```
##define RED 0xF880 //крас-
ный
#define RED 0x1F01 //красный
инверсный
##define GREEN 0x07E0 //зелё-
ный
#define GREEN 0xE007 //зелё-
ный инверсный
```

Во-вторых, чтобы не обращаться к п/п outbyte(uint8\_t byte), процедура записи байта в дисплей (манипуляции битами CS, WR и вывода байта в порт P1) внесена в само тело п/п вывода двухбайтного кода цвета. Для это-

описана, поэтому, чтобы не повторяться, не приводится. Здесь необходимо только напомнить, что максимальное значение напряжения, измеренного АЦП, составляет 2,2 В, что соответствует реальному напряжению в 1,1 В, поскольку коэффициент усиления выпрямителя на основе DA1 (рис. 1) равен 2.

По п/п вывода в дисплей гистограммы в зависимости от показания АЦП и номера канала необходимо сделать следующие пояснения.

Поскольку разрешение дисплея составляет 240×240 пикселей, ширина каждой из двух гистограмм принята равной 40 пикселям, а для того чтобы обе гистограммы располагались на дисплее симметрично относительно его центра, расстояние от левого и правого края области экрана дисплея до начала горизонтального расположения гистограмм принято также равным 40 пикселям. Тогда, поскольку отсчёт количества пикселей относительно начала области экрана по горизонтали начинается с нуля (и идёт справа налево), правая гистограмма должна располагаться с 39 по 79 пиксел, а левая – со 159 по 199 пиксел.

Теперь по поводу высоты гистограмм. Поскольку максимальное значение показания АЦП по каждому каналу составляет 2,2 В или 2200 мВ (см. выше), а максимальное разрешение дисплея по вертикали составляет 240 пикселей, имеет смысл принять максимальную высоту гистограмм равной 220 пикселей. В этом случае каждый пиксель будет соответствовать  $2200 \text{ мВ} / 220 = 10 \text{ мВ}$ . А для того чтобы получить реальное значение высоты гистограммы в пикселях, NXP, требуется напряжение UL, измеренное АЦП, разделить на 10:  $NXP = UL / 10$ . Кроме того, как было принято в [1], порог напряжения, измеренного АЦП, при котором начинается область перегрузки, принят равным 0,9 В, или, учитывая коэффициент усиления выпрямителя, равный 2, это напряжение составляет 1,8 В или 1800 мВ, что составляет 180 пикселей (см. выше). В этом случае, если  $NXP < 179$ , то область гистограммы с нуля по NXP закрашивается зелёным цветом, а с NXP по 220-й пиксель – синим, т.е. как фон дисплея. В противном случае область ниже порога, т.е. с 0 по 179-й пиксель (так как отсчёт начинается с нуля) закрашивается зелёным цветом, выше, т.е. со 180-го пикселя по NXP – красным, а

#### Листинг 6. Подпрограмма вывода гистограмм

```
//-----
void outUL(uint16_t UL, uint8_t NK) { //UL - показание АЦП в мВ
uint8_t XS, XE, YS, YE, NXP;
if (NK == 1) { // левая гистограмма
  YS = 159;

  YE = 199;
}

else {
  YS = 39; // правая гистограмма
  YE = 79;
}
//-----
NXP = UL / 10;
if (NXP < 179) {
  XS = 0;
  XE = NXP;
  FillWin(XS, YS, XE, YE, GREEN);
  XS = NXP + 1;
  XE = 220;
  FillWin(XS, YS, XE, YE, BLUE);
}

else {
  XS = 0;

  XE = 179;
  FillWin(XS, YS, XE, YE, GREEN);
  XS = 180;
  XE = NXP + 1;
  FillWin(XS, YS, XE, YE, RED);
  XS = NXP + 2;
  XE = 239;
  FillWin(XS, YS, XE, YE, BLUE);
}
//-----
} // конец п/п
//-----
```

с NXP по максимальное значение 239-й пиксель – синим, т.е. также фоном дисплея.

П/п вывода двух гистограмм приведена на листинге 6, и, с учётом вышеприведённого объяснения, её несложно понять.

### Основная программа

Эта программа (листинг 7) не отличается от программы в [1] и приведена ниже для сведения. Как можно заметить, она зациклена (последний её оператор goto A).

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

```
Program Size: data=34.1
xdata=0 const=256 code=1490
LX51 RUN COMPLETE. 0
WARNING(S), 0 ERROR(S)
Finished building target:
EFM8LB10F16E-C-QFN32.omf
```

Из этого сообщения следует, что программа использует всего 34 байта внутренней оперативной памяти с прямой адресацией (data=34.1), размер которой 128 байт, внешняя дополнительная оперативная память с косвенной адресацией размером 1280 байт не используется вообще (xdata=0), размер кодовой части программы составляет 1490 байт (code=1490) плюс константы

256 байт (const=256) – это та самая таблица для получения обратного расположения бит в байте, итого вся область программной памяти составляет  $1490 + 256 = 1746$  байт, т.е. около 1,7 КБ, что на порядок меньше всей программной памяти МК (16 КБ). 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 (EFM8LB10F16E-C-QFN32.hex) приведена в дополнительных материалах к статье на сайте журнала.

### Конструкция и результаты работы устройства

Как было упомянуто выше, стеклотекстолитовая пластина с дисплеем и платой устройства (рис. 2г) приклеена к внутренней поверхности лицевой части корпуса усилителя. Для этого в ней прорезано прямоугольное окно по размеру видимой области экрана дисплея (рис. 5). Кабели питания и двух сигналов вставлены в соответствующие контакты платы так же, как и в [1] (в связи с простотой фотография не приводится).

По общему виду лицевой поверхности корпуса работающего усилите-

**Листинг 7. Основная программа**

```
// main() Routine
// -----
int main(void) {
// Call hardware initialization routine
enter_DefaultMode_from_RESET();
//-----
WR = 0;
CLS(); // Инициализация ЖКИ
A:

U1 = ACP(1);
DEL2US();
U2 = ACP(2);
U1 = U1 * 3; //2-Ку ИУ;2-Ку ОУ выпрямителя; 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;
}
```



Рис. 5. Внешний вид работающего усилителя с индикатором уровней звука

**Заключение**

Применение МК EFM8LB10, счетверённого относительно высокочастотного ОУ с «нулевым» смещением MS8630 и цветного 1,3" TFT дисплея с разрешением 240×240 пикселей с контроллером ST7789 позволило сконструировать малогабаритный и малоинерционный индикатор уровня звука, который показал отличную работу в составе аудиоусилителя. По стоимости он в несколько раз дешевле аналогичных готовых покупных устройств. Автор рекомендует его для повторения.

**Литература**

1. Кузьминов А. Двухканальный индикатор уровня звука на базе микроконтроллера EFM8LB12 и дисплея OLED 1306 // Современная электроника. 2024. № 4. ©

ля о реальной работе устройства можно судить лишь косвенно по фотографии, т.е. в статике. Поэтому, для того чтобы реально убедиться в работе устройства, в дополнительных материалах к статье приведены два видео \*.mov-файла длительностью 10 (PICT0001.MOV) и 14 (PICT0003.MOV) секунд, снятые фотокамерой с двух разных ракурсов. При просмотре файла PICT0001.MOV обратите внимание, что в некоторые моменты загораются светодиоды перегрузки, расположенные справа (над ручками регулировки громкости (см.

рис. 5)). Эти два видеofайла – фрагменты композиции «Embrace» Armin van Buuren'a из музыкальной категории в стиле «trance», снятые фотокамерой при работе усилителя, когда к нему был подключён телефон, который воспроизводил реальный звуковой \*.mp3-файл. При этом регулятор громкости на усилителе и движок громкости на телефоне были установлены почти на максимум, чтобы показать работу устройства при перегрузке, когда верхняя часть гистограмм окрашивается в красный цвет.



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

# Аккумулятор 18650 для радиоканала и интерфейса 1WIRE

Андрей Шабронов

Аккумуляторы 18650 имеют рабочие напряжения 3...4,2 В, что не позволяет использовать их непосредственно в схемах с 5-вольтовым питанием. В статье предложено схемное решение формирования требуемого значения напряжения методом накопления импульсов самоиндукции от дросселя. С целью уменьшения потребления энергии формируется режим «сна» для используемого микроконтроллера 12F675 и радиомодуля HC12 в комбинации с отключением общего провода других потребителей энергии электронным ключом на полевом транзисторе. Приведена методика расчёта длительности работы на аккумуляторе в режиме «измерение-сон».

## Введение

Микроконтроллер (МК) 12F675 [1] в режиме «сон» потребляет несколько микроампер, что позволяет его использовать в схемах с автономным питанием. Такой режим подходит для объектов с большим периодом измерений, например, для термометрии зерна в элеваторах. Для создания устойчивого постоянного напряжения 5 вольт, которое необходимо в работе цифровых датчиков температур DS1820 с интерфейсом 1WIRE, используется преобразование импульсов самоиндукции внешнего дросселя. Импульсы формирует МК от внутреннего тактового генератора 4 МГц и передаёт их на установленный вывод.

В режиме «сна» тактовый генератор МК не работает. Таким образом, нет импульсов и нет «холостого» потребления энергии. Кроме того, электронный ключ на полевом транзисторе отключает всех потребителей питания 5 В от общего провода и тем самым пол-

ностью исключает потребление ими энергии.

## Схема преобразователя напряжения для радиоканала на МК 12F675

Принципиальная схема преобразователя напряжения для радиоканала на МК 12F675 с фотографиями сопутствующих элементов представлена на рис. 1.

Назначение элементов и работа схемы.

- На разъём J3 подключаются входные сигналы радиомодуля HC12, по которым передаётся и принимается информация радиобмена.
- Установлен такой режим работы МК, при котором на выводе GP4 (3) выдаётся сигнал, равный по частоте сигналу тактового генератора МК. Такой режим предусмотрен при работе МК с тактированием других внешних устройств. Другие выводы МК настроены в соответствии

с функцией управления и преобразования.

- Сигнал генерации поступает на два транзистора Q2 и Q3. Транзистор Q2 (2N7000) формирует импульсы самоиндукции на катушке L1. Диод D1 (1N5817) выпрямляет импульсы, а конденсатор C1 (2 мкФ) выполняет накопление получаемого выпрямленного напряжения. При изменении питания от аккумулятора 18650 [2] в интервале 2,2...4,2 В формируется постоянное напряжение в интервале 6...15 В.
- Светодиод D2 сигнализирует о работе схемы и формировании напряжения.
- Транзистор Q3 (2N7000) при наличии импульсов от МК открыт, поскольку через диод D3 формируется напряжение на интегрирующей цепи R5C4. Если импульсов от МК нет, то конденсатор C4 разряжается через R5, и транзистор Q3 закрывается. Элементы формирования 5 В (R1,2 C1,2 Q1) с датчиками шины 1WIRE отключаются от общего провода и, таким образом, не потребляют энергию аккумулятора.
- На разъём J1 подключается внешняя шина интерфейса 1WIRE для получения данных от температурных датчиков DS1820 [5].
- Предварительно радиомодуль HC12 переводится в режим «сна» программно по командам от МК и выводится из режима «сна» тоже программно, через вывод для установки режимов CON (5).
- Микросхема Q1 (LP2590) стабилизирует меняющееся напряжение до 5 В для устойчивой работы шины 1WIRE.
- Сопротивление R1 задаёт рабочий ток шины 1WIRE в качестве «подтягивающего» элемента.
- Для измерения напряжения аккумулятора 18650 используется опорное напряжение 5 В через делитель  $\frac{1}{2}$  на сопротивлениях R2, R4. Таким образом, значение АЦП U1 (GP2) сравнивается с питающим напряжением МК. Параметрический линейный стабилизатор Q1 (LP2590) обеспечивает стабильность на уровне 1% от входного напряжения. Следовательно, и точность измерения АЦП не

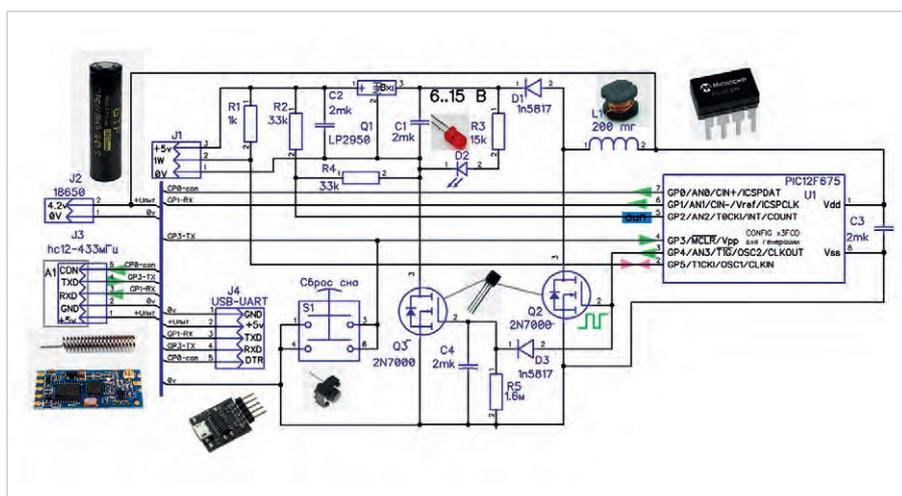


Рис. 1. Схема преобразователя напряжения для радиоканала на МК 12F675

может превысить 1%. Поэтому информация уровня напряжения аккумулятора передаётся одним байтом.

- Для прерывания режима «сна» предусмотрена кнопка «сброса сна» S1. При её нажатии МК «пробуждается», выдаёт свои данные о температуре и ожидает новую команду. Если команды не последовало, то МК переходит в режим «сна» со старыми значениями периода.
- Второй вариант смены режима периода опроса предусмотрен при передаче данных. Если нет команды на смену режима после передачи данных, то он не меняется.
- Данные о периоде «сна» записываются в перепрограммируемой постоянной памяти (EEPROM) МК.
- Пользователь может настраивать свои параметры периода опроса шины 1WIRE.
- Для настройки радиомодуля HC12 в требуемый режим и проверки работы МК предусмотрен разъём J4 (USB-UART). При подключении платы USB-UART преобразователь получает питание от USB-шины компьютера.

Дополнительно предусмотрен индивидуальный адрес МК преобразователя при обращении через радиомодуль HC12. Это создаёт возможность использования однотипных модулей по принципу радиосети. Элементы схемы допускается заменить на любые отечественные или зарубежные аналоги.

Программное обеспечение на МК аналогично предложенному в авторской работе [3], где выполняется сбор данных 1WIRE с внешним питанием. В представленном преобразователе с автономным питанием сформирован режим «сон-измерение» и сбор данных с использованием радиомодуля HC12.

Программа **uart\_m433\_hc12.exe** имеет открытый код, подготовлена на языке FORHT [7], доступна для пользователей и находится в [4].

## Конструкция преобразователя

Все элементы преобразователя размещены на печатной плате. На рис. 2 показана 3D-модель печатной платы с установленными элементами. МК устанавливается через переходную колодку для возможности перепрограммирования на другие условия эксплуатации.

Принципиальная схема (файл **433hc12\_v1.dch**), печатная плата (файл **433hc12\_v1.dip**) подготовлены в редакторе DIP-TRACE и находятся в архиве **433hc12\_v1.zip** каталога [4].

## Расчёт времени работы преобразователя на аккумуляторе 18650

Наличие режима «сна», периодичность работы и информация о потребляемом токе позволяют заранее оценить длительность работы.

Определим исходные параметры для «среднего» обмена по сбору данных, например, в элеваторе:

- ток потребления в режиме обмена данными до 60 миллиампер;
- время работы на обмен данными до 10 секунд;
- период чтения данных 120 минут (2 часа);
- ёмкость батареи 2000 миллиампер-часов [2].

Для понимания принципа пересчёта выполним действия в наглядных единицах измерения. Энергию, затраченную на измерение, «растягиваем» на наглядный интервал измерения.

Принимаем, что в режиме «сна» энергию не потребляем.

- Энергию, равную 10 секунд  $\times$  60 миллиампер, «растягиваем» на 1 минуту. Умножаем время на 6 и, соответственно, делим потребляемый ток на 6. Получаем эквивалентную энергию 60 секунд  $\times$  10 миллиампер.
- Энергию, равную 60 секунд  $\times$  6 миллиампер, «растягиваем» на 60 минут. Умножаем время на 60 и, соответственно, делим потребляемый ток на 60. Получаем эквивалентную энергию 3600 секунд (1 час)  $\times$  0,1 миллиампера.
- Энергию, равную 1 час  $\times$  0,1 миллиампера, «растягиваем» на 2 часа. Получаем эквивалентную энергию 2 часа  $\times$  0,05 миллиампера.

Итого, общий ток на период измерения равен 0,05 миллиампера.

Таким образом, общее время работы получаем  $2000/0,05 = 40\,000$  часов.

Окончательный расчёт:  $40\,000/24 = 1666,6\dots$  суток, или примерно 4 года.

Результаты имеют только расчётный характер и действительны для идеальных аккумуляторов.

Необходимо учитывать саморазряд аккумулятора в зависимости от типа изготовления, а также температурные режимы работы. Это может значительно сократить расчётное время.

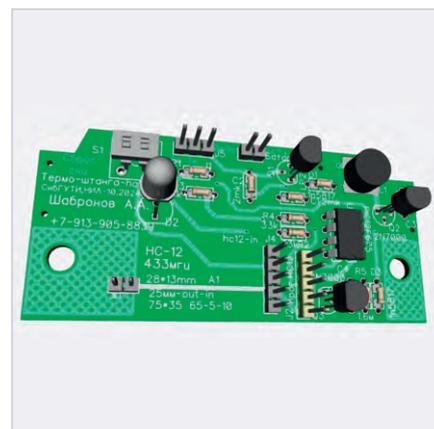


Рис. 2. 3D-модель печатной платы преобразователя

Кроме того, проверить, заряжен ли аккумулятор и насколько он заряжен, затруднительно без специальных измерительных устройств. Да и сама проверка зарядки тоже разряжает аккумулятор.

## Заключение

В предлагаемой схеме с автономной работой сбора данных заложена возможность эксплуатации преобразователя и термометрии более года без замены источника питания. Если имеется «возобновляемый» источник энергии, например, солнечные батареи, то данная схема формирует возможность «бесконечного» обмена данными в системе термометрии. Преобразование интерфейса программное, что позволяет менять требуемый протокол подключаемых устройств.

## Литература

1. Описание 12F675. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/710/DOC011710931.pdf>.
2. Данные на аккумулятор 18650. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/333/DOC005333343.pdf>.
3. «Тройник» для интерфейса 1-wire // Современная электроника. 2023. № 6. С. 24. URL: <https://www.soel.ru/rubrikator/inzhenernye-resheniya/>.
4. Каталог программы, схемы и платы. URL: [http://90.189.213.191:4422/temp/agromontag\\_433m\\_hc12/test/](http://90.189.213.191:4422/temp/agromontag_433m_hc12/test/).
5. Датчики DS18B20. URL: <https://radioparty.ru/programming/avr/c/377-lesson-ds18b20>.
6. Радиомодули HC12. URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/radiomodul-hc-12/>.
7. Описание языка Форт spf4.exe, автор версии А. Черезов. URL: <http://www.forth.org.ru/>.



# Биометрические системы, информационные киоски (БИК), турникеты и шлюзы с АСО. Обзор оборудования, компонентов и особенностей установки

Вадим Экземплярский

Повсеместно биометрическую идентификацию рассматривают как перспективный инструмент для быстрых и безопасных операций почти универсального (в самых различных сферах) применения. Несколько лет назад появились биометрические информационные киоски, турникеты и шлюзы. Эти модели постоянно совершенствуются. О новинках, связанных с расширением функционала и защиты современного оборудования, ставших возможными профессиональными усилиями разработчиков РЭА и производителей оборудования, предлагаем ознакомиться в нашем обзоре. Основной акцент в формате импортозамещения современной электроники сделан на серийные модели отечественных производителей.

## БИК и другие

Биометрические информационные киоски (БИК) – сенсорные устройства с расширенной функциональностью. Основной акцент при разработке модельного ряда – на возможности любого метода биометрической идентификации (отпечатки пальцев, рисунок вен ладоней, лицо, радужная оболочка глаз, голос и др.). О классификации и стандартизации биометрических информационных киосков (БИК) мы писали три года назад в [9]. Однако за 3 года линейка оборудования обновилась, кроме того, проблемные вопросы совершенствования и защиты оборудования от несанкцио-

нированных внешних воздействий требуют внимания специалистов. Сегодня, когда БИК выпускается в разных исполнениях: напольном, мобильном и тумбовом (настенном), угол наклона экрана, высота столешницы, диапазон работы сканера продуманы для максимального удобства и быстрого обслуживания. Это отдельное направление развития в сфере дизайна – сфере, в которой задействованы значительные ресурсы. В стандартную комплектацию БИК входят: монитор, материнская плата, модуль оперативной памяти, жёсткий диск, блок питания, акустическая система, ИБП, и опционально модули оснащаются сенсорным

экраном, клавиатурой или средствами видеонаблюдения. Современные БИК воплотили востребованную версию «биометрической проходной» в режиме online без установки специального ПО – при подключении электропитания такое оборудование сразу готово к работе. Мы свидетельствуем о новых трендах современных разработчиков – универсальном устройстве «три в одном»: терминал сбора биометрических данных, терминал биометрической идентификации с верификацией личности и исполнительный узел – печать данных на электронный (карта, смартфон) или бумажный носитель (билет), разрешение на проход (турникет, шлюз). Пример БИК модели P8L Q10 представлен на рис. 1.

Биометрический киоск получил иммерсивную систему камер. Он оснащён звуковым и тактильным вспомогательным интерфейсом для навигации и выбора экранного контента и знаков Брайля для помощи пассажирам с ослабленным зрением. Высокое быстродействие терминала P8L, рассчитанного на визуализацию данных, достигается за счёт использования мощного 4-ядерного процессора с частотой 1,4 ГГц. Применяется широко – для сбора данных в банках и государственных организациях, для идентификации при продаже SIM-карт, регистрации граждан и переписи населения, для проверки личности в пунктах пограничного контроля. Устройство рассчитано на сбор биометрии разных видов: отпечатков пальцев FAP60 (Fingerprint Acquisition Profile), изображений лиц, образцов голоса. Предусмотрена функция верификации (сравнения биометрических данных с собранными ранее образцами). Одна из новаций современности – сравнительный анализ информации о персональных данных, используемой для идентификации пользователя не



Рис. 1. Внешний вид типичного БИК модели P8L Q10

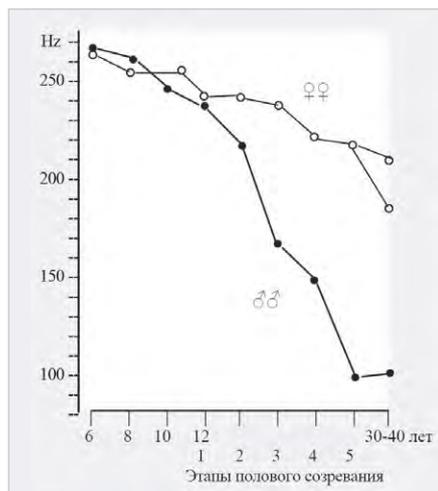


Рис. 2. График изменений частоты голоса у мужчин и женщин в зависимости от возраста по С.В. Геодакяну

столько в БИК, сколько в биометрических турникетах, и особенно шлюзах, о чём мы будем говорить на протяжении всей статьи.

### Особенности сравнительного анализа идентификации по голосу

Что касается образцов голоса, то, согласно продолжающимся исследованиям профессора Геодакяна [2], была выявлена зависимость изменения голоса мужчин и женщин от возраста. Профессор предложил ряд сопутствующих выводов о том, что голос может изменяться у человека в любом возрасте – локально, в зависимости от состояния здоровья, а также при лечении андрогенами и эстрогенами. График, предложенный С.В. Геодакяном, представлен на рис. 2.

Электронная идентификация по голосу основана на анализе уникальных характеристик речи, обусловленных анатомическими особенностями (размер и форма горла и рта, строение голосовых связок) и приобретёнными привычками (громкость, манера, скорость речи). Речь человека разбивается на отдельные «звуковые кадры», которые затем преобразуются в цифровую модель. Эти модели принято называть «голосовыми отпечатками». При дальнейшей идентификации сравниваются ранее зарегистрированные и вновь сформированные «голосовые отпечатки». Применяя «Онтогенетическое правило полового диморфизма» по Геодакяну, можно предположить, что частота голоса должна быть выше в детстве и уменьшаться с возрастом,



Рис. 3. Внешний вид терминала Telpro S10

причём у мужчин сильнее, чем у женщин. При экспериментах измеряли изменение основной частоты голоса в зависимости от возраста у 374 испытуемых, начиная с 6 лет. В период с 8 до 10 лет частота голоса снижалась с 259 до 247 Гц у мальчиков, у девочек (до 253 Гц). В период полового созревания наблюдалось значительно более сильное снижение частоты голоса у мальчиков (до 100 Гц) по сравнению с 213 Гц у девочек; данные зарубежных учёных, по которым установлено снижение основной частоты голоса для обоих полов с 298 Гц до 262 Гц и дальнейшее снижение с возрастом, подтверждают выводы российского учёного [2]. Разумеется, таких графиков в зависимости от возраста и пола несколько, и в нашем обзоре они представлены только информативно.

Что касается БИК модели модели P8L Q10 (рис. 1), устройство сконструировано на процессоре Qualcomm (платформа Android 10). Высокую производительность и максимальную скорость сбора и сравнения данных обеспечивают модули памяти 2 ГБ и eMMC 32 ГБ (64 ГБ опционально). 10-дюймовый ЖК-дисплей с ёмкостным сенсорным мультитач-экраном воспринимает до 5 одновременных касаний с удобным пользовательским интерфейсом. Беспроводная связь – 2-диапазонный Wi-Fi и Bluetooth. Для сбора «слепков» лиц и идентификации по лицу приспособлены 2 камеры: первая – встроенная в корпус, 5 МПс, с автофокусировкой, двойной вспышкой и функцией Liveness detection (отличающая живого пользователя от фото или видео) служит для идентификации; вторая – расположенная на откидном кронштейне, 13 МПс, с автофокусом и светодиодной подсветкой использует-

ся для сбора биометрических данных. Для защиты от повреждений и переноса устройство укладывается в футляр. Терминал сертифицирован, соответствует стандартам CE, GMS, NIMC, NCC. Встроенный дактилоскопический сканер FAP60 с высоким разрешением 500 dpi служит для снятия одновременно от 1 до 10 отпечатков пальцев (4-4-2), соответствует требованиям к качеству изображения (IQS) для идентификации нового поколения (NGI).

Кроме высокого разрешения (500 точек на дюйм) и скорости сканирования к преимуществам устройства относят снятие отпечатков пальцев, стабильную работу под прямыми солнечными лучами, фильтрацию скрытых отпечатков, оставленных на экране. Сертификация устройства по стандартам FBI Appendix F & Mobile ID FAP60 гарантирует его точность, надёжность и долговечность и позволяет использовать сканер в любой системе биометрической идентификации. Сопоставимые характеристики имеет биометрический терминал Telpro S10, предназначенный для мультимодальной идентификации: по лицу, голосу, радужке глаза, отпечаткам пальцев. Для этого терминал оборудован соответствующими сканерами. На рис. 3 представлен внешний вид терминала Telpro S10.

Устройство поддерживает идентификацию по документам и картам с помощью встроенного сканера MRZ для чтения электронных паспортов и документов, удостоверяющих личность, считыватель карт IC, бесконтактный кардридер (NFC / RFID), соответствующий стандартам ISO14443 Type A/B, ISO18092, MIFARE, Felica, ISO15693. Имеется и встроенный термопринтер. Для длительной эксплуатации без



Рис. 4. Рисунок вен ладони

источника питания (вне помещений) в комплекте с терминалом поставляется аккумулятор ёмкостью 10 000 мА/ч с адаптером-преобразователем для зарядки от солнечной энергии. Водонепроницаемость и пылезащищённость устройства, а также прочный корпус обеспечивают стабильную работу в уличных условиях. Встроенный термопринтер, рассчитанный на бумагу шириной до 80 мм и диаметр рулона до 80 мм, позволяет распечатывать данные, если это необходимо при идентификации. К примеру, пропуск со штрих-кодом. Улучшенная конфигурация и многофункциональность терминала позволяют использовать устройство в случаях, требующих верификации личности, включая продажу сим-карт, перепись населения, регистрацию граждан, пограничный контроль, eKYC (Electronic Know Your Customer).

К примеру, компания ПРОСОФТ с корпоративным лозунгом «На шаг впереди» на выставках ПТА-2022, где постоянно участвует наш журнал, предложила инновационные решения бесконтактной биометрической идентификации. В частности, защиту ресурсов компании от несанкционированного доступа, интеграцию биометрии с видеонаблюдением – идентификация человека за 3–5 секунд в маске и с измерением температуры тела и даже электронный анализ состояния алкогольного опьянения – запрет доступа на предприятие сотруднику при наличии подозрения на опьянение. В дан-

Таблица 1. Некоторые характеристики новых терминалов сканирования вен ладони человека.

Модель	Терминал PV-WTC	Считыватель PV-WM	Считыватель DCR-PV	Контроллер UniPass
Кол-во биометрических шаблонов	300 000	–	–	300 000
Количество карт	1000 000	–	–	1 000 000
Тип сканера	Оптический, инфракрасный	Оптический, инфракрасный	Оптический, инфракрасный	–
Интерфейс связи	Ethernet, USB	USB	USB	Ethernet, USB
Время идентификации (1:1000)	Не более 2 с	–	–	Не более 2 с
Вероятность ошибочного предоставления доступа, %	0,00008	–	–	0,00008
Вероятность ошибочного отказа доступа, %	1	–	–	1
WIEGAND выход	Есть	–	–	Есть
Исполнение	Накладной, ЖК-дисплей, клавиатура	Накладной	Настольный	Накладной
Формат карт	Em-marine, Mifare, HID Prox, HID iClass, Legic	Em-marine, Mifare, HID Prox, HID iClass, Legic	–	–
Температурный диапазон, °С	0...+50	–40...+50	0...+50	–40...+50
Параметры электропитания	12 В, 1 А	12 В, 0,4 А	5 В, 0,5 А	12 В, 1 А
РоЕ	Да	Нет	Нет	Нет
Размеры, мм	215×150×117	170×150×125	70×154×95	145×100×40

ном контексте контроль температуры тела – уже состоявшийся, пройденный этап. Вероятно, в перспективе ожидается внедрение разработок электронного и автоматизированного сравнения аудиоспектра данных (голоса) и экспресс-анализа крови для определения состояния сотрудника перед допуском его к работе. Бренд-менеджером Н. Якубовым на презентации продукции и перспектив ПТА-2022 представлена запатентованная технология сканирования рисунка вен ладони в мультиспектральном ИК-свете в диапазонах 850 и 940 нм (рис. 4).

При этом пыль, грязь, порез или пот не являются проблемой для электронной системы [9]. Оборудование позволяет за 0,2 с корректно идентифицировать человека по его ладони, притом что угол наклона ладони к датчику может быть до 90°.

В табл. 1 представлены сведения о характеристиках новых терминалов сканирования вен ладони человека. На рис. 5 представлен внешний вид терминала PV-WTC.

### Дополнительный функционал

Последнее решение, занимающее небольшую площадь, сочетает в себе новейшую платформу Common Use Self-Service (CUSS) 2.0 и обработку пограничного контроля, включая требования системы въезда/выезда (EES).

Киоск имеет модульную конструкцию для различных конфигураций проездных документов, считыватель штрих-кодов, считыватель карт, сканер отпечатков пальцев и специальную клавиатуру. Модуль принтера настраивается для различных вариантов использования, например, для печати квитанций, посадочных талонов и багажных бирок. Основной акцент при разработке модельного ряда продолжается на возможности применения в составе изделия любого метода биометрической идентификации (отпечатки пальцев, рисунок вен ладоней, видеораспознавание лица, радужная оболочка глаза, голос и др.) [1]. Надо отметить, что это полностью российская разработка.

Благодаря механизмам биометрической идентификации БИК могут предоставлять пользователям принципиально новые возможности персонализированного сервиса, так как оснащены инструментами для аутентификации пользователя. Это позволяет использовать данные изделия под совершенно разные задачи: от точки доступа в корпоративную информационную систему для сотрудников, не имеющих стационарного рабочего места, до применения в центрах предоставления госуслуг «Мои документы» и системах СКУД. Рассматриваемые примеры продукции отличаются функциональной гибкостью. Продуманная



Рис. 5. Внешний вид терминала PV-WTC

архитектура, удобный конструктив и применение промышленных комплектующих позволяют встраивать в изделия практически любые электронные функциональные модули – принтерные системы, включая системы печати на смарт-картах, сканеры документов и штрих-кодов, платёжные системы, фискальные регистраторы, модули считывания меток (RFID/NFC), различные биометрические сканеры, диспенсеры билетов/карт/талонов и многое другое. Изделия проектируются исходя из требований работы в режиме 24x7. Выпускаются в «уличном» исполнении (для различных климатических зон), а также в специальном исполнении для эксплуатации в агрессивных производственных средах. БИК разрабатывают для коммерческих компаний и промышленных предприятий, а также для пользователей государственных услуг в разных сферах, включая медицинскую. Такое универсальное и надёжное оборудование может быть представлено в виде магистрально-модульных систем с шинной архитектурой. Корпуса и объединительные платы разработаны для стандартов и семейств встраиваемых систем с фиксацией по 4 точкам с шиной ISA в формате Micro PC и CompactPCI (VME, VME64x, VXS, VPX).

Компактные периферийные модули для увеличения функционала встраиваемых систем универсальны посредством имеющихся слотов расширения. Компьютерные процессорные модули, предназначенные для построения встраиваемых систем на специализированной плате-носителе, дополняют одноплатные PC различных форм-факторов со стандартными разъёмами. Модули встраиваемых систем с форм-фактором PC/104 представляют собой одноплатные компьютеры (и периферийные устройства) для построения стековых систем с шинами PC/104,

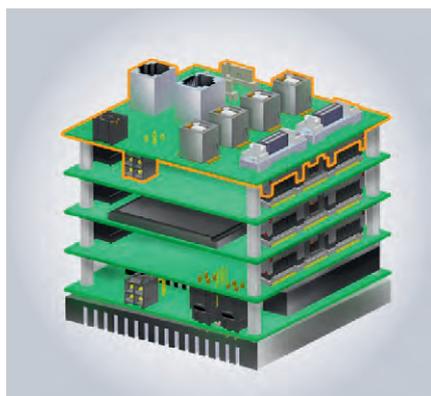


Рис. 6. Конфигурация модульной системы форм-фактора StackPC, применяемого в конфигурации БИК

PC/104+, PCI-104, PCIe/104. Следующее поколение, согласно спецификации StackPC (форм-фактор StackPC), определило стандарт модулей для построения стековых компьютерных систем. В этом формате сочетаются преимущества стандартов PC/104 с новым универсальным коммутационным разъёмом StackPC. На рис. 6 представлен вид конфигурации модульной системы форм-фактора StackPC, применяемого в конфигурации БИК.

В основе конфигурации и управления – одноплатный компьютер на базе процессора Baikal-T1 с шиной StackPC. Как примеры, можно обозначить компьютерные модули с сопоставимыми характеристиками CPB909, KIB1800, CPC1001 и др.

### Компоненты и оборудование

Инфракрасное сенсорное стекло iTouch 17", внешний вид которого представлен на рис. 7, российского производителя ООО «ПК Тачмаш» с высокой заявленной чувствительностью не боится пыли и даже грязи – класс пылезащиты IP68, работает в любых условиях и ОС без дополнительных драйверов. К соединительному кабелю подключается удлинитель-адаптер с выходом на разъём формата USB3.0.

Фискальный регистратор «Казначей ФА» одноимённого отечественного производства предназначен для модернизации платёжных терминалов и АСО, внесён в реестр ККТ на основании приказа ФНС России и соответствует требованиям Федерального закона № 54-ФЗ «О применении контрольно-кассовой техники при осуществлении наличных денежных расчётов и (или) расчётов с использованием платёжных карт Российской



Рис. 7. Инфракрасное сенсорное стекло iTouch 17"



Рис. 8. Внешний вид модуля «Казначей ФА»

Федерации». Внешний вид модуля представлен на рис. 8.

Устройство, где не предусмотрено взаимодействие между покупателем и кассиром, очень много. К ним относятся вендинговые аппараты, автоматические АЗС, в том числе ЭЗС электромобилей, паркоматы и почтоматы, аппараты автоматической продажи билетов (кино, транспорт) и др. Из нового появляются «автоматические туалеты» – такие появились недавно в эстонском городе Выру. Онлайн-касса с компактными размерами и небольшим весом почти универсальна в применении и удобна для пользователей, её можно монтировать в киоск или АСО даже с ограниченным свободным местом внутри корпуса терминала. Переоборудование уже действующих терминалов осуществляется с помощью библиотеки драйверов, через протокол работы ККТ или посредством модуля мониторинга. Дополнительный «плюс» – устройство взаимодействует со всеми современными моделями термопринтеров для печати на чековой ленте.

### Особенности подключения

Подключение фискального регистратора и купюроприёмника в протоколе Pulse для БИК производится с некоторыми особенностями. Разберём



Рис. 9. Вид соединительного провода WEL-RV701

их на примере купюроприёмника ICT A7/V7/BS7 [6]. Для начала необходимо перевести купюроприёмник в протокол PULSE: в передней нижней части купюроприёмника под крышкой расположена колодка микропереключателей SW1-SW4. Крышка сдвигается вниз по направлению стрелки. Переключатель SW2 переводят в режим ON (Pulse Mode). Далее настраивают уровень импульсов под конкретную задачу. Если необходимо, чтобы в режиме ожидания («покоя») на сигнальном проводе купюроприёмника было +5 В, а при внесении денег в момент отдачи импульса сигнал опускался до низкого уровня, SW1 переводят в положение ON (Credit-Pulse Normal HIGH). И наоборот, чтобы в режиме ожидания на сигнальном выводе был низкий уровень, а при внесении денег в момент отдачи импульса сигнал поднимался до уровня +5 В, переводят SW1 в OFF (Credit-Pulse Normal LOW). Эта вариативная возможность сделана разработчиками для универсального применения оборудования в БИК и АСО. Как правило, оборудование работает в режиме Credit-Pulse Normal HIGH. Обычно подходит такая настройка: SW1 и SW2 микропереключатели в состоянии ON, а SW3 и SW4 – в OFF. При подключении купюроприёмника к АСО или БИК применяют соединительный провод WEL-RV701 (в комплекте). С одной своей стороны провод имеет продолговатую чёрную фишку 2×15 выводов, с другой стороны – разъём 3×3. Вид соединительного провода представлен на рис. 9.

Расшифровка проводов по цветам.

Красный – напряжение питания +12 В подключается к соответствующему разъёму источника питания, допуск стабилизированного питающего напряжения ±20% от заявленного номинала.

Оранжевый – GND – подключается к «общему проводу» источника питания.

Жёлтый – INHIBIT(+) отвечает за блокировку/разрешение приёма купюр

Таблица 2. Зависимость функции купюроприёмника от положения демпферов колодок переключателей

ФУНКЦИЯ	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4
Запретить приём 50 рублей	ON											
Разрешить приём 50 рублей	OFF											
Запретить приём 100 рублей		ON										
Разрешить приём 100 рублей		OFF										
Запретить приём 200 рублей			ON									
Разрешить приём 200 рублей			OFF									
Запретить приём 500 рублей				ON								
Разрешить приём 500 рублей				OFF								
Запретить приём 1000/2000 рублей					ON							
Разрешить приём 1000/2000 рублей					OFF							
Резервный переключатель						ON						
Резервный переключатель						OFF						
Кабель отключить							ON					
Кабель включить							OFF					
Запрещающий сигнал высокий								ON				
Запрещающий сигнал низкий								OFF				
1 пульс / 50 руб.									OFF	OFF		
5 пульсов / 50 руб.									ON	OFF		
10 пульсов / 50 руб.									OFF	ON		
50 пульсов / 50 руб.									ON	ON		
Длительность импульсов	50 мс вкл / 50 мс откл										OFF	OFF
	60 мс вкл / 300 мс откл										ON	OFF
	30 мс вкл / 50 мс откл										OFF	ON
	150 мс вкл / 150 мс откл										ON	ON

по управляющему сигналу высокого уровня.

Зелёный – INHIBIT(-) отвечает за блокировку/разрешение приёма купюр по управляющему сигналу низкого уровня – «минус» или «0».

Фиолетовый – SIGNAL(+) является входным сигнальным проводом (управление).

Синий – SIGNAL(-) – выход импульсов, управляющих периферийными элементами и модулями АСО и БИК; подключается к клемме Signal.

Сбоку купюроприёмника находятся 2 колодки микропереключателей (8 и 4 переключателя). Они должны быть в положении OFF, притом что стекер (бокс для денег) установлен и подключён. Затем на питающий провод подают питание +12 В, а соединительный проводник оранжевого цвета подключают к «общему проводу». Мощность источника питания не менее 40 Вт. Затем купюроприёмник, моментально проведя самодиагностику, выходит в один из двух режимов работы:

- режим 1: светодиоды на лицевой панели мигают, купюры принимаются;
- режим 2: светодиоды на лицевой панели не горят, купюры не принимаются, 2 раза мигает светодиод, распо-

ложенный в тыльной части корпуса, что значит: купюроприёмник работает, но заблокирован. Необходимо выполнить одну из 3 схем подключения.

1. У устройства нет выхода INHIBIT (INHIBIT – функция для запрета/разрешения приёма купюр). На боковой гребёнке из 8 переключателей переводят SW8 в положение OFF (Inhibit Active LOW). См. табл. 2.

Схема подключения к автомату будет следующей:

- красный, подключается к питанию +12 В ±20%;
- оранжевый, зелёный и фиолетовый – к «общему проводу»;
- жёлтый подключается к +12 В через резистор 1 кОм ±20%;
- синий, импульсный провод, подключается ко входу Pulse (или Signal) в АСО.

2. У автомата есть выход INHIBIT – управление осуществляется на низком уровне. На купюроприёмнике переводят переключатель SW8 в положение OFF (Inhibit Active LOW).

Схема подключения к БИК и АСО:

- красный подключается к +12 В ±20%;
- оранжевый и фиолетовый – к общему проводу. АСО (БИК) и купюро-

Таблица 3. Кодировка ошибок работы оборудования с их расшифровкой

Горит постоянно	Купюроприёмник исправен
1 вспышка	Замятие купюры
2 вспышки	Заблокирован
3 вспышки	Проблема с сенсорами распознавания
3+2 вспышки	Проблема с механизмом «антифинга»
4 вспышки	Проблема с датчиком «антилеса»
5 вспышек	Отсутствует стекер
6 вспышек	Неисправен или заполнен стекер
7 вспышек	Ошибка мотора

приёмник должны использовать питание от общего источника питания с единым «общим проводом»;

- жёлтый подключается к +12 В через резистор 1 кОм  $\pm 20\%$ ;
- зелёный подключается к выходу INHIBIT на автомате;
- синий, импульсный провод, подключается ко входу Pulse (или Signal) в АСО или БИК.

Если на зелёный провод купюроприёмника подать низкий логический уровень – «минус», запрет на приём купюр будет снят. Если на зелёный провод не подавать «минус», купюроприёмник будет заблокирован.

3. Если на плате управления БИК есть выход INHIBIT, а управление осуществляется сигналами высокого логического уровня, переводят переключатель SW8 в положение ON (Inhibit Active HIGH).

*Схема подключения к БИК следующая:*

- красный подключается к проводнику питания +12 В  $\pm 20\%$ ;
- оранжевый и фиолетовый – к «общему проводу»;
- жёлтый подключается к проводнику питания +12 В через резистор сопротивлением 1 кОм  $\pm 20\%$ ;
- зелёный подключается к выходу INHIBIT на автомате;
- синий, импульсный провод, подключается ко входу Pulse (или Signal) в БИК или АСО.

При подаче на зелёный провод «минуса» питания запрет на приём купюр активирован. Если на зелёный провод не подавать «минус», купюроприёмник будет принимать деньги. Запрет и разрешение на приём купюр управляется низким уровнем через провод зелёного цвета. Когда в конкретной схеме управление осу-



Рис. 10. Внешний вид высокоскоростного встраиваемого термопринтера MS-D347-TLP

ществляется высоким уровнем, зелёный провод подключают к постоянно «общему проводу», переключатель SW8 в положении OFF (Inhibit Active LOW), а жёлтый провод – к INHIBIT устройства. Рассмотренные схемы подключения подходят также моделям ICT U70, P70, B70. Подключение других устройств, работающих в протоколе PULSE, аналогично, но возможны разные цвета проводов. Функционал определяют DIP-переключатели купюроприёмника, расположенные сбоку корпуса модуля в виде двух колодок микропереключателей: большая SW1-SW8 и малая SW1-SW4.

В табл. 2 показана зависимость функции купюроприёмника от положения демпферов колодок переключателей.

Для индикации состояния и ошибок купюроприёмника используется светодиод зелёного цвета, расположенный с тыльной стороны конструкции. В табл. 3 приведены сведения соответствия ошибок работы оборудования с их расшифровкой.

Разумеется, все операции производят при отключённом напряжении питания. Подробнее о сопряжении оборудования можно прочитать в [3], [5].

Высокоскоростной встраиваемый термопринтер MS-D347-TLP с автоматическим резчиком и держателем бумаги представлен на рис. 10. Устройство фирмы Nasung универсально и предназначено для любых терминалов самообслуживания, где требуется печать талонов/чеков.

*Технические характеристики*

- Ширина бумаги: 80 мм
- Толщина бумаги: 54–78 мкм
- Скорость печати: 200 мм/с
- Интерфейс: USB/RS-232
- ОС: Windows/Linux/Android
- Рабочее напряжение: 24 В
- Габариты: 209×130×127 мм



Рис. 11. Внешний вид электронного сканера документов модели SecureScan X50/100/150

- Вес: 1,4 кг

Внешний вид электронного сканера документов модели SecureScan X50/100/150 фирмы Plustek представлен на рис. 11.

Поставляется в трёх модификациях 50/100/150. Устройство предназначено для высокоточного сканирования документов, удостоверяющих личность. Основными отличиями являются диапазон подсветки и напряжение питания:

- X50: белый
- X100: белый + ИК
- X150: белый + ИК + УФ

*Рабочее напряжение:*

- X50: 5 В (USB)
- X100: 5 В (USB)
- X150: 24 В (внешний источник питания)

Устройство может применяться отдельно, например, оно было замечено как элемент системы паспортно-таможенного контроля в пограничной службе, в модулях-постах у консульств иностранных государств, в отделах полиции и у передвижных мобильных групп. Каталоги оборудования (компоненты разных производителей с сопоставимыми характеристиками и универсальным подключением дублируют друг друга) для биометрических киосков и терминалов занимают 5-6 сотен страниц, среди них кассеты для купюроприёмников, NFC-ридеры, клавиатуры, сенсорные экраны (и др.); в конкретике с ними можно ознакомиться самостоятельно. Заметим только, что новые разработки появляются с регулярной систематичностью.

## Биометрические турникеты

Исполнительные устройства в составе СКУД в последние годы пополнились новой линейкой востребованного оборудования. В публикации [9] мы

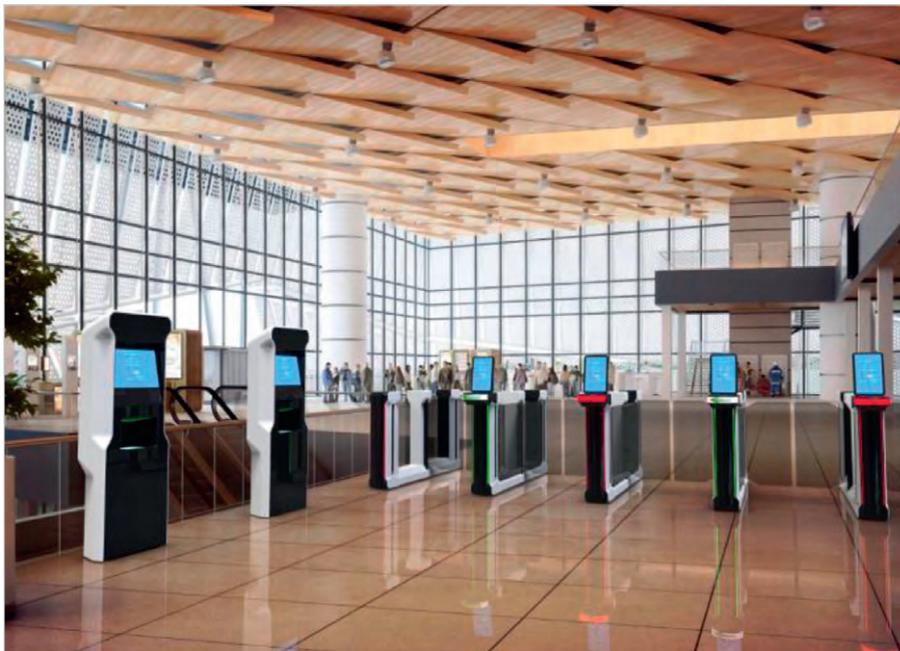


Рис. 12. Внешний вид биометрического турникета фирмы

подробно разбирали классификацию и перспективы БИК и сопутствующего оборудования, однако настоящий обзор призван дополнить её, ибо за три года появилось много усовершенствованных конструкций с условно новым функционалом. Впрочем, надёжность и стандартизация устройств, рассчитанных на безотказную работу в режиме 24×7, осталась на прежнем, высоком уровне. При этом функциональная универсальность, конструктив, архитектура и дизайн турникетов в новых моделях изменились. Эргономика биометрических турникетов (БТ) и БИК – угол наклона экрана, высота, диапазон работы сканера – теперь продумана для максимального удобства и быстрого обслуживания. Это отдельное направление развития в сфере дизайна. Самый простой и доступный пример биометрических турникетов (правда, с минимумом функций) – турникеты в метро Москвы и Петербурга (и др.), каждый из которых, кроме «приёмного» узла, считывающего данные со смарт-карты, оборудован видеокамерой с хорошей разрешающей способностью – на уровне и чуть выше лица человека (среднего роста). К примеру, на станции метро «Ладожская» в Санкт-Петербурге количество турникетов превышает 30. Но гораздо более перспективное значение, связанное с расширенным и увеличивающимся функционалом БТ, они приобретают в условиях «режимных» проходных на предприятиях, а также – что особо важно – в учреждениях с высоким ста-

тисом безопасности, таких, к примеру, как Государственная дума и офис президента. В таких случаях БТ оснащены не только средствами видеонаблюдения, но и датчиками разных назначений, сенсорным экраном, клавиатурой. На рис. 12 представлен вид биометрического турникета; фото из [10].

Ещё один вариант применения БТ полезен в системе учёта рабочего времени как элемент «биометрической проходной». Коснувшись сканера отпечатков пальцев, сотрудник отмечает время прихода на работу или ухода с неё; после идентификации на экран монитора выводится фотография сотрудника (при её наличии), его ФИО и тип зарегистрированного события (приход/уход); возможны также соответствующие звуковые оповещения. Для БТ работает аналогичная (по функционалу БИК) версия «биометрической проходной», не требующая установки специального ПО, она загружается из браузера и в автоматическом режиме передаёт серверу информацию о времени зафиксированных приходов/уходов. Из отечественных производителей и поставщиков БИК, БТ и шлюзов известны PERCo, OXGARD, OMA, PFORT, PROSOFT (и др.), а среди зарубежных производителей – Gotschlich и др. Согласно материалам конференции ПТА-2022, прошедшей в прошлом году в нескольких городах России, БТ поставляются полностью укомплектованными, а для потребителей важна такая опция, как сопровождение одним лицом компании полно-

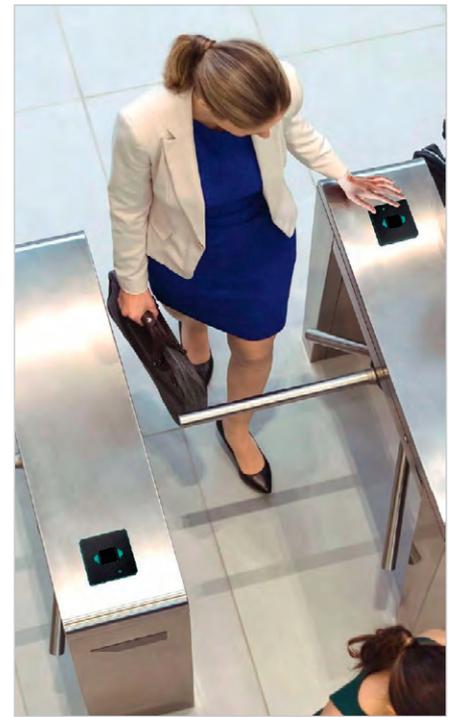


Рис. 13. Иллюстрация прохода через БТ

го цикла: от консультации, заключения договорных отношений, приобретения продукции до её настройки на местности, обслуживания и совершенствования. Логика взаимовыгодного сотрудничества разработчика-производителя и потребителя продукции оправдана тем, что полный цикл сопровождения обходится дешевле (вопросы рентабельности), нежели самостоятельное конфигурирование силами потребителя (заказчика) оборудования, его сборка из модулей разных производителей; что, разумеется, тоже возможно при наличии на предприятии грамотных специалистов отрасли. Надо полагать, в сегменте биометрических шлюзов за счёт улучшения технологии скорость прохода человека при условии корректной верификации не превысит 3-5 секунд. Сценарий использования таков: следуя через биометрический турникет, сотрудник подносит ладонь к сканеру PALMJET и «отмечается» в биометрической СКУД. А полученные данные о посещении рабочего места и выходах за пределы организации используются для контроля рабочего времени и при начислении зарплаты. Иллюстрация прохода [10] представлена рис. 13.

## Биометрические шлюзы

Применительно к рассмотренным выше вариациям БТ контроль досту-

па в системах ЕБС и СКУД возможен на основе шлюзовых кабин с высоким уровнем безопасности – биометрических шлюзов (БШ). Преимущество даёт интеграция биометрических считывателей разного предназначения в шлюзовую кабину. Данные решения с претензией на повышенный уровень безопасности оправданы, в том числе в связи с вызовами времени и увеличившейся террористической и экстремистской угрозой, направленной на дестабилизацию работы государственных органов, коммерческих структур и частных лиц высокого статуса. Конструктивная универсальность современных БШ определяется в том числе доступностью разных форм исполнения – полуростовых, ростовых, комбинированных конструкций, а более всего их отличает однобарьерное или двухбарьерное (шлюзовое) исполнение контроля доступа. Идея взята (как нередко бывает) из опыта «заградительных инициатив» в бытовом и производственном формате. Многие внимательные к деталям граждане заметили в последние 8–10 лет, как изменился подход к режимным объектам – КПП воинских частей и учреждений пенитенциарной системы (и др.). Раньше это была дверь, ведущая в здание, внутри которого стоял постовой, или «вертушка» с электронным управлением, или дополнительный шлюз с решётками (ФСИН). Теперь такой шлюз вынесен на улицу и находится ещё до входа в здание КПП. Причём он действует именно как шлюз с двумя управляемыми электроникой (с пульта вручную дежурным) дверями. При входе в первую она закрывается и блокируется – ни вперед не пройти, ни назад не выйти, и вас изучают. Затем, уточнив цель визита, после анализа предъявленных документов (и их фиксации в журнале дежурств) дежурный дистанционно открывает вторую дверь, и вы попадаете непосредственно в КПП здания, где вас изучат дополнительно. Эта шлюзовая система небезупречна, как и любой административный барьер, однако оправдана в части повышения уровня готовности к террористическим актам, и подобные решения, а также их реализация оформлены соответствующими приказами по ведомству. К сожалению, описанные меры во многих местах обшир-



Рис. 14. Внешний вид биометрического шлюза

ного российского государства пока осуществляются именно в ручном режиме – за неимением денег на соответствующее оборудование, надо полагать. Однако с улучшением финансирования соответствующих учреждений и доступности новейших электронных устройств в виде биометрических шлюзов скоро мы увидим изменения и в описанной сфере; почти всё будет автоматизировано. «Дежурные» или вахтеры, разумеется, останутся – это традиционный тренд государства, но они будут находиться и управлять дверьми дистанционно.

На рис. 14 представлен внешний вид биометрического шлюза [10].

Таков сегодня признанный относительно надёжный способ защиты центров обработки данных и других конфиденциальных объектов по всему миру. Пользователь прикладывает пропуск до входа в кабину. Это может быть карта доступа, информация в смартфоне или комплекс биологических характеристик кандидата на вход. К примеру, сканирование электронного пропуска. При входе в шлюзовую кабину система встроенных в стены, рамки и потолок датчиков проверяет, один ли человек находится внутри. После закрытия первой входной двери установленный внутри биометрический считыватель проверяет, находится ли в шлюзовой кабине именно тот пользователь, который предъявил пропуск снаружи. После подтверждения открывается вторая дверь и пропускает пользователя в охраняемую зону. Речь идёт о двойном методе

аутентификации. Почему он эффективен? Биометрический считыватель способен распознать несколько сценариев. Допустим, кто-то несанкционированно использует электронный пропуск другого работника, тогда он пройдет в первую дверь шлюза. Но не выйдет из второй без помощи сотрудников, которые возьмут его «под ручки». При нахождении в шлюзе кандидат на проход будет аутентифицирован с помощью нескольких способов биометрического сканирования, а комплекс индивидуальных характеристик (вроде рисунка ладони или сетчатки глаза, отпечатков пальца и др.) пока не удаётся подделать. Когда биометрические данные не совпадают с хранящимися в системе биометрическими данными владельца карты доступа, шлюз блокируется, злоумышленник задержан.

### Проблемные вопросы и риски нарушения работы

Основные проблемы стабильности и надёжности оборудования связаны с быстройдействием анализа (ПО) и коммуникациями проводными и беспроводными. Если БИК осуществляют обмен данными, в том числе видеозаписями, в основном по беспроводной связи с использованием протоколов сотовой связи и Wi-Fi (что позволяет относительно несложно прервать эту коммуникацию даже дистанционно средствами РЭБ, имеющимися в портативном виде у многих [6]), то элементы оборудования, к которому предъявляют требования повышенной надёжности и безопасности, обеспечивают коммуникацию

до сервера исключительно с помощью «проводного» шлейфа. Это не позволяет использовать против них распространённые средства глушения сигналов сотовой связи и Wi-Fi [6]. Таким образом, для того чтобы дестабилизировать работу проводных устройств, необходимы меры и действия по нарушению проводных коммуникаций связи оборудования с сервером и (или) воздействие на энергосистему питания оборудования; что является уже другим уровнем возможного воздействия ангажированных лиц.

## Выводы и перспективы

Рассмотренные типы устройств по-разному интегрируются в системы современной электроники. Как правило, выбор БИК, АСО, БТ и БШ зависит от конкретных задач, стоящих перед потребителем. В прерогативе перед разработчиками стоят задачи по исключению человеческого фактора влияния на работу системы безопасности и СКУД, высвобождение ресурсов под более актуальные задачи организации, ускорение процедуры пропуска посетителей/сотруд-

ников и гигиенической безопасности процедуры пропуска. Очевидно, что функционал устройств совершенствуется, что отражается в появлении новых моделей – и это общемировая, а не только российская тенденция. Как мы показали, появляются элементы сравнительного анализа прежних (многолетней давности) ординаров биометрической информации (голос), меняется эргономика корпусов оборудования, в функционале аутентификации наряду с другими появились новые виды биометрической идентификации, такие как сканирование по рисунку вен ладони, а появятся в перспективе и новые – на основе акустической и другой персональной информации. Главное, что эта сфера стремительно развивается, большое число профессиональных разработчиков задействовано в ней, следовательно, результат будет, и очень скоро.

## Литература

1. Биометрические сенсорные киоски и другое оборудование ProSoft. URL: <https://www.prosoft.ru/products/sistemy-bezopasnosti-skud-i-videonablyudenie/>

kontrol-dostupa/biometricheskie-informatsionnye-kiосki/.

2. Геодакян С.В. Два пола. Зачем и почему? Эволюционная теория пола. М., 2011.
3. Инструкция подключения оборудования; manual.pdf. URL: <https://superautomat.ru/docs/ICTA7V7BS7>.
4. Как ускорить цифровизацию логистики? URL: <https://kiosks.ru/index.php/terminal-sbora-dannyh-dlya-cifrovizacii-logistiki>.
5. Купюрприёмник ICT A7/V7/BS7. URL: <https://superautomat.ru/lab-connectionicta7v7.html>.
6. Кашкаров А.П. Электронные устройства для глушения беспроводных сигналов (GSM, Wi-Fi, GPS и некоторых радиотелефонов). М.: ДМК Пресс, 2016. 96 с.
7. Материалы конференций и презентаций выставок ПТА-2022. URL: <https://www.cta.ru/articles/novosti/vystavki-seminary-konferentsii/125223/>.
8. Универсальный терминал сбора биометрических данных. URL: <https://www.telpro.com.cn/biometric-device/s10.html>.
9. Харламов О. Сенсорные киоски: классификация и перспективы // СТА. 2020. № 4. URL: <https://www.cta.ru/articles/otrasli/otobrazhenie-informatsii/138180/>.
10. Якубов Н. Презентация оборудования ProSoft на выставке ПТА-2022. 



# OLED-дисплеи 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)
- Светозимиссионная 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



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

**АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА**

(495) 232-2522 ▪ INFO@PROCHIP.RU ▪ WWW.PROCHIP.RU





ТОВАРИЩ!  
БИЗНЕС РОСТ ЗАМЕДЛИЛ?

**РАНО ВПАДАТЬ В СТУПОР!**

**НУЖНО КРИЧАТЬ О СЕБЕ НЕМЕДЛЯ,**

**А МЫ**

**ОБЕСПЕЧИМ РУПОР!**



### Журналы

Два наших журнала уважают в отрасли. Ваши статьи и рекламу в них увидят все наши читатели



### Видеоканалы

YouTube, RuTube VK – предоставляют вам возможность интересно рассказать о себе



### Медиапортал

Это ваши новости и статьи, оперативно доставленные по адресу



### Конференции

На наших конференциях ПТА вы заведёте новые контакты и расскажете о себе специалистам



### Дизайн-студия

Дизайнеры и верстальщики сделают для вас эффективную рекламу, баннер, ролик



Специализированные конференции

# ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ 2024-2025

Промышленная автоматизация

Цифровизация производства

Интернет вещей и большие данные

Искусственный интеллект

Информационная безопасность

Автоматизация зданий и инженерных систем

2024

25.09 4-я специализированная конференция  
**ПТА - УФА**

30.10 14-я специализированная конференция  
**ПТА - НОВОСИБИРСК**

2025

12.02 20-я специализированная конференция  
**ПТА - ЕКАТЕРИНБУРГ**

26.03 6-я специализированная конференция  
**ПТА - КАЗАНЬ**

27.05 16-я специализированная конференция  
**ПТА - САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**

24.09 4-я специализированная конференция  
**ПТА - ЧЕЛЯБИНСК**

29.10 15-я специализированная конференция  
**ПТА - НОВОСИБИРСК**

[www.pta-expo.ru](http://www.pta-expo.ru)