

# СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

8

2022

**Квантовый вычислитель:  
скоро в продаже?**

YouTube



Telegram

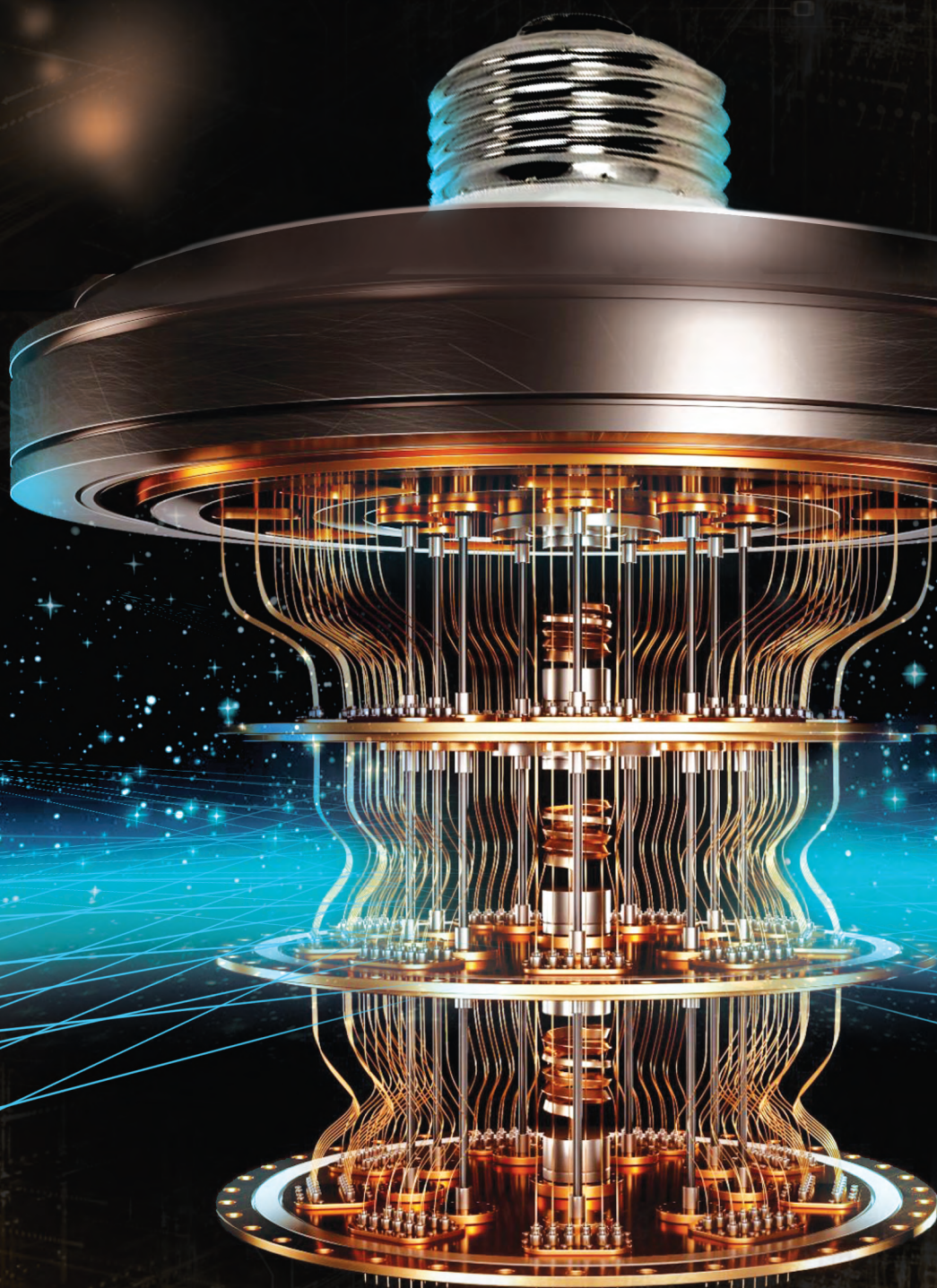


**В номере:**

**ЦИФРОВЫЕ  
ДВОЙНИКИ:  
что и как**

**ОТЕЧЕСТВЕННАЯ  
ЭЛЕКТРОНИКА:  
быть или не быть?**

**КВАНТОВЫЕ  
ВЫЧИСЛЕНИЯ:  
этапы большого пути**



WWW.SOEL.RU



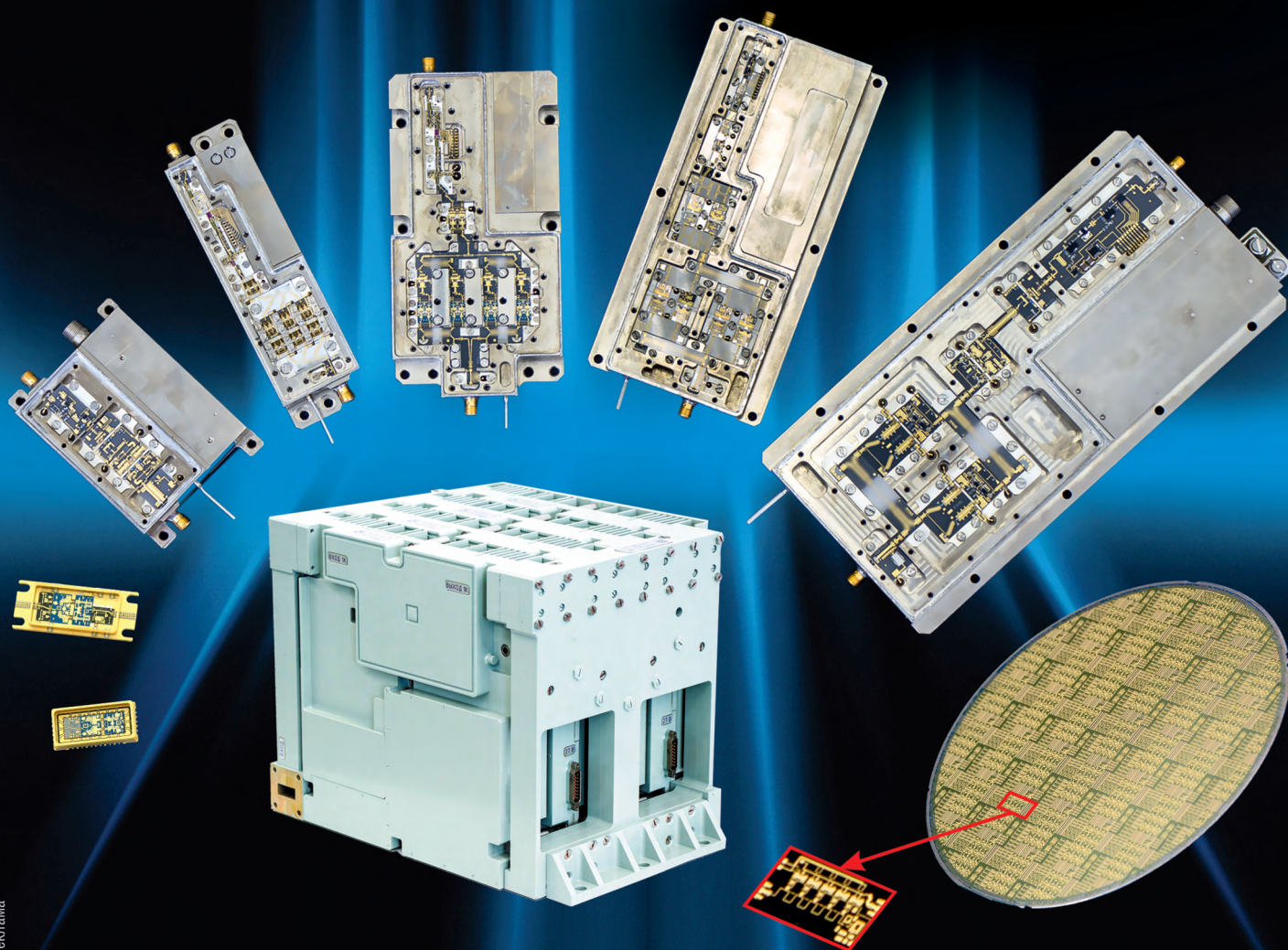


## ИНТЕЛЛЕКТ. КАЧЕСТВО.

АО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»  
Москва, Щелковское шоссе, д.5, стр.1  
Тел. (499) 644-21-03, (499) 644-25-62  
(многоканальный)  
Факс +7(499) 644-19-70  
E-mail: mwsystems@mwsystems.ru  
www.mwsystems.ru

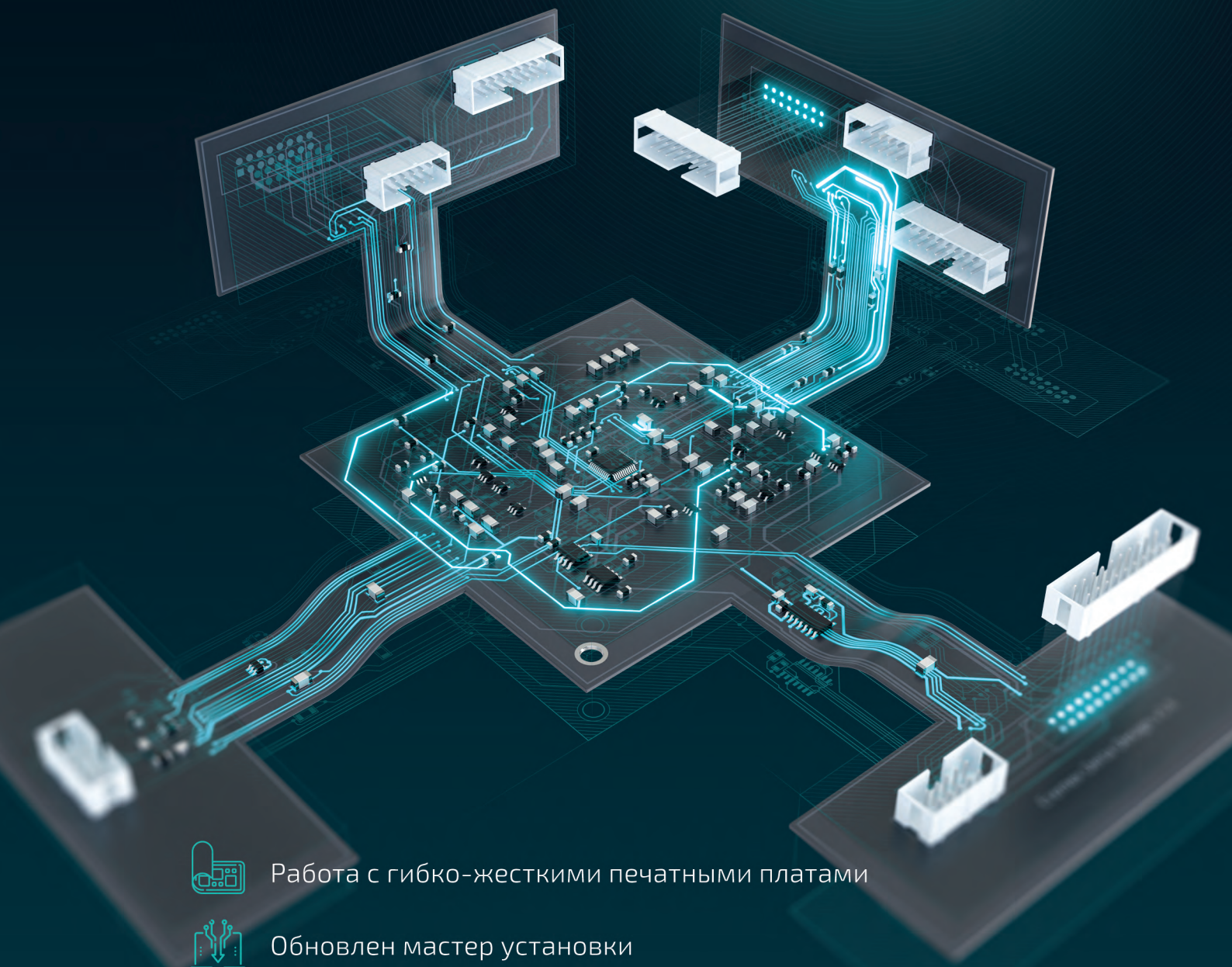
- СОВРЕМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ТЕХНОЛОГИИ
- ОПТИМАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ЦЕНА/КАЧЕСТВО
- ПОЛНЫЙ СПЕКТР УСЛУГ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРОИЗВОДСТВУ МОНОЛИТНЫХ И ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ, ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ, МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЧ-УСТРОЙСТВ И БЛОКОВ РЭА (0,3 - 22 ГГц)

## АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»



# DeltaDesign 3.6

Новая версия российской САПР электроники



Работа с гибко-жесткими печатными платами



Обновлен мастер установки



Добавлены дисперсионные линии задержки в SimOne



Обновлены менеджер библиотек, редактор печатных плат, схемотехнический редактор



Чтобы получить консультацию по новой версии и внедрить САПР Delta Design на вашем предприятии, обратитесь к специалистам ЭРЕМЕКС



Здравствуйте, уважаемые друзья!

О квантовых вычислениях сегодня пишут и говорят все. У не погружённого в тему читателя может сложиться впечатление очень близкого революционного прорыва в этой области, а также просто неограниченного потенциала квантовых вычислителей. Ведь уже 3 года назад, в 2019 году, компания Google заявила, что ей удалось на экспериментальном квантовом компьютере Sycamore (53 кубита) добиться скорости вычислений, превышающей в 150 млн (!) раз скорость вычислений самого быстрого на тот момент в мире суперкомпьютера IBM Summit. Так в чём же заминка? Давайте скорее внедрять это чудо массово и повсеместно! Но сначала попробуем разобраться, что же такое квантовый компьютер, как он устроен и работает, и почему до появления его на нашем письменном столе в формате привычного ноутбука пройдет ещё немало времени. Об этом читайте в подготовленных нами статьях.

Заходите на наш сайт, подписывайтесь на наш YouTube-канал, смотрите наши репортажи и делитесь ссылками на них со своими коллегами!

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, Д. А. Кабачник,  
Р. Х. Хакимов

Вёрстка А. М. Бабичук

Обложка Д. В. Юсим

Распространение А. Б. Хамидова (info@soel.ru)

Реклама И. Е. Савина (advert@soel.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

info@soel.ru • www.soel.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, 2022

ЧИТАЙТЕ  
ЖУРНАЛ 

**В ЭЛЕКТРОННОЙ ВЕРСИИ**

на сайте [soel.ru](http://soel.ru)

после простой регистрации

и

**В ПЕЧАТНОЙ ВЕРСИИ**

по подписке

## РЕКЛАМОДАТЕЛИ

|                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| AdvanteX              | 29                   |
| EREMEX                | 1                    |
| LITEMAX               | 3-я стр. обл.        |
| NSI, IKEY             | 56                   |
| ProChip               | 4                    |
| RFcore                | 33                   |
| ДОЛОМАНТ              | 23                   |
| КОМПОНЕНТА            | 4                    |
| КОМПЭЛ                | 5                    |
| МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ | 2-я стр. обл.        |
| МОРИОН                | 5                    |
| Протон-Импульс        | 5                    |
| Симметрон             | 6                    |
| ТЕСТПРИБОР            | 7, 15, 4-я стр. обл. |
| ЭРКОН                 | 31                   |
| ЮЕ-Интернейшнл        | 6                    |

### Читайте в «СТА» № 4/2022:

**АВТОМАТИЗАЦИЯ В БИОТЕХНОЛОГИЯХ:**  
БИОКАД выбирает Fastwel

**СВЯТО МЕСТО ПУСТО НЕ БЫВАЕТ:**  
китайские бренды на российском рынке

**БИОИДЕНТИФИКАЦИЯ В ДЕЙСТВИИ:**  
отечественные разработки для контроля доступа

**Я ЗА ТОБОЮ СЛЕДУЮ ТЕНЬЮ:**  
цифровые двойники в промышленности



Оформляйте подписку на журнал «СТА»  
и читайте печатную версию  
или электронную версию на [www.cta.ru](http://www.cta.ru)

## РЫНОК

### 4 Новости российского рынка

## КОМПЕТЕНТНОЕ МНЕНИЕ

### 8 Минпромторг импотент? Да.

Иван Покровский

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### 12 Способы прогнозирования периода стойкости режущих инструментов

Артём Гамов

### 16 Использование онтологического инжиниринга при анализе технологических линий

Евгений Курнасов, Анна Володина, Галина Богомольная, Дмитрий Киселев

### 20 Программно-аппаратный комплекс системы контроля и управления доступом

Иван Подзоров

### 24 Зачем нужны квантовые вычисления? Часть 2.

Основные этапы развития квантовых компьютеров с вентиляционной обработкой

Виктор Алексеев

### 34 Применение цифровых двойников в промышленности

Сомайе Малакути, Питер Ван Шалквик, Биргит Босс, Челлури Рам Састри

## ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

### 42 Барометр-гигрометр-термометр с батарейным питанием на базе MEMS датчика BME280, микроконтроллера EFM8SB10F8 и ЖКИ-модуля H1313.

Часть 2

Алексей Кузьминов

### 50 Термометрия элеватора по системе «Power over Ethernet»

Андрей Шабонов

## ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

### 54 О применении для нормировки классифицированной выборки наблюдений при распознавании объектов по межчастотному корреляционному признаку

Владимир Бартенев

### 58 Дискретный синтез цифрового гауссова фильтра

Владимир Бугров

# Новости российского рынка

## ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

### 10,1" IPS TFT с подключением через HDMI-разъём

Raystar подготовила к серийному выпуску 10,1-дюймовый IPS TFT ЖК-дисплейный модуль RFH101VJ-1YH-LHB с соотношением сторон 16:9 и разрешением экрана 1024×600 пикселей. Это цветной TFT ЖК-дисплей с активной матрицей на базе IPS-панели. Технология IPS позволяет пользователю наблюдать изображение на экране под более широкими углами (85/85/85/85 градусов). В данном TFT-модуле установлены микросхемы драйвера EK79001HN и EK73215BCGA, дающие возможность подключаться к дисплею через разъёмное соединение HDMI (только сигнал DVI). Сенсорный экран PCAP (интерфейс USB) оснащён микросхемой ILI2511, которая поддерживает 5-точечное касание. Яркость экрана 850 кд/м² при коэффициенте контрастности 800:1. Напряжение питания находится в пределах от 4,7 до 5,5 В (типичное значение 5 В). Рабочая температура дисплейного модуля от -20 до +70°C, температура хранения от -30 до +80°C.



#### Основные характеристики:

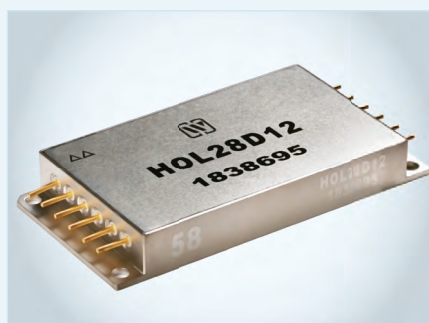
- размер: 10,1";
- матрица: RGB, 1024×600 точек;
- размеры модуля: 235×143×27,96 мм;
- активная область: 222,72×125,28 мм;
- шаг пикселя: 0,2175×0,2088 мм;
- тип LCD: обычный чёрный, трансмиссивный;
- интерфейс: поддержка HDMI-подключения (только DVI-сигнал);
- драйвер IC: EK79001HN + EK73215BCGA или подобный;
- угол обзора: 85/85/85/85 (IPS);
- соотношение: 16:9;
- тип подсветки: LED, нормальный белый;
- PCAP IC: ILI2511 или подобный;
- PCAP-интерфейс: USB;

- PCAP FW Version: V6.0.0.0.62.90.1.2;
- тачпад: проекционный ёмкостной сенсорный экран, PCAP;
- покрытие: глянцевое;
- рабочая температура: -20~+70°C;
- температура хранения: -30~+80°C.

[www.komponenta.ru](http://www.komponenta.ru)  
[info@komponenta.ru](mailto:info@komponenta.ru)  
+7 (495) 150-21-50

### Гибридно-плёночные DC/DC-преобразователи с выходными мощностями до 120 Вт для высоконадёжных электронных систем специального назначения

Для замены популярных гибридно-плёночных DC/DC-преобразователей серии DVFL (VPT) и MOR28 (Interpoint) компания ECRI Microelectronics, входящая в Китайскую корпорацию электронных технологий (China Electronics Technology Group Corporation – CETC), предлагает модули преобразователей напряжения серии HOL28 с выходными мощностями до 120 Вт.



Модули серии HOL28 предназначены для работы в системах электропитания постоянного напряжения с номинальным напряжением 28 В с диапазоном изменения от 16 до 40 В и выдерживают переходное отклонение напряжения до 50 В длительно-стью 1 с.

Преобразователи выполнены по полумостовой структуре с применением для стабилизации выходного напряжения широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Выбранное значение выходного напряжения изолируется оптопарой, длительность выбранного импульса напряжения модулируется контроллером для формирования замкнутой системы управления и для обеспечения ста-

бильного выходного напряжения. Герметичный корпус с размерами 76,7×38,6×10,66 мм и весом около 95 г выполнен из холоднокатаной стали, основание корпуса покрыто никелем, крышка выполнена из железо-никелевого сплава 4J42. Выводы выполнены из бескислородной меди с золотым покрытием, корпус герметизирован параллельной шовно-роликовой сваркой в инертной среде. Конструкция и производственный процесс соответствуют требованиям общих технических условий GJB2438A-2002 к гибридным интегральным микросхемам.

Функция внешней блокировки и синхронизации позволяет просто включать эти преобразователи в сложные системы электропитания.

Для обеспечения требований по электромагнитной совместимости рекомендуется применять на входе помехоподавляющий фильтр HFE28-461-420-A.

*Основные характеристики преобразователей серии HOL28:*

- одно- и двухканальные модели с выходными номинальными напряжениями 3,3; 5; 6,3; 12; 15; 28; ±5; ±12 и ±15 В;
- КПД до 91%;
- удельная мощность 80 Вт/дюйм³ (примерно 4050 Вт/дм³);
- диапазон рабочей температуры от -55 до +125°C, диапазон температуры хранения от -65 до +150°C (на основании корпуса);
- сопротивление электрической изоляции между входными и выходными цепями 100 МОм;
- небольшой пусковой ток и малое время установления выходного напряжения;
- сервисные функции: защита от пониженного и повышенного входных напряжений, защита от перегрузки по току и короткого замыкания нагрузки, регулировка выходного напряжения внешним потенциометром, внешняя обратная связь для одноканальных цепей; дистанционное включение/выключение и синхронизация частоты преобразования внешним генератором;
- среднее время между отказами (MTBF) при температуре корпуса +25°C 3 000 000 часов.

[www.prochip.ru](http://www.prochip.ru)  
[info@prochip.ru](mailto:info@prochip.ru)  
+7 (495) 232-25-22

## УЛЬТРАПРЕЦИЗИОННЫЙ ТЕРМОСТАТИРОВАННЫЙ КВАРЦЕВЫЙ ГЕНЕРАТОР ГК336-ТС 10 МГц с КНЧ $1 \cdot 10^{-13}$ за 1 с от АО «МОРИОН»

АО «МОРИОН» (г. Санкт-Петербург), ведущее предприятие России и один из мировых лидеров в области разработки и серийного производства пьезоэлектрических приборов стабилизации и селекции частоты, освоило в серийном производстве ультрапрецизионный термостатированный кварцевый генератор ГК336-ТС с уровнем кратковременной нестабильности частоты не хуже  $1 \cdot 10^{-13}$  за 1 с для частоты 10 МГц. Высокая температурная стабильность частоты (до  $(2...3) \cdot 10^{-11}$ ) позволяет реализовать указанную кратковременную нестабильность частоты при эксплуатации в лабораторных условиях без дополнительной температурной защиты.

Стандартные частоты ГК336-ТС – 10 МГц и 5 МГц. Генератор имеет выход сигнала синусоидальной формы, напряжение пита-

ния составляет 12 В, габаритные размеры  $92 \times 80 \times 50$  мм.

Генератор может применяться в атомных стандартах частоты, в измерительных и телекоммуникационных системах, а также в качестве лабораторного стандарта кратковременной нестабильности частоты и фазовых шумов.

Доступен вариант с цифровым управлением частотой генератора с применением 20-разрядного ЦАП.

Также выпускается вариант ГК336R-ТС без управления частотой и с нормой на КНЧ до  $8 \cdot 10^{-14}$  за 1 с.

Дополнительная информация об этих и других новых приборах доступна на сайте АО «МОРИОН».

[www.morion.com.ru](http://www.morion.com.ru)

[morion@morion.com.ru](mailto:morion@morion.com.ru)

+7 (812) 350-75-72

+7 (812) 350-92-43

## АЛКАЛИНОВЫЕ БАТАРЕЙКИ POWER FLASH – новая продукция в линейке поставок Компэл

Компэл стал дистрибьютором компании POWER FLASH, производящей широкий спектр популярных батареек.

POWER FLASH производит солевые и щелочные (алкалиновые) цилиндрические батарейки типов R20, R14, R6, R03, 6F22, LR20, LR14, LR6, LR03, 6LR61 на напряжение 1,5 В, две серии высоковольтных щелочных батареек 27А, 23А, а также серию CR (литий-диоксидмарганцевые, напряжение 3,0 В).



На производственных площадках компании работают 40 высокоскоростных и высокоточных автоматических производственных линий по изготовлению солевых батареек, а также 8 линий для производства алкалиновых батареек. Общий годовой объём производства превышает 3,6 млрд штук. Вся выпускаемая продукция соответствует европейским экологическим стандартам. Изделия POWER FLASH экспортируются в 80 стран мира. Крупные японские и европейские производители батареек размещают заказы на производственных линиях OEM-производителя POWER FLASH.

Алкалиновые батарейки самых популярных форм-факторов типа AA («пальчиковая») и AAA («мизинчиковая») представлены в трёх группах (в порядке возрастания по-

требительских свойств) «Эконом», «Super» и «Ultra», отличающихся друг от друга ёмкостью и, соответственно, стоимостью. Батарейки выпускаются в блистерах по 4 штуки (B4) и в экономичной промышленной упаковке по 4 и 10 штук в полиэтиленовой плёнке (S4, S10). Кроме того, в линейке продукции имеются батарейки типа «Крона», как солевые, так и щелочные.

По упомянутым типам батареек, а также по батарейкам типа «С» и «D» в Компэл запущена складская программа. Кроме того, любые батарейки этого производителя доступны под заказ.

Батарейки POWER FLASH предназначены для самого широкого спектра применений – от бытового до промышленного – и являются отличной альтернативой как по цене, так и по качеству аналогичной продукции других известных брендов.

Применение:

- цифровые гаджеты,
- игрушки,
- пульты управления,
- датчики,
- фонарики.

[www.compel.ru](http://www.compel.ru)

[msk@compel.ru](mailto:msk@compel.ru)

+7 (495) 995-09-01

## ЗАО «Протон-Импульс» производит изделия, не уступающие по качеству импортным аналогам

Начиная с 1996 года ЗАО «Протон-Импульс» специализируется на производстве светодиодной продукции, твердотельного реле и микросборок. В 2009 году ЗАО «Протон-Импульс» получил заключение Минобороны России, удостоверяющее наличие на предприятии условий, обеспечивающих выполнение государственного оборонного заказа.



Предприятие активно реализует программу импортозамещения – Государственную программу «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности». В составе предприятия два радиомонтажных цеха, участок литья пластмасс и два отдела разработок новых изделий, отдел подготовки производства, отдел качества и другие вспомогательные службы.

ЗАО «Протон-Импульс» разработал уникальное изделие для российского рынка

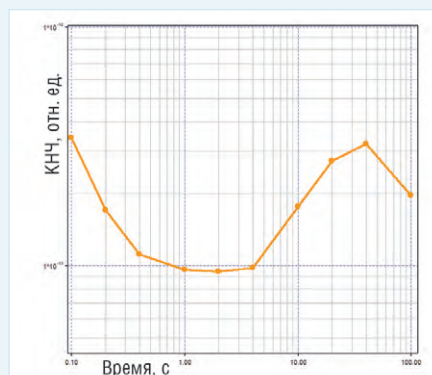


График КНЧ для ГК336-ТС 10 МГц  
с аналоговым управлением

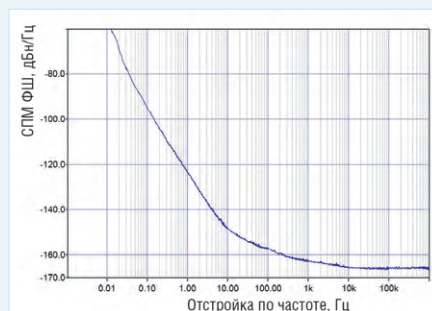


График ФШ для ГК336-ТС 10 МГц  
с аналоговым управлением

ОПК – полупроводниковое силовое трёхфазное реле, которое позволяет осуществлять коммутацию переменного тока до 25 А на канал напряжением до 600 В с неограниченным количеством срабатываний. Продолжается работа над новой линейкой полупроводниковых реле с функцией самодиагностики, с контролем перехода фазы через «ноль», защитой от перенапряжения по выходу с помощью защитных диодов и варисторов. Разработана линейка современных светодиодных ламп серии ЛСП-04 (категория качества «ВП») для замены СМ 28-5, СМ 28-10, СМ 26-15, СМ 28-20.

ЗАО «Протон-Импульс» выпускает серии светодиодных коммутаторных ламп СКЛ, излучателей полупроводниковых, ламп полупроводниковых (с приёмкой «ВП»), светодиодных светильников, твердотельных реле, микросборок (ТТР с приёмкой «ВП») и представлен в сегментах: лифтовое оборудование, торговое холодильное оборудование, щитовое оборудование и решения для РЖД. Структура ЗАО «Протон-Импульс» позволяет осуществлять полный цикл производства, разрабатывать изделия под заказ, дорабатывать ранее изготовленные изделия по новым техническим требованиям.

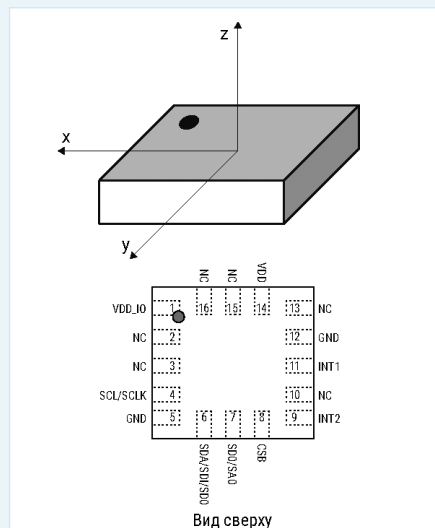
[www.proton-impuls.com](http://www.proton-impuls.com)  
+7 (486) 230-33-24

## НОВЫЕ АКСЕЛЕРОМЕТРЫ НА СКЛАДЕ КОМПАНИИ «СИММЕТРОН»

На склад компании «Симметрон» поступили новые акселерометры. Это 3-осевые MEMS-датчики с цифровым выходом.

Основные характеристики:

- напряжение питания: от 1,62 до 3,6 В;
- корпус LGA-16 размерами 3×3×0,9 мм;
- задаваемый пользователем диапазон, ±2g, ±4g, ±8g, ±16g;
- задаваемая пользователем скорость вывода данных;
- цифровой выходной интерфейс I<sup>2</sup>C/SPI;



- разрешение 14 бит;
- низкое энергопотребление;
- два программируемых генератора прерываний с независимыми функциями обнаружения движения;
- обнаружение свободного падения;
- заводские настройки смещения и чувствительности.

[www.symmetron.ru](http://www.symmetron.ru)  
[moscow@symmetron.ru](mailto:moscow@symmetron.ru)  
+7 (495) 961-2020

## ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА – ХОРОШИЙ ТОН ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Словосочетание «экологическая обстановка» в наши дни приобрело широкий диапазон социальной окрашенности – от откровенного шантажа малообразованными группами активистов целых отраслей науки и промышленности до вполне разумных человеческих требований по возможности жить рядом и работать на производствах, не подвергая свою жизнь и здоровье физической опасности. В связи с этим где-то быстрее, где-то медленнее, но неуклонно внедряются меры как внешнего регламентирования, так и внутреннего самосовершенствования на предприятиях, способных видеть своё существование хотя бы на десятилетие вперед.



Одними из самых интуитивно очевидных загрязнителей, для оценки которых не нужны сложные приборы и анализаторы, достаточно посмотреть весной на цвет растающего снега, являются металлургические производства, нефтехимические, мусоросжигательные заводы и, в целом, места встречи большого количества тепла с большими массами химических элементов.

Выбрасываемые в процессе горения твёрдые частицы, аэрозоли и дым настолько разнородны по размеру и составу, что их качественное улавливание без необходимости частой смены дорогостоящих фильтров составляет актуальнейшую техническую задачу. Объединяет эти частицы в основном то, что они, будучи оксидными соединениями, в большинстве своём являются диэлектриками. На этой основе строятся высокоэффективные высокопроизводительные системы электростатической фильтрации. Создаваемые высоковольтными источни-

ками электростатическое поле или коронные разряды, взаимодействуя с частицами в дымоходе производства, заряжают их отрицательным потенциалом, они притягиваются к стенкам, электродам или сеткам, находящимся под положительным потенциалом, и беспрепятственно стряхиваются в бункер, не влияя на непрерывность и эффективность очистки.

В условиях слабой доступности компонентов и общей инфляции европейские и американские бренды высоковольтных источников питания становятся всё менее доступными. В связи с этим разработчик и производитель высоковольтных источников питания Teslaman, получивший государственную поддержку министерства промышленности Китая ещё в период пандемии, когда нужно было быстро и надёжно снабжать электретыми источниками производителей нетканого материала для медицинских масок, наконец начал поставки и на некоторые сталелитейные заводы страны самых мощных и самых высоковольтных своих преобразователей – серии TLP2041. Источники данной серии позволяют выдавать напряжение до 225 кВ, долговременную мощность до 10 кВт и, благодаря гибкому цифровому управлению и комплексу защит, круглосуточно работать в зонах заводов, где длительное нахождение оператора крайне нежелательно. Первая ступень запитанной такими блоками электростатической фильтрации позволяет достичь эффективности удаления частиц и примесей до 90%.

Данный опыт позволил развить направление и опробовать другие схемы фильтрации для разных производств. В результате в тесной кооперации с заказчиком недавно была сдана в эксплуатацию 320-канальная высоковольтная система на базе серии TCM600i, состоящая из 8 стоек по 40 каналов в каждой. Критически важные выполненные задачи:

- защита от зажигания дуги со скоростью реакции менее 1 мкс на номинальной мощности;
- быстрое самовосстановление – менее 1 с после срабатывания защиты;
- гибкость – все каналы работают независимо, защиты каждого канала обрабатывают индивидуально, и система допускает поканальное отключение для обслуживания.

Благодаря развитой системе управления по шине Modbus, контроль и диагностика системы осуществляется непрерывно в автоматическом режиме и практически не требует участия оператора.

[www.yeint.ru](http://www.yeint.ru)  
[yesupport@yeint.ru](mailto:yesupport@yeint.ru)  
+7 (495) 150-52-21

## СОБЫТИЯ

## Конференция ЭКБ-2022

15–16 сентября состоялась XI Всероссийская научно-техническая конференция ЭКБ на тему «Обеспечение предприятий радиоэлектронной промышленности электронно-компонентной базой». Организатором мероприятия выступила компания «ТЕСТПРИБОР» совместно с АО «НИИМА «Прогресс».

В этом году конференция проходила в особых условиях, связанных с введением санкций против Российской Федерации, которые отразились на работе многих компаний. К обсуждению были предложены вопросы обеспечения комплектующими и расходными материалами предприятий, производящих электронно-компонентную базу. Основными темами стали следующие.

- Критическая комплектация для современной измерительной техники.
- Технологические возможности отечественных предприятий радиоэлектронной промышленности.
- Технологии, материалы и комплектующие ИП, необходимые для изготовления отечественной ЭКБ.
- Проработка детального использования потенциала малых и средних предприятий в обеспечении производства и материалов для ЭКБ.

Например, главный конструктор НАО «Ресурс» Илья Герасимов поделился планами по серийному выпуску новых изделий в сложившихся экономических условиях. Некоторые из приведённых им тактических решений, позволивших в краткие сроки не только возобновить производство продукции в прежнем объёме, но и избежать существенного роста издержек, могут быть взяты на вооружение другими предприятиями.

Представители ведущих отечественных компаний, разрабатывающих и выпускающих электронные компоненты, рассказали о трудностях, с которыми сталкиваются в условиях санкционных ограничений на



пути к созданию стабильной системы поставок и производства. Так, начальник ИЛ ЭКБ АО «ТЕСТПРИБОР» Павел Гребенцов предупредил о рисках увеличения контрафактной ЭКБ в условиях параллельного импорта, а начальник отдела маркетинга и продаж интегральных микросхем АО «ПКК Миландр» Татьяна Лысенко рассказала о непростом опыте поставок отечественной элементной базы на примере микросхем.

Одной из наиболее полезных секций конференции стало обсуждение основных проблем в разработке отечественных электронных компонентов и потенциальных путей их решения. Генеральный директор АО ЦКБ «Дейтон» Юрий Рубцов выступил с докладом о таковых в изготовлении и применении материалов для корпусов отечественной ЭКБ, представив и предложения по поддержке отрасли и выводе её из кризиса. Руководитель направления локализации ЭКБ группы компаний «Итэлма» Александр Чистов высказался о ситуации в автоиндустрии, обозначив перспективы и требования к ЭКБ для автопрома.

Не обошлось и без позитива: о своих успехах в это непростое время поведали представители компаний АО «МОРИОН», ООО «Остек-Электро», ООО «ИПК

«Электрон-Маш», ООО «Радиокомп» и других. Руководитель проекта АО «НИИМА «ПРОГРЕСС» Роман Никифоров рассказал об удачном осуществлении сквозной цифровизации жизненного цикла микроэлектронной продукции Группы компаний «Элемент». Начальник центра АО «РКС» Михаил Краснов поделился своим видением основных направлений создания электронной компонентной базы космического назначения, а заместитель генерального конструктора Владимир Стешенко указал на тенденции развития ЭКБ в этой сфере.

Местом проведения мероприятия традиционно стал удобный конференц-зал теплохода «Артурс». АО «ТЕСТПРИБОР», несмотря на непростую ситуацию в экономике, продолжает поддерживать высокий уровень организации своих конференций, предлагая участникам безупречный сервис, возможность узнать об актуальных проблемах и способах их решения в области ЭКБ, полезных для любого бизнеса в сфере электроники, а также с комфортом и со всеми удобствами провести время в компании друзей и единомышленников.

[www.test-expert.ru](http://www.test-expert.ru)  
[tp@test-expert.ru](mailto:tp@test-expert.ru)  
 +7 (495) 657-87-37

## НОВОСТИ МИРА

## IBM объявила о \$20 млрд инвестиций в разработку чипов и квантовых компьютеров

В ближайшие десять лет IBM намерена инвестировать в разработку чипов, компьютеров, гибридных облачных технологий, технологий искусственного интеллекта, квантовых компьютеров на территории США 20 миллиардов долларов (около 1,2 триллиона рублей), сообщает компания в четверг.

В IBM заявили, что воспользуются преимуществами, которые предоставляет при-



нятый ранее в стране закон (CHIPS and Science Act). Он предусматривает выделение в ближайшие пять лет более 200 миллиардов долларов (около 12 триллионов рублей) для того, чтобы вернуть США ли-

дирующие позиции в производстве микроэлектроники.

В этой связи IBM напоминает, что в прошлом году компания разработала передовой чип по технологии 2 нм в лаборатории, расположенной в США.

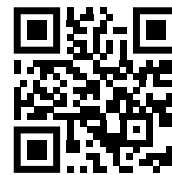
Ранее, напомним, в США заявили, что значительные перебои с поставками полупроводниковой продукции способны нанести экономике страны «исторический ущерб», масштаб которого превзойдёт потери американских автокомпаний из-за нехватки чипов.

[industry-hunter.com](http://industry-hunter.com)

# Минпромторг – импотент? Да.

**Иван Покровский**, генеральный директор  
Центра современной электроники (ООО «СОВЭЛ»)

Смотрите также интервью  
на YouTube-канале



28 сентября на конференции «Живая электроника России» я назвал Минпромторг импотентом, предупредив, что это моя личная частная оценка. Не считая это оскорблением, оценка не адресована никому лично, это диагноз для органа государственной власти. И это не интимная сфера. С учетом жёсткости времени считаю, что неспособность Минпромторга управлять электронной промышленностью должна быть проявлена. Без широкого общественного резонанса оценка состояния дел в промышленности не получит необходимого внимания со стороны руководства страны. Поэтому такой заголовок.

Импотенция Минпромторга в электронной промышленности была диагностирована давно. Я покажу это в статье. Считаю, что дальше мириться с этим нельзя. Действия Минпрома в условиях мобилизации не должны остаться без последствий для этой структуры.

## Деморализация при мобилизации

На четвёртый день после объявления мобилизации в субботу 24 сентября 2022 года отраслевой департамент Министерства промышленности и торговли провёл видеоконференцию, на которой поручил консорциумам и ассоциациям собрать списки компаний – участников кооперации по государственному оборонному заказу для предоставления их сотрудникам отсрочки от призыва. Срок сбора информации – до вечера воскресенья 25 сентября 2022 года. Позже я узнал, что департаменты, которые отвечают за другие отрасли, проводили такую же работу.

Запросы начали расходиться по предприятиям в самых разных формах. Я видел формы, в которых запрашивалась также информация о выпускаемой продукции, заказчиках этой продукции, уровень кооперации. Собираемая информация распространялась по незащищённым каналам через людей, не имеющих допуска к конфиденциальным сведениям.

В результате был составлен перечень организаций радиоэлектронной промышленности, задействованных в

выполнении задач в сфере оборонно-промышленного комплекса. Этот перечень сопровождало письмо заместителя министра промышленности и торговли РФ Шпака В.В.

Письмо и перечень с момента выпуска свободно распространяются в сети Интернет и через мессенджеры. С запросом комментариев по перечню защищаемых Минпромторгом компаний ко мне обратились не только российские журналисты, но и журналисты зарубежных изданий.

К чему привёл весь этот ажиотаж? Сотрудники компаний, которые вошли в составленный Минпромторгом перечень, не получили отсрочки. Кто получил повестку, были мобилизованы. При этом все компании перечня были скомпрометированы в глазах своих поставщиков, на компании перечня и их поставщиков теперь могут быть наложены прямые или вторичные санкции, могут быть открыты многие каналы поставок.

Сейчас выходит постановление Правительства № 1725, которое устанавливает права на получение отсрочки для граждан, участвующих в выполнении государственного оборонного заказа. Но собранный на скорую руку Минпромторгом перечень, даже при объединении его с существовавшим раньше реестром ОПК, не включает десятки высокотехнологичных компаний, которые имеют ключевое значение для производства систем военного назначения. Зато в перечень вошли компании, которые к производству вооружений никакого отношения не имеют, но участвуют в кооперации по гражданским проектам с предприятиями ОПК.

В Минпромторге отсутствует перечень компаний – участников государственного оборонного заказа. И мы увидели, что министерство не в состоянии собрать такой перечень. Хотя у государства есть информационные системы, которые позволяют быстро и конфиденциально сформировать полный и достоверный список участников ГОЗ. Это базы данных Департамента финансового мониторинга Министерства обороны РФ, созданные при реализации требований 275-ФЗ. Неужели Минпромторг не знает об этих воз-

можностях? Или боится спросить, боится, что его переспросят, почему у Минпромторга до сих пор нет перечня компаний, и чем он тогда управляет? Это подтверждение диагноза.

У Минпромторга также нет и перечня компаний электронной промышленности. Есть только ущербный реестр получателей налоговых льгот, в который входит в лучшем случае несколько процентов от общего числа компаний. Также отсутствует официальный перечень кодов ОКВЭД и ОКПД, которые определяют продукцию и виды деятельности компаний электронной промышленности. Мобилизацию Минпром встретил, не имея никаких возможностей защитить ключевых сотрудников предприятий отрасли.

Давайте посмотрим на это глазами людей, работающих в электронной промышленности. Их не интересуют проблемы Минпромторга. Они сравнивают себя в первую очередь с айтишниками. Минцифры защитило свою отрасль, не имея нормативной базы. Убедением, чёткой работой с перечнями компаний, электронной регистрацией специалистов ИТ-отрасли. Руководители министерства вели чаты по мобилизации, были в курсе всех перегибов мобилизации и сначала лично защищали своих, а затем за несколько дней создали работающую на формализованных процедурах систему. При этом очень многие разработчики софта продолжают паниковать. Представьте, что чувствуют кинутые Минпромторгом электронщики. Ведь ясно, что кинули их не во время мобилизации, кинули раньше, а сейчас проявилось, что за душеподъёмными речами и обещаниями ничего не было и даже не предполагалось.

28 сентября мне написал основатель и руководитель небольшого дизайн-центра электроники. Он решил посмотреть, чем в разгар мобилизации занимается министр промышленности. Как оказалось, внедрением цифровой маркировки. В отрасли все знают, какая компания является оператором цифровой маркировки, и кто её бенефициары, хотя эти сведения и скрыты с 17 сентября 2022 года. Интересы крупных лоббистов

важнее промышленности. Мой коллега днем позже сам получил повестку, аргументов для отсрочки у него нет. Ещё на одну компанию в отрасли станет меньше.

Мобилизация ключевых специалистов компаний электронной промышленности создаёт условия, в которых выполнение государственного оборонного заказа станет невозможным, кроме того, это ведёт к деградации инженерных коллективов вплоть до полной потери ряда компетенций в проектировании и производстве электроники.

Беспорядочный сбор и распространение конфиденциальных сведений, безответственность за результаты и безучастность Минпромторга по отношению к компаниям подрывает доверие людей, работающих в отрасли, не только к министерству, но и в целом ко всем органам государственной власти.

### Чем управляет Минпромторг?

Беспорядочный сбор сведений о компаниях отрасли в условиях мобилизации выявил одну из ключевых проблем – Министерство промышленности и торговли не имеет сведений о промышленности, нет списков компаний, тем более нет никаких представлений о специализации компаний, о том, как устроена отраслевая кооперация, нет даже перечней отраслевых кодов продукции (ОКПД 2) и кодов по видам деятельности предприятий отрасли (ОКВЭД). Специализация инженеров электронной промышленности также не классифицирована и не описана.

Без перечня компаний отрасли, перечней продукции и видов деятельности, без представлений о разделении труда и специализации инженеров Минпромторг фактически не имеет никакой возможности управлять промышленностью.

В руководстве министерства и департамента радиоэлектронной промышленности нет людей, разбирающихся в отрасли. Фактически каждый занимается не промышленностью, а тем, что ему нравится – один всё время тянет отрасль в регулирование закупок, другой – в геополитику.

### Стратегии, госпрограмма и федеральные проекты развития электронной промышленности

Электронная промышленность является одной из самых инвестиционноёмких. Без стратегического планирования устойчивое развитие отрасли невозможно. Попытки разработать стратегию электронной промышленности предприни-

мались Минпромторгом многократно. Каждый руководитель отраслевого департамента брался за разработку стратегии. А.С. Якунин заказал разработку отраслевой стратегии консалтинговой компании Strategy Partners Group. Разработка затянулась, и ее результаты в 2014 году принимал уже следующий директор департамента Хохлов Сергей Владимирович. Та стратегия так и не была согласована и не увидела свет. Разработку новой стратегии Минпромторг поручил отраслевому институту ЦНИИ «Электроника». Проект стратегии многократно анонсировался на отраслевых конференциях, но стратегия так и не была утверждена. Следующий директор департамента Шпак Василий Викторович приступил к своим обязанностям практически в одно время с утверждением 21 июня 2019 года Поручений Президента РФ по развитию электронной промышленности. Одним из основных было поручение разработать отраслевую стратегию. Стратегия спешно разрабатывалась силами рабочей группы, созданной на базе АКРП (Ассоциация Консорциум дизайн-центров и предприятий радиоэлектронной промышленности). К контрольному сроку Поручений Президента стратегия представляла собой компиляцию разрозненных и разноуровневых предложений, и в этом виде была утверждена 17 января 2020 года. Это действующая официальная стратегия электронной промышленности, которую подписал Мишустин Михаил Владимирович сразу после своего назначения на должность Председателя Правительства РФ, наверное, в расчёте на последующую доработку. Попытки доработать стратегию предпринимались в начале 2020 года, но были прерваны с началом пандемии.

В начале 2021 года для разработки стратегии, программы, федеральных проектов развития электронной промышленности Правительством было создано около 20 рабочих групп по всем продуктовым направлениям электроники. Совещания проводили вице-премьеры. Для методического сопровождения, организации и обобщений была привлечена ведущая американская консалтинговая компания McKinsey. Работа продолжалась по инерции по плану организаторов и после начала специальной военной операции. Когда поняли, что нужно менять подходы, большинству компаний отрасли было уже не до стратегии. В результате пафосных собраний с вовлечением десятков, если не сотен руководителей компаний отрасли получилась

стратегия на один слайд. Чтобы понять глубину замысла, достаточно процитировать первый принцип – «Каждое мероприятие в программе должно быть отSMARTовано по влиянию на 5 целей». Раньше над этим можно было бы посмеяться. Сейчас не смешно.

Новые подходы к отраслевой стратегии Минпромторг обещал представить на форуме «Микроэлектроника» 3 октября 2022 года.

Пока отрасль остаётся со стратегией, которая вуалирует наиболее важные проблемы в оценках текущего состояния и никуда не ведёт. Не определены ни технологическая стратегия, ни инвестиционная стратегия, ни стратегия государственного регулирования.

При этом бюджетное финансирование продолжает распределяться через государственную программу «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности», которая редактировалась в последний раз в 2016 году и уже на тот момент могла служить только бутылочным оформлением конкурсов по распределению субсидий. В 2020 году Минпромторг разослал запрос предложений в отраслевые объединения по актуализации государственной программы. Запрос был составлен качественно и давал надежду на создание реального инструмента для планирования государственных инвестиций. Но дальше сбора первых предложений процесс не пошёл, он был прерван сменой сотрудников в отраслевом департаменте.

Субсидирование проектов в электронной промышленности продолжается без какой-либо направляющей программы на конкурсах разнонаправленных идей. Отбор проектов производится без оценки соответствия стратегическим целям, поскольку цели развития отрасли никаким документом не определены. Ранжирование проектов производится по критериям «эффективности», большинство из которых противоречат критериям устойчивости развития. Нормативная база определяется постановлениями Правительства № 109 (НИОКР по созданию электронной аппаратуры), № 1252 (НИОКР по созданию электронных компонентов и модулей на основе российских компонентов), № 2136 (НИОКР по созданию САПР, технологического оборудования и материалов), № 1380 (НИОКР комплексов искусственного интеллекта), № 1619 (внедрение российского электронного оборудования заказчиками).

Предполагалось связать сквозными проектами НИОКРы по разработке

микросхем (ПП № 1252), по разработке оборудования на основе этих микросхем (ПП № 109) и проекты внедрения оборудования на основе российских микросхем крупнейшими заказчиками (ПП № 1619). Сквозные проекты могли заложить принцип планирования – с участием крупнейших заказчиков формировать массовый спрос на оборудование с российскими микросхемами, за счёт большой серийности выводить их производство на конкурентный ценовой уровень и дальше выходить с конкурентными предложениями на широкий круг заказчиков, в том числе зарубежных. Но и эти подходы к планированию не были реализованы. В качестве сквозных были определены любые проекты внедрения российского оборудования, если они одобрены Общественным экспертным советом по использованию электроники в отраслях экономики. Фактически отбор сквозных проектов осуществлялся наиболее влиятельными лоббистскими группировками в своих интересах, ни один проект на российских микропроцессорах или микроконтроллерах не получил поддержку.

### Чем занимается Министерство промышленности, если не развитием промышленности?

Департамент радиоэлектронной промышленности Минпромторга принимает решения исключительно по согласованию с так называемыми отраслевыми консорциумами. Консорциумами называются объединения, которые по сути являются картельными. Учредителей «консорциумов» объединяют не совместные проекты развития, не совместные инвестиции, а общие задачи по изменению под себя нормативной базы, задачи совместного лоббирования. Каждому сегменту рынка электроники соответствует один консорциум. Например, наиболее ёмкий рынок вычислительной техники отдан АНО «Вычислительная техника». Предложения только этой организации имеют для Минпромторга значение при подготовке решений по регулированию и инвестиционной поддержке.

АНО – наиболее закрытая форма некоммерческих организаций без института членства с централизованной формой управления, это некоммерческий аналог ООО. Форма АНО применяется для оказания услуг, а не для представления общественных интересов. Соответственно, все решения в консорциумах определяются узким кругом учредителей.

В случае АНО ВТ это крупнейшие холдинги рынка информационных технологий с годовой выручкой в десятки – сотни миллиардов рублей, в основном на импорте зарубежного оборудования. В интересах и по проектам этих компаний Минпромторг формирует нормативную базу отрасли. Вместо государственной стратегии Минпромторг обеспечивает реализацию корпоративных стратегий наиболее крупных лоббистов.

Все противоречия между компаниями отрасли разных направлений и моделей бизнеса можно разрешить, согласовав принципы и общие стратегические цели. Минпромторг, по моему мнению, не способен на это. А потому его принцип – разделяй и властвуй.

Подходы Минпромторга к регулированию исключают чёткие обязательные требования, требования должны быть сложными, путанными и противоречивыми. Тогда крупный приближённый к Минпромторгу лоббист получает максимальное преимущество.

Как это происходит, можно показать на примере регулирования рынка государственных и муниципальных закупок вычислительной техники.

### История регулирования рынка вычислительной техники

С ноября 2020 до сентября 2022 года продолжалась защита требований ПП № 719, которые предписывали использование российских системных плат, а с определённого срока и российских микропроцессоров в вычислительной технике.

Два года АНО ВТ через Минпромторг вносило предложения по переходу на балльную систему критериев, которая позволяла снять ограничения для допуска к регулируемым государством рынкам для продукции зарубежной разработки с поверхностной локализацией производства.

Всё это время интересы российских разработчиков защищал вице-премьер Ю.И. Борисов. Год назад в конце сентября 2021 он лично разбирался с чиновниками Минпромторга, требуя обеспечить спрос на российские разработки оборудования и через них на российские микропроцессоры. Тогда же обсуждался заказ крупных партий микропроцессоров российской разработки на тайваньской фаундри для создания стратегических запасов. Минпромторг не поддержал заказ процессоров и проигнорировал требования по поддержке российских разработок.

После этого на прошлогоднем форуме «Микроэлектроника» крупнейшие российские производители вычислительной техники согласовали стратегические цели регулирования, принципы регулирования, состав обязательных требований и двухуровневую структуру требований по использованию российских процессоров, которая давала необходимую гибкость при их дефиците.

Но мнение всех производителей в глазах Минпромторга не может перевесить интересы одного самого влиятельного лоббиста. В последний раз остановить их удалось в апреле 2022 года. Тогда Минпромторг хотел добиться права на срочное утверждение изменений нормативной базы без общественного обсуждения. На подтверждении срочности их остановил директор Департамента оборонно-промышленного комплекса Правительства РФ Н.Ф. Архипов, он собрал срочное совещание с предприятиями отрасли, на котором никто не поддерживал проект изменений Минпромторга.

После смены Ю.И. Борисова на позиции вице-преьера, отвечающего за развитие промышленности, проект изменений ПП № 719, подготовленный учредителями АНО ВТ, был принят. Ни одно из предложений российских разработчиков вычислительной техники не было учтено. Рынок государственных закупок открыт для локализованных сборочных производств зарубежных разработок. Лоббисты-локализаторы победили российских разработчиков при поддержке Минпромторга.

### Подмена понятий доверия на рынке КИИ

Следующая цель лоббистов – забрать себе рынок критической информационной инфраструктуры.

В ходе реализации Указа Президента РФ «О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры (КИИ) Российской Федерации» Минпромторг подготовил проект постановления Правительства о порядке перехода КИИ на доверенные программно-аппаратные комплексы. В своём проекте Минпромторг переопределяет понятие доверенных программно-аппаратных комплексов через критерий российского происхождения, т.е. через соответствие ПП № 719, требования которого только что снижены с переходом на балльную систему АНО ВТ. Таким образом, продукция зарубежной разработки может быть открыт не только рынок госу-

дарственных закупок, но и рынок критической инфраструктуры.

В международных стандартах и соответствующих стандартах ФСТЭК понятие доверенности определяется через соответствие требованиям безопасности и моделям угроз. Проект Минпромторга противоречит этому подходу, таким образом, игнорируются не только задачи развития промышленности, но и задачи безопасности. Снижая требования к продукции, искажая понятия в нормативной базе, Минпромторг получает возможность удовлетворить интересы лоббистов, под влиянием которых он находится. А за счёт смены системы координат поднять формальные показатели импортозамещения, которыми он отчитывается перед руководством государства. Шулерство маскирует импотенцию.

## Ловушка субсидий

Минпромторг без стратегии, целей и приоритетов распределяет значительные объёмы бюджетного финансирования – только по открытым программам в среднем около 10 млрд рублей в год. Деньги выделяются под обязательства по объёму выручки, а также по ряду других показателей, формально характеризующих успешность проектов. Условия предоставления субсидий выгодные. Например, по ПП № 109 (НИОКР электронного оборудования) государство берет на себя 70% расходов, а условием ставит трёхкратное превышение субсидии выручкой от продаж разработанной продукции за 7 лет. Для крупных компаний, работающих на стабильных рынках, выполнить это условие было не очень сложно. Искушение большое – получить в прибыль субсидию, реализуя планы, которые другие компании выполняют за свой счёт. Но расчёты на стабильность рынков не оправдались.

Сейчас десятки компаний отрасли, которые получили государственные субсидии на реализацию проектов НИОКР, не могут выполнить свои обязательства по соглашениям с Минпромторгом из-за изменений на рынке электроники, связанных сначала с пандемией, а затем с санкционными ограничениями. Минпромторг не признаёт эти обстоятельства форс-мажорными, предоставляя компаниям лишь отсрочку по выполнению обязательств на год, но не возможность пересмотреть основные показатели проектов. В большинстве случаев эта отсрочка не позволит компаниям избежать ответственности по соглашениям – возврата субсидий и оплаты 100% штрафа. Многие

компании, развитие которых Минпромторг субсидировал, могут быть в результате обанкрочены. Другим будет нанесён огромный ущерб, так как для возврата субсидий и штрафов им придётся продавать активы и отказываться от собственных инвестиционных проектов.

Похоже, что руководителей Министерства и отраслевого департамента это не волнует. Постановления Правительства были спроектированы, как ловушка. Улов в кризисные годы самый большой. Коммерческие «сервисы» по подготовке заявок на конкурсы субсидий, сопровождению проектов и решению проблем отчётности будут процветать вокруг министерства, расширяя свои площади в Москва-Сити.

Импотенция Минпромторга подтверждалась и на переходе к параллельному импорту – когда ФТС и Правительство приняли все необходимые решения, промышленность и торговля ждали, когда Минпромторг выдаст из себя приказ с перечнем кодов продукции и торговыми марками зарубежных производителей. Зачем нужно было составлять этот перечень? Минпромторг собирался продолжить защищать зарубежные бренды, которые не вошли в список, в ущерб российским заказчикам? Названия торговых марок были выпущены со множеством ошибок, перечень пришлось уточнять и пополнять несколько раз. Это притом что исчерпывающий список с точными названиями можно было запросить в ФТС.

Поручение предоставить разработчикам электроники налоговые льготы Минпром получил в середине 2020 года от Председателя Правительства РФ М.В. Мишустина. Но подготовленные Минпромом наспех изменения Налогового кодекса позволяли дать льготу единицам компаний с нулевым эффектом для отрасли. Минпром постоянно ссылался, что Минфин никогда не согласует расширение льгот на всех российских разработчиков и производителей электроники. В середине 2022 года благодаря инициативе и мужеству одного сотрудника Минпромторга изменения налогового кодекса, необходимые отрасли, были переданы на согласование в Минфин и – о чудо! – были поддержаны и вскоре утверждены. Но следующим шагом Минпромторг утверждает перечень кодов ОКПД, которым ограничивает распространение налоговых льгот, большинство компаний отрасли снова не могут ими воспользоваться. Объяснить логику перечня кодов невозможно, они

разноуровневые из разных групп продукции и выглядят, как натканные случайным образом. Но смотреть нужно не на коды, а на процесс подготовки решений. Всё это коды учредителей консорциумов. На вопрос – как же другие компании отрасли? – у Минпромторга один ответ – идите в консорциум.

## Если Минпромторга не будет

Многие боятся, что если в Минпромторге начнутся изменения, будет ещё хуже. Говорят, что на переправе коней не меняют. Но если конь сдох и сгнил, он не везёт, промышленность тащит его на себе. Давайте сбросим. Уверен, что электронной промышленности будет лучше. Судить о других отраслях не возьмусь.

Отсрочку от призыва для предприятий ОПК возьмёт на себя Министерство обороны. И справится с этим. У него есть всё необходимое. За разработчиков и производителей гражданской продукции вступится Минцифры, ведь электроника – это основа информационных технологий. Минцифры не делали этого исключительно из соображений аппаратной субординации с Минпромторгом.

Стратегию развития отрасли предприятия подготовят совместно с разработчиками программного обеспечения. У электроники и ПО стратегия должна быть общей, иначе как создавать доверенную информационную инфраструктуру. Эта задача также уйдет в Минцифры, а за ней и распределение финансирования. Механизмы грантовой поддержки Минцифры прозрачны, технологичны и эффективны. По наиболее проблемным проектам, просубсидированным раньше, договоримся в Правительстве о признании обстоятельств форс-мажорными.

Меры регулирования рынка государственных закупок и критерии подтверждения российского происхождения продукции будут согласованы между компаниями в отраслевых ассоциациях. Ведение реестра российской продукции перейдёт в торгово-промышленную палату.

## Заключение

Решения по изменениям в министерствах не принимаются быстро. А эта статья забудется через месяц. Чтобы добиться изменений, придётся многократно снова поднимать проблему импотенции Минпромторга. Собираюсь делать это на регулярных пресс-конференциях. Основная повестка пресс-конференций будет позитивная – о задачах, возможностях, проектах развития отрасли.



# Способы прогнозирования периода стойкости режущих инструментов

Артём Гамов (denisenko@arbelosnpp.ru)

В статье рассмотрены способы прогнозирования периода стойкости режущего инструмента. Выявлены недостатки существующих методов и предложен альтернативный способ прогнозирования стойкости.

## Введение

Для промышленных предприятий актуальны задачи снижения трудоёмкости операций и себестоимости изготовления деталей с обеспечением заданных показателей качества, поэтому технологические бюро ведут постоянный поиск путей совершенствования технологических процессов изготовления деталей с учётом возможностей, предоставляемых современным оборудованием и высокопроизводительным инструментом, информационным и программным обеспечением. В условиях современного производства чрезвычайно важным является определение момента замены инструмента, с помощью которого производится механическая обработка заготовок на станках с ЧПУ.

## Основная часть

В настоящее время производственники пытаются повысить эффективность замены режущего инструмента с применением статистических методов, отслеживая время работы инструмента и, для страховки, оставляя неиспользованными 20–30% от ресурса режущего инструмента [1, 2]. Такой вариант допустим при достаточно стабильных параметрах и качестве инструмента. Для отечественного инструмента задача осложнена тем, что стойкость инструмента даже одной партии имеет довольно широкий разброс. Кроме того, на современных машиностроительных предприятиях широко применяют сборные режущие инструменты, содержащие несколько режущих пластинок, имеющих разную стойкость. Всё это повышает риск получения брака или поломки инструмента в процессе резания, чего производитель не желает допустить, особенно при обработке заготовок из дорогостоящих материалов. Кроме того, такие ситуации недопустимы, когда обработка заготовок продолжается в течение длительного времени: неисправимый брак почти готовой детали, вызванный поломкой

инструмента, может привести к слишком большим финансовым потерям.

Способы прогнозирования периода стойкости режущих инструментов можно разделить на три группы.

В первую группу входят способы, основанные на измерении некоторых характеристик процесса резания, например, термо-ЭДС, силы резания и т.п., связанных со стойкостью инструмента. Для реализации этих способов необходимо кратковременное проведение процесса резания данным инструментом в условиях, близких к эксплуатационным. Существенным недостатком этой группы прогнозирования являются затраты времени, труда, материалов, связанные с необходимостью проведения процесса резания.

Ко второй группе относятся способы, основанные на различных теоретических моделях изнашивания режущих инструментов. Аналитические методы прогнозирования лишены недостатков, присущих первой группе, но, как правило, формулы для расчёта периода стойкости имеют трудноопределимые или неизвестные параметры.

В третью группу входят способы, основанные на связи стойкости инструмента с каким-либо физическим свойством инструментального материала, количественные характеристики которого могут быть измерены без проведения резания. Способы третьей группы достаточно легко и быстро реализуются с помощью универсальной или специальной аппаратуры.

Методы прогнозирования периода стойкости режущего инструмента, основанные на использовании параметров, характеризующих материал режущего инструмента, базируются на различии численных значений характеристик физико-химических свойств инструментального материала в зависимости от колебаний его состава, структуры и параметров процесса изготовления. Эти методы позволяют получить информацию, необходи-

мую для прогнозирования вне процесса резания, например, на стадии изготовления режущего инструмента.

Имеются различные подходы к осуществлению таких методов прогнозирования. Так, в работе Э.С. Горкунова [6] отмечается, что структурные изменения в твёрдых сплавах влияют как на прочностные, так и на магнитные свойства, и предполагается, что по магнитным свойствам можно оценивать не только твёрдость, предел прочности, но и специальные эксплуатационные свойства, такие как стойкость режущего инструмента. При обработке углеродистой стали У7 твердосплавными пластинами (10% Co, 75% WC и 15% (TiC, TaC, NbC)) пластины с меньшей коэрцитивной силой имеют более высокую степень износа. Сопоставление результатов испытаний со структурой сплавов показало, что для образцов с меньшей коэрцитивной силой характерны более крупные прослойки кобальтовой связки и что для этих образцов характерна меньшая плотность и твёрдость [6]. Недостатком этого метода является сложность определения коэрцитивной силы образцов больших размеров и (или) сложной формы. Также этот метод применим только к магнитным материалам.

В исследовании А.М. Пинахина [8] приведены результаты исследований закономерностей изнашивания инструмента после импульсной лазерной обработки (ИЛО). Полученные результаты говорят о наличии многократной приработки инструмента в процессе изнашивания. Это способствует повышению износостойкости инструмента против абразивного изнашивания и хрупкого разрушения.

Существующая концепция, согласно которой после ускоренного износа начинается стадия катастрофического износа с прогрессирующей потерей режущих свойств для твердосплавного инструмента, прошедшего ИЛО, не всегда находит экспериментальное подтверждение. Для большинства режущих инструментов, прошедших ИЛО, износостойкость в процессе приработки повышается.

Следует внести также коррективу и в величину критерия затупления твёрдо-

сплавного инструмента, прошедшего ИЛО. Так, результаты опытных данных [8] показали, что критерий затупления увеличился в 4-5 раз по сравнению с нормативным. Благодаря этому существенно увеличивается продолжительность работы инструмента, в основном, за счёт повышения прочности твёрдого сплава.

Влияние динамических взаимодействий в технологических системах на износ инструмента исследовал Г.О. Оборский [10]. Износ рабочих поверхностей инструмента представляет собой сложный физико-химический процесс разрушения и состоит из следующих физических явлений: упругих и пластических деформаций, структурных изменений, молекулярных взаимодействий, тепловых и термоэлектрических процессов. Автор выявил зависимости стойкости инструмента от амплитуды колебаний. Эти зависимости имеют вид кривых с ярко выраженными экстремумами. Наибольшая стойкость наблюдается при определённой амплитуде колебаний. Как увеличение, так и уменьшение амплитуды колебаний приводят к резкому снижению стойкости. Такой эффект возникает в результате воздействия следующих противоположных факторов. С одной стороны, автоколебания, возникающие в процессе резания, так же, как и специально возбуждаемые в зоне резания вынужденные колебания, приводят к облегчению пластической деформации, уменьшению коэффициента трения по поверхностям инструмента, к заметному снижению силы резания и, следовательно, к уменьшению интенсивности изнашивания. С другой стороны, циклическое нагружение инструмента при увеличении интенсивности автоколебаний, начиная с определённого уровня, вызывает усталостное разрушение режущей кромки [12]. При этом стойкость инструмента снижается. Положение точки экстремума, соответствующее максимуму стойкости, зависит от условий резания и характеристик обрабатываемого и инструментального материалов.

Общим недостатком методов прогнозирования стойкости с помощью параметров, характеризующих материал режущего инструмента, является то, что анализ физико-химических показателей материала инструмента позволяет судить об относительной стойкости одного режущего инструмента по сравнению с другим. Для установления корреляционной связи физико-химических показателей со стойкостью необходимо дополнительное проведе-

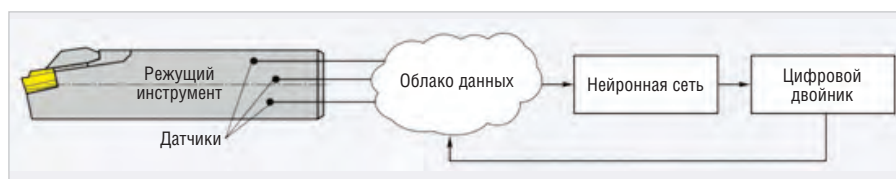


Рис. 1. Схема построения ЦД

#### Результаты оценки систем

| Параметры для сравнения                                                | Системы                                  |                                                         |                                          |                               |                            |                                               |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------|
|                                                                        | PROMETEC Promos (Германия)               | NORDMANN (Швейцария)                                    | MONTRONIX Diagnostic Tools (Германия)    | Brankamp iMBoard (Германия)   | Brankamp CMS (Германия)    | СТАНКИН Machine Tool Diagnostics (Россия)     |
| Способ отображения результатов                                         | График зависимости сила/время            | График зависимости сила/время                           | График зависимости сила/время            | График зависимости сила/время | Текстовая индикация        | График зависимости сила/время                 |
| Интеграция с системами ЧПУ                                             | SINUMERIK 810D/840D                      | SINUMERIK 840D, REXROTH FUNUC                           | SINUMERIK 810D/840D                      | SINUMERIK 810D/840D           | Автономный модуль          | SINUMERIK 840D AxiOMA                         |
| Диагностические данные                                                 | Силы RxpRypPx АЗ, мощности, вибродатчики | Силы RxpRypPx АЗ, мощности, вибродатчики, дистанционный | Силы RxpRypPx АЗ, мощности, вибродатчики | Работа с различными датчиками | АЗ и продольной деформации | Силы RxpRypPx                                 |
| Реализация функции прогнозирования в реальном времени                  | Не реализована                           | Не реализована                                          | Не реализована                           | Не реализована                | Не реализована             | Реализована                                   |
| Реализация функции диагностики режущего инструмента в реальном времени | Реализована                              | Реализована                                             | Реализована                              | Реализована                   | Реализована                | Реализована                                   |
| Независимость от системы ЧПУ                                           | Только встроенная версия                 | Только встроенная версия                                | Только встроенная версия                 | Только встроенная версия      | Автономный модуль          | Возможна реализация в виде автономного модуля |
| Возможность использования различных диагностических алгоритмов         | Не реализована                           | Не реализована                                          | Не реализована                           | Не реализована                | Не реализована             | Реализована                                   |

ние стойкостных испытаний с использованием заготовок из требуемого материала. Не исключено, однако, что в будущем можно будет судить о стойкости на основании комплексного анализа физико-химических показателей режущего и обрабатываемого материалов без проведения дополнительных стойкостных испытаний.

Группа учёных из НГТУ им. Р.Е. Алексеева разработала цифровой двойник режущего инструмента для механо-обрабатывающего производства [9]. Модель режущего инструмента построена на основе нейросетевого моделирования (рис. 1). Показано, что разработанная виртуальная модель ещё до реализации реального процесса изготовления режущего инструмента путём варьирования входных данных искусственной нейронной сети даёт возможность оптимизировать состав и структуру износостойкого покрытия и определять режимы обработки, обеспечивающие максимальную износостойкость режущего инструмента. Циф-

ровой паспорт режущего инструмента позволит потребителю избежать покупки контрафактного изделия.

Из данного исследования следует вывод, что НС позволяют моделировать износостойкость выбранного РИ и состав покрытия на стадии разработки нового технологического процесса без проведения трудоёмких стойкостных испытаний.

На рынке существует множество диагностических систем, отвечающих за надёжность и контроль процесса механической обработки изделий в автоматизированном производстве и использующих разные принципы и подходы. Многообразие существующих решений обусловлено разбросом критериев оценки износа инструмента и отсутствием единого подхода, соответствующего технологическим задачам и техническим возможностям конкретных технологических комплексов и оборудования. Результаты оценки основных систем, представленных на рынке, сведены в табл. [7].



Рис. 2. Архитектурная модель системы диагностики и прогнозирования состояния режущего инструмента в реальном времени

Зарубежные системы, как правило, ориентированы только на диагностику износа режущего инструмента, а прогноз остаточной стойкости не производится. Отечественные коммерческие решения для диагностики инструмента в реальном времени практически отсутствуют [3, 4].

По результату анализа удалось выявить, что входными параметрами для отслеживания износа будут составляющие силы резания, температура и звуковые сигналы, в том числе и вибрация. Следовательно, нужны датчики: вибродатчик, датчик акустической эмиссии, тензометрический и т.д. После этого полученные сигналы можно передать в наше «ядро», где будет происходить прогнозирование и диагностика в реальном времени. Такой метод применяет А.А. Козлов [7]. Отличие процедуры прогнозирования заключается в формировании обучающей выборки из исходного массива измерений. С учётом всех требований представлена архитектурная модель системы диагностики и прогнозирования состояния режущего инструмента в реальном времени (рис. 2).

В процессе обучения на вход НС подаётся вектор параметров технического состояния электромеханической системы из последовательных значений временного ряда интервала наблюдения. Вектор состоит из тех параметров, которые нам необходимо прогнозировать, соответственно, для прогноза выбирается и тот интервал времени, на котором значения параметров ТС известны. Выходной вектор НС формируется из значений временного

ряда интервала упреждения прогноза (интервала времени, на который разрабатывается прогноз) [5].

Предлагаемый способ диагностики и прогнозирования станков с ЧПУ с использованием программы «ЭМС-НС» позволяет оценивать состояние ЭМС, принимать своевременные корректирующие действия, снизить потери от отказов и может быть рекомендован к внедрению на предприятиях для диагностики и прогнозирования работоспособности электроприводов различных станков с ЧПУ.

## Заключение

Подход А.А. Козлова позволяет использовать базу данных с эталонными данными, с данными о физико-химических свойствах материалов, а использование НС позволяет делать прогноз без дополнительных испытаний. Исследование Ю.Г. Кабалдина [9] показало, что НС позволяют симулировать износостойкость выбранного РИ и состав покрытия на стадии разработки нового технологического процесса без проведения трудоёмких стойкостных испытаний. Если взять концепцию цифрового двойника и внедрить в архитектурную модель системы диагностики и прогнозирования состояния режущего инструмента, то получится эффективная система прогнозирования износостойкости режущего инструмента. С её помощью замена инструмента будет производиться с минимальным запасом стойкости, что позволит уменьшить затраты на производство единицы изделия.

## Литература

1. Синопальников В.А., Григорьев С.Н. Надёжность и диагностика технологических систем: учебник. М.: Высшая школа, 2005. 343 с.
2. Черпаков Б.И., Григорьев С.Н. Тенденции развития технологического оборудования в начале XXI века // Ремонт, восстановление, модернизация. 2003. № 10. С. 2–7.
3. Тимофеев В.Ю., Зайцев А.А., Крутов А.В. Модель устройства диагностики металло-режущего инструмента по сигналу термо-ЭДС // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. Т. 5. № 5. С. 42–45.
4. Зориктуев В.Ц., Никитин Ю.А., Сидоров А.С. Мониторинг и прогнозирование износа режущего инструмента // СТИН. 2007. № 10. С. 31–34.
5. Комарцова Л.Г., Максимов А.В. Нейрокомпьютеры: учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МГТУ имени Баумана, 2002. 320 с.
6. Горкунов Э.С., Ульянов А.И. Магнитные свойства и методы контроля изделий из порошковых вольфрамкобальтовых твёрдых сплавов // Дефектоскопия. 1995. № 2. С. 15–42.
7. Козлов А.А., Аль-Джонид Халид. Диагностика и прогнозирование износа режущего инструмента в реальном времени // Современные материалы, техника и технологии. 2017. № 4. С. 2–4.
8. Пинахин А.М., Пинахин И.А., Иванова А.С., Левченко А.А. Кинетика изнашивания твердосплавного режущего инструмента // Сборник научных трудов: Серия «Естественно-научная». Ставрополь: СевКавГТУ, 2004. № 1.
9. Кабалдин Ю.Г., Шатагин Д.А., Кузьмишина А.М. Разработка цифрового двойника режущего инструмента для механообработывающего производства // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2019. № 4. С. 11–17.
10. Оборский Г.А., Оргиян А.А. Влияние динамических взаимодействий в технологических системах на износ инструмента // Труды Одесского политехнического университета. 2005. Вып. 1(23). С. 1–6.
11. Остатчук А.К., Маслов Д.А., Овсянников В.Е. и др. Применение виброакустики для контроля износа режущего инструмента // Естественные и технические науки. 2009. № 2. С. 266–268.
12. Каширская Е.Н. Влияние усталостных напряжений на стойкость металлорежущего инструмента // Актуальные проблемы механики сплошной среды: Труды II междунар. конф. (в 2 т.). Т. 1. Ереван, 2010. С. 283–286.





## ЛАБОРАТОРИЯ ИСПЫТАНИЙ

### ЭКБ И РЭА

## АО «ТЕСТПРИБОР» ПРОВОДИТ ШИРОКИЙ СПЕКТР ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ (ЭКБ) И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ (РЭА)

Для обеспечения качественной поставки ЭКБ проводятся:

- ✓ Входной контроль
- ✓ Отбраковочные испытания
- ✓ Климатические испытания
- ✓ Механические испытания
- ✓ Диагностический неразрушающий контроль
- ✓ Разрушающий физический анализ
- ✓ Испытания по оценке надежности ЭКБ
- ✓ Проверка на отсутствие признаков контрафактной продукции

### НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

- ГОСТ РВ 20.57.416
- ГОСТ РВ 20.57.305
- ГОСТ РВ 20.57.306
- ГОСТ РВ 20.57.414
- ГОСТ Р 51293-99
- ГОСТ 20.57.406
- ГОСТ 9.048
- ОСТ В 11.073.013
- КТ-160G

### АККРЕДИТАЦИЯ

- СДС «ЭЛЕКТРОНСЕРТ»  
№ЭС 01.061.0140-2021 от 25 июня 2021 г.
- СДС «ВОЕННЫЙ РЕГИСТР»  
№ВР АА.7.41.0040-2017 от 26 мая 2017г.
- Межгосударственный авиационный комитет - Авиационный регистр (АРМАК)  
от 21 октября 2016 г.
- Аттестат Росавиации от 22 ноября 2021 г.

Реклама



+7 (495) 657-87-37



tp@test-expert.ru  
www.test-expert.ru



125480, г. Москва,  
ул. Планерная, д. 7А

# Использование онтологического инжиниринга при анализе технологических линий

Евгений Курнасов, Анна Володина, Галина Богомольная,  
Дмитрий Киселев (РТУ МИРЭА)

В статье рассматривается особенность применения метода онтологического инжиниринга для выявления «узких» мест на технологической линии сортировки и первичной переработки пластиковых изделий. Предложена семантическая модель сектора оборудования технологической линии, приведена матрица определения приоритетов атрибутов, определены условия, влияющие на производительность технологической линии.

## Введение

Наряду с высокими темпами развития информационного общества сейчас активно проходит цифровая трансформация промышленных предприятий с внедрением новых технологий (искусственный интеллект, блокчейн, анализ данных, Интернет вещей и др.) [1, 2]. Важность их использования для оценки эффективности выполнения операций технологического процесса, контроля состояния оборудования и затрат ресурсов на его обслуживание сегодня особенно очевидна.

Каждая из используемых на производственном предприятии автоматизированных систем использует свой функционал и алгоритмы управления для достижения максимальной эффективности. В данной работе делается акцент на обеспечение работоспособности оборудования технологических линий за счёт применения метода онтологического инжиниринга [3–5]. Внедрение в действующую на производственной линии автоматизированную систему управления аналитической компоненты на основе онтологического инжиниринга позволяет выявить основные «узкие» места в технологической цепи, определить область, в которой происходит неопределённость внешних и внутренних факторов или параметров выполняемых технологических процессов, влияющих на общую эффективность производства.

## Основная часть

Процесс разработки такой аналитической компоненты для автоматизированных систем управления технологическими линиями предусматривает этап анализа всех исследуемых процессов и подпроцессов. При этом важ-

ным является подробное отображение структуры заранее выявленной проблемной области в исследуемом технологическом процессе. Использование в этом случае онтологий и их расширение позволяет применять единый информационный базис, что, в свою очередь, обуславливает отсутствие необходимости дополнительных преобразований информации в соответствии с требованиями отдельных автоматизированных систем, действующих на производстве.

Анализ информации при онтологическом моделировании [6–8] отделяет понятия от их представления. Это очень важный и принципиальный тезис, поскольку восприятие некоторых процессов и подпроцессов может отличаться от их представления (сути) в действующих на производстве автоматизированных системах управления.

Онтология определяется как

$$O = \langle X, R, F \rangle,$$

где  $X$  – множество понятий (концептов) предметной области,

$R$  – множество отношений между понятиями,

$F$  – множество функций интерпретации, заданных на концептах и/или отношениях.

Модель онтологической системы определяется как

$$Z = \langle O, P, M \rangle,$$

где  $O$  – онтология верхнего уровня, содержащая общие понятия и отношения, не зависящие от предметной области,

$P$  – множество предметных онтологий и онтологий задач предметной области,

$M$  – модель вывода онтологической сети (например, для изменения критериев выбора параметров для анализа).

Классификация онтологии в виде иерархического дерева представлена на рис. 1.

Среди основных преимуществ использования онтологии при анализе технологических линий можно выделить следующие.

1. Структурируемая визуализация информации.
2. Формирование целостного взгляда на анализируемый объект.
3. Анализ предметной области через систему вопрос–ответ.
4. Точность определения требований к информационной системе.
5. Возможность дополнять основу для дальнейшего моделирования.

Недостатки использования онтологического инжиниринга.

1. Трудоёмкость структурирования.
2. Частые ошибки в построении так называемых «паутинок».
3. Необходимость понимания и знания нотаций концептуальных моделей.

Очевидно, что использование онтологического инжиниринга при анализе технологических линий имеет больше преимуществ, чем недостатков.

На практике онтологический инжиниринг применяют в системах автоматизированного сбора информации и анализа, управлении корпоративными информационными ресурсами, а также в системах сферы образования и др.

В нашем случае онтологический инжиниринг используется для выявления узких мест на технологической линии сортировки и первичной переработки пластиковых изделий [9–12]. Важность определения узких мест в цепочке процессов на такой технологической линии в том, что в совокупности, при определённых условиях, они могут значительно снизить её производительность и замедлить производство в целом.

Технологическая линия сортировки и первичной переработки пластиковых изделий (рис. 2) условно разделена на девять звеньев. Каждая позиция звена имеет своё функциональное назначение. Например, позиция звена 1 используется для дозированной подачи сортируемых пластиковых изделий на линию, а позиция звена 5 отвечает за опреде-

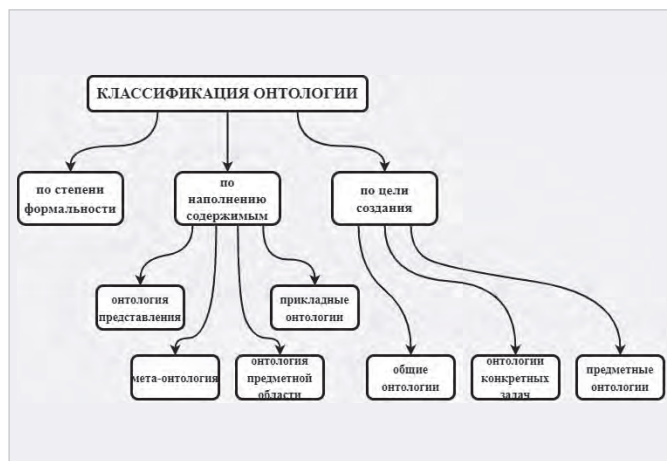


Рис. 1. Классификация онтологий

ление химического состава полимера пластиковых бутылок на технологической линии.

При разработке аналитической компоненты на основе онтологического инжиниринга [13–15] в структуре технологической модели линии сортировки и первичной переработки пластиковых изделий для выявления узких мест и уязвимостей были выделены три сектора по фазам работы технологической линии.

Основной акцент реализации аналитической компоненты в данной работе сделан для сектора оборудования, который является одним из ключевых и оказывает решающее значение для обеспечения эффективности технологической линии сортировки и первичной переработки пластиковых изделий.

Для сектора оборудования (учитывая работу технологической линии на участке перемещения сырья и полуфабриката, участке сортировки пластиковых бутылок и др.) определены следующие показатели:

- показатель потребления электроэнергии;
- эксплуатационные показатели технологического объекта (объём переработки сырья, эффективность (скорость) переработки сырья, качество получаемого полуфабриката);
- технические показатели пневмоворощителя (давление в соплах пневмоворощителя, количество сопл, расход потока воздуха, эффективность использования);
- технические показатели лент-транспортёров (скорость движения ленты, ширина ленты, масса транспортируемого сырья);
- показатели моющих средств в резервуарах (концентрация моющего средства, температура моющего сред-

ства, давление подачи струи моющего средства);

- технические показатели воздушных струй перемещения сырья (давление в соплах, расход потока воздуха, распыл воздушной струи);
- технические показатели спектра частот;
- технические показатели переработки сырья (дисперсия размельчённого сырья и их влажность).

Все перечисленные параметры в той или иной степени оказывают влияние на производительность технологической линии сортировки и первичной переработки пластиковых изделий. Именно поэтому при проведении онтологического моделирования показатель производительности для данного технологического объекта использовался в качестве базового анализируемого показателя.

Рассмотрим особенность применения метода онтологического инжиниринга для получения аналитической компоненты (содержащей семантическую модель данных, матрицу приоритетов и функцию влияния

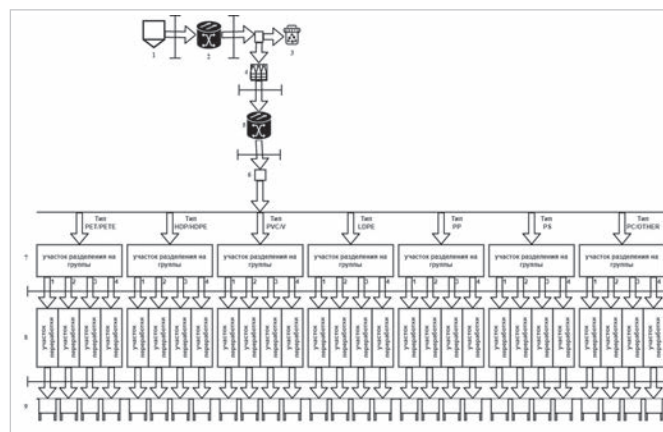


Рис. 2. Технологическая модель линии сортировки и первичной переработки пластиковых изделий

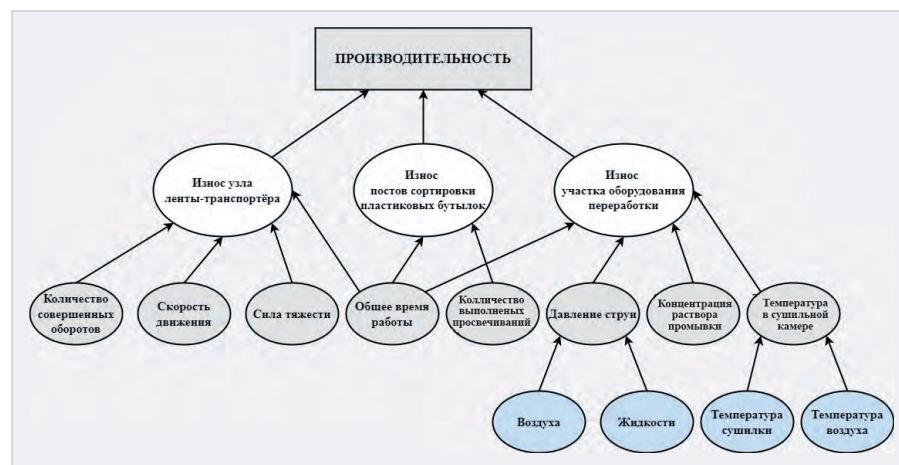


Рис. 3. Семантическая модель данных сектора оборудования технологической линии

на ключевой показатель), которая может служить не только для выявления «узких» мест на технологических линиях сортировки и первичной переработки пластиковых изделий, но и являться дополнительным функционалом автоматизированных систем для проведения предиктивного анализа эффективности выполняемых производственных процессов.

Онтологический инжиниринг при формализации области знаний предусматривает возможность разработки концептуальной схемы – семантической модели данных (паутины), которая, по сути, является фундаментом, на котором строятся все решения проблем работы с данными. Семантическая модель данных объединяет элементы информации прикладной области, отражая взаимосвязи компонентов всех уровней: от атрибутов, которые сами по себе могут иметь сложную, составную структуру на нижнем уровне, до искомым показателей на верхних.

На рис. 3 представлена полученная при проведении онтологического моделирования семантическая модель данных для сектора оборудования

Таблица 1. Основные параметры узла «лента-транспортёр»

| №                                      | Наименование параметра      | Условное обозначение | Единица измерения |
|----------------------------------------|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| 1                                      | Время работы                | t                    | Секунды (с)       |
| 2                                      | Сила тяжести                |                      | Ньютоны (Н)       |
| g – ускорение свободного падения ≈ 9,8 |                             | m – масса            | Тонны (т)         |
|                                        |                             | H/kg                 |                   |
| 3                                      | Скорость                    | V                    | м/с               |
| 4                                      | Количество оборотов привода | S                    | об/мин            |

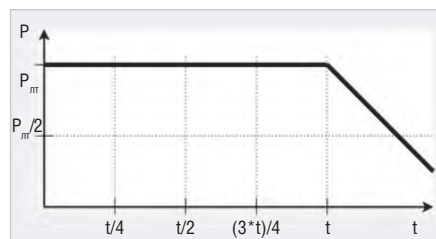


Рис. 4. График зависимости производительности узла «ленты-транспортёра» от общего времени работы

сортировки и первичной переработки пластиковых бутылок.

Выявление взаимосвязей всех элементов семантической модели данных осуществляется с учётом ключевого показателя, оказывающего наибольшее влияние на выполнение основных операций технологического процесса. Таких показателей может быть несколько. Выбор конкретного показателя осуществляется с учётом установленного на промышленном предприятии критерия эффективности.

При реализации семантической модели данных были определены признаки, которые влияют на базовый показатель. В нашем случае это производительность. К каждому признаку определены атрибуты – ключевые элементы каждого узла технологической линии. В свою очередь, эти элементы могут быть составными.

Аналитическими признаками, по которым характеризуется производительность, являются: износ узла ленты-транспортёра, износ поста сортировки пластиковых бутылок, износ участка оборудования переработки.

В качестве примера в табл. 1 показаны основные атрибуты, их единицы измерения и условные обозначения для узла «лента-транспортёр», находящегося на участке перемещения сырья и полуфабриката.

Определение приоритетов относится к одному из этапов нахождения атрибутов, которые в совокупности оказывают существенное влияние на выполнение технологического процесса. Определение приоритетов для этих атрибутов

задаёт направление будущих исследований по выявлению зависимостей различных параметров, обеспечивающих эффективную работу технологической линии.

В табл. 2 приведена матрица определения приоритетов атрибутов, влияющих на показатель «Производительность» для аналитического признака «Износ узла ленты-транспортёра». В данной матрице зависимостей технологических параметров приоритеты были установлены на основе принципа таблиц Броссо (искусственное пересечение двух атрибутов в ячейках).

Так как в нашем случае используются небольшие списки атрибутов, то электронные таблицы эффективно подходят для ранжирования.

При заполнении каждой ячейки таблицы на пересечении двух атрибутов необходимо ответить на вопрос, какому из них отдать предпочтение.

Возможны только два варианта ответа: знак «меньше» (<) показывает, что атрибут в строке важнее; знак «крышечка» (^) показывает, что важнее атрибут в столбце [16].

После определения важности ставится относительная оценка каждому из атрибутов.

Этап определения приоритетов служит двум целям. Во-первых, он помогает сосредоточиться на выявлении требований технологического процесса по тем атрибутам, от которых больше всего зависит эффективность выполнения процессов и работы оборудования. Во-вторых, он позволяет определить, как действовать при обнаружении противоречивых требований к достижению эффективности [16].

После построения матрицы зависимостей технологических параметров были определены условия соблюдения требований к технологическому оборудованию, которые в наибольшей степени влияют на ключевой показатель (рис. 4). Для показателя производительности узла ленты-транспортёра на участке перемещения сырья и полу-

Таблица 2. Определение приоритетов атрибутов на участке перемещения сырья и полуфабриката

|           | Приоритет | t, с | S, об/мин | V, м/с | F, Н |
|-----------|-----------|------|-----------|--------|------|
| t, с      | 3         |      | ^         | <      | <    |
| S, об/мин | 4         |      |           | <      | <    |
| V, м/с    | 2         |      |           |        | <    |
| F, Н      | 1         |      |           |        |      |

фабриката получена следующая закономерность:

$$P_{ЛТ} = \frac{F_T}{t}, \text{ при } t \leq t, S \leq S,$$

где  $P_{ЛТ}$  – производительность ленты-транспортёра,

$S$  – фактические совершённые обороты привода ленты-транспортёра,

$t$  – фактическое время работы ленты-транспортёра.

По результатам онтологического моделирования была получена структура данных (рис. 5), которая может быть интегрирована в действующую СУБД комплекса технологической линии сортировки и первичной переработки пластиковых изделий.

## Заключение

Использование метода онтологического инжиниринга позволяет определить факторы, влияющие на эффективность выполнения технологических процессов, увидеть картину изменения результата их выполнения от изменяемых показателей, а также выявить узкие места технологической линии, которые необходимо учитывать для обеспечения общей эффективности производства. По результатам онтологического инжиниринга для автоматизированной системы управления, действующей на технологической линии сортировки и первичной переработки пластиковых изделий, появилась возможность вычислять зависимость между затратами на обслуживание оборудования и его эффективностью выполнения технологических процессов и прогнозировать необходимость планового и предупредительного обслуживания. Результатом вычислений может быть прогноз времени, когда следует увеличить частоту обслуживания оборудования или необходимость его замены. Предложенная семантическая модель данных никогда не будет являться завершённой. Она всегда будет расширяться за счёт выявления новых узких мест на технологической линии.

## Литература

- # Литература
1. Холопов В.А., Гантц И.С., Антонов С.В. Применение информационных технологий при решении задач мониторинга выполнения производственных процессов в концепции Индустрии 4.0 // Промышленные АСУ и контроллеры. 2019. № 4. С. 49–58.
  2. Холопов В.А., Каширская Е.Н., Сохлаков Ф.В. и др. Информационно-управляющая система для управления технологическим процессом посредством цифрового двойника // Промышленные АСУ и контроллеры. 2020. № 8. С. 46–50.
  3. Авдошин С.М., Шатилов М.П. Онтологический инжиниринг // Бизнес-информатика. 2007. № 2 (2). С. 3–14.
  4. Сергиенко А.А., Кочеткова О.В. Применение онтологического инжиниринга для управления ИТ сервисами организации // Информационные технологии. 2008. № 10. С. 28–37.
  5. Авдошин С.М., Шатилов М.П. Информационные технологии онтологического инжиниринга // Информационные технологии. 2008. № 10. С. 28–37.
  6. Dobrov B., Loukachevitch N. Development of linguistic ontology on natural sciences and technology // Proceedings of the 5th International Conference on Language Resources and Evaluation, LREC 2006. P. 1077–1082.
  7. Соловьев В.Д., Добров Б.В., Иванов В.В. и др. Онтологии и тезаурусы: учебно-методическое пособие. Казань: Казанский государственный университет, 2006. 197 с.
  8. Guarino N., Welty C. Evaluating ontological decisions with ontoclean // Communications of the ACM. 2002. V. 45(2). P. 61–65.
  9. Шевцова А.А. Утилизация изделий из пластика // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 1 (57). С. 197–205.
  10. Шварц О., Эбелинг Ф.-В., Фурт Б. Переработка пластмасс / Под общ. ред. А.Д. Паниматченко. СПб.: Профессия, 2005. 320 с.
  11. Клинков А.С., Беляев П.С., Соколов М.В. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов: учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. 80 с.
  12. Аристархов Д.В., Журавский Г.И. и др. Технологии переработки отходов растительной биомассы, технической резины и пластмассы // Инженерно-физический журнал. 2001. № 6. С. 152–156.
  13. Норенков И.П. Интеллектуальные технологии на основе онтологий // Информационные технологии. 2010. № 1. С. 17–23.
  14. Мартыненко А.А., Шкаберин В.А. Применение онтологического подхода для реализации системы интеллектуального поиска в области CALS-, CAD-, CAM-, CAE-технологий // Вестник БрГТУ. 2008. №2. С. 103–110.
  15. Robin C., Uma G. A Novel Algorithm for Fully Automated Ontology Merging Using Hybrid Strategy // European Journal of Scientific Research. 2010. V. 47. P. 74–81.
  16. Вигерс К., Битти Д. Разработчика требования к программному обеспечению. 3-е изд., дополненное / пер. с англ. М.: Издательство «Русская редакция»; СПб.: БХВ-Петербург, 2014. 736 с.

**УПРАВЛЕНИЕ ПО КОНТРОЛЮ  
ЗА ИНОСТРАННЫМИ АКТИВАМИ  
Минфина США (OFAC)  
включило в SDN List  
РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДИТЕЛЯ  
КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ  
«АКВАРИУС», СЛЕДУЕТ  
ИЗ МАТЕРИАЛОВ OFAC.**

Также под санкции подпали предприятия космической отрасли – «Российский квантовый центр», РКС, «ИСС им. Решетнёва».

# Программно-аппаратный комплекс системы контроля и управления доступом

Иван Подзоров

В статье рассматривается веб-приложение для управления системой контроля и управления доступом.

## Введение

Цифровые технологии – это новая эра в жизни человечества. Современное общество невозможно представить без применения интернет-средств коммуникации. Онлайн-магазины, сервисы доставки еды, оплата коммунальных услуг и налогов в личном кабинете, отслеживание посылок: все эти возможности экономят время, ведь Интернет всегда под рукой.

Наука не стоит на месте, и с прогрессом нанотехнологий, уменьшением процессоров до миниатюрных размеров человек использует цифровые технологии во всех сферах жизни. Мобильные телефоны, носимая электроника и другие продукты современной эпохи не только помогают развиваться бизнесу, образованию, но и способны менять образ жизни человека.

Предметом исследования данной работы являются системы контроля и управления базой данных.

Цель работы заключается в разработке веб-приложения для управления системой контроля и базой данных через браузер в компании АНО «Национальное Фитнес Соединение».

## Система контроля и управления доступом

СКУД – это система контроля и управления доступом, иначе говоря, физический контроль доступа. Данная система позволяет контролировать, кто и когда заходил в то или иное помещение, а также позволяет использовать разграничение доступа.

## Языки программирования

Frontend – интерфейс веб-сайта – это то, что вы видите и с чем взаимодействуете в своём браузере. Также называемая «клиентской стороной», она включает в себя всё, с чем непосредственно сталкивается пользователь: от текста и цветов до кно-

пок, изображений и навигационных меню.

Существуют три основных языка для frontend-разработки: HTML, CSS, JavaScript. Вместе эти основные элементы создают всё, что визуально представлено при посещении веб-страницы, будь то покупка в Интернете, чтение новостей, проверка электронной почты или поиск в Google. Они известны как строительные блоки Интернета.

Backend – это часть веб-сайта, которую не видно. Она отвечает за хранение и организацию данных, а также за то, чтобы всё на стороне клиента действительно работало. Серверная часть взаимодействует с интерфейсом, отправляя и получая информацию для отображения в виде веб-страницы. Такие языки программирования, как Golang, Ruby, PHP, Java, .Net и Python часто работают на платформах и упрощают процесс веб-разработки.

Веб-сайту нужна база данных для управления всей информацией о клиентах и продуктах. База данных хранит содержимое веб-сайта в структуре, которая упрощает извлечение, организацию, редактирование и сохранение данных. Она работает на удалённом компьютере, называемом сервером. Существует множество различных широко используемых баз данных, таких как MySQL, SQL Server, PostgreSQL и Oracle.

## Выбор инструментов разработки

Bootstrap – это мощный набор инструментов, набор инструментов HTML, CSS и JavaScript для создания адаптивных веб-страниц и веб-приложений.

Преимущества его заключаются в том, что:

- предлагается гибкий CSS, который адаптируется к различным телефонам, планшетам и настольным компьютерам. Bootstrap также совместим с разными браузерами и поддерживается Chrome, Firefox, Internet Explorer, Safari и Opera;
- требуется только минимальная настройка; функциональный макет можно создать менее чем за час;

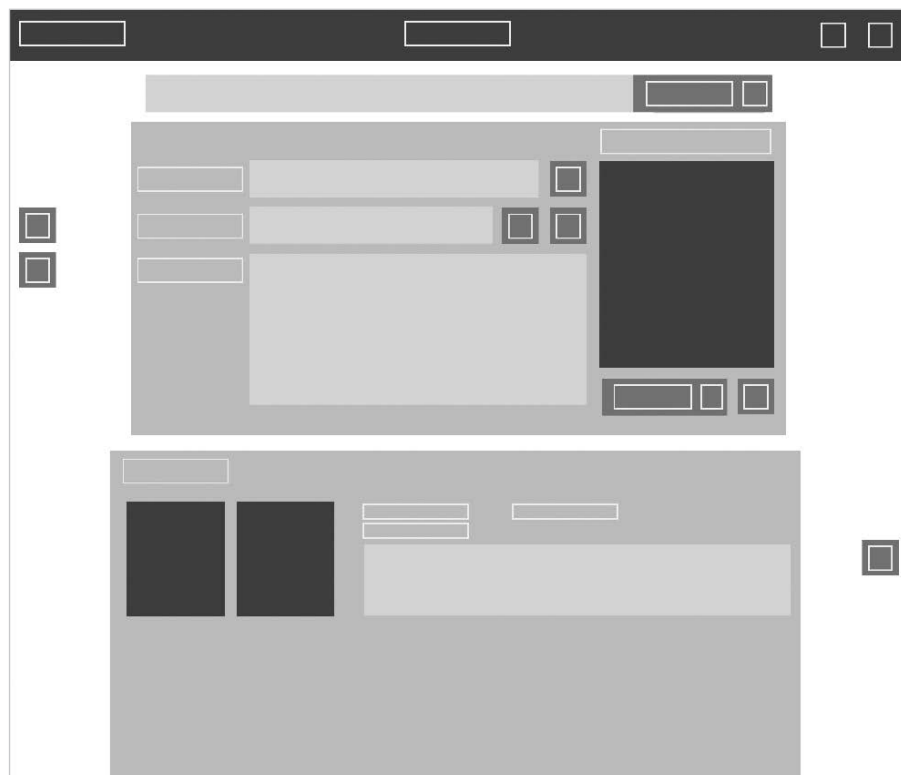


Рис. 1. Прототип интерфейса веб-приложения

● предлагается отличная документация и имеется большое сообщество. Язык программирования Go является статически типизированным языком программирования и работает с механизмом, который позволяет точно компилировать код, заботясь о преобразованиях типов и уровне совместимости. Это даёт разработчикам свободу от проблем, связанных с языками с динамической типизацией.

Преимущества:

- простота использования;
- возможности кроссплатформенной разработки;
- более быстрая компиляция и выполнение;
- экономия времени.

Недостатки:

- слишком просто;
- отсутствие графической библиотеки;
- нет конкретной ниши;
- плохая обработка ошибок;
- отсутствие рамок.

## SSL- и TLS-сертификаты

SSL-сертификат выдаётся центром сертификации (CA). В этой модели CA является заслуживающей доверия третьей стороной, которая будет аутентифицировать обе стороны транзакции. SSL-сертификат связывает вместе доменное имя, имя хоста и имя сервера, а также идентификационные данные и местоположение организации.

Преимущества SSL-сертификата:

- устраняет риск фишинга и других кибератак;
- обеспечивает безопасную связь между браузером и сервером;
- защищает конфиденциальную информацию пользователя;
- позволяет пользователям совершать транзакции без риска кражи данных;
- создаёт доверие в сознании клиента и повышает его уверенность в себе;
- устраняет предупреждения и оповещения браузера;
- повышает посещаемость веб-сайта и помогает генерировать больше бизнеса;
- повышает репутацию организации в Интернете;
- преимущества ранжирования, предоставляемые Google веб-сайтам с подержкой SSL.

## Интерфейс веб-приложения

С использованием Figma был разработан прототип интерфейса веб-приложения (рис. 1).

В правом верхнем углу в header находится кнопка профиля и вход/выход.

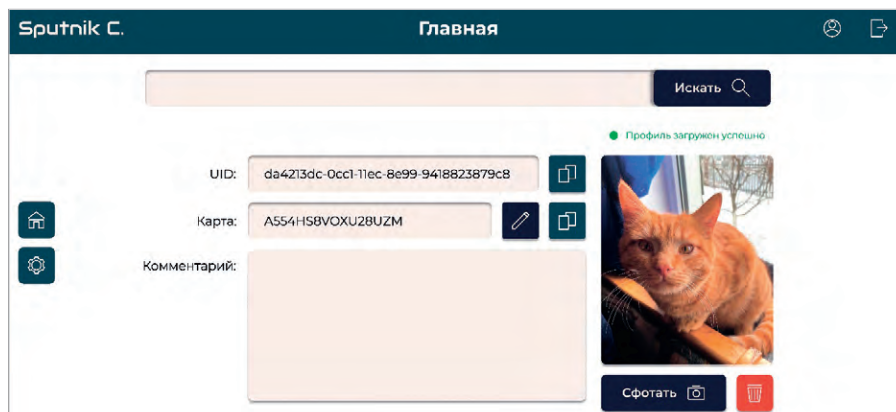


Рис. 2. Наполненный информацией прототип карточки клиента

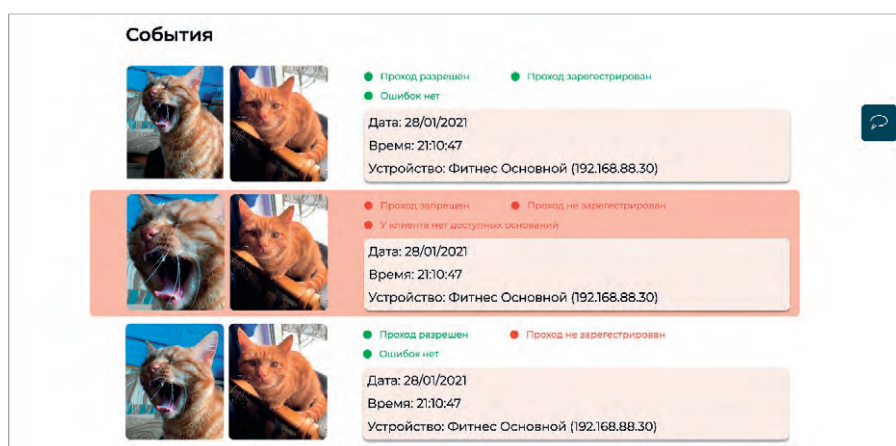


Рис. 3. Наполненный информацией прототип журнала проходов

Под ним размещено поле поиска клиента по user ID (UID) или карте.

После поиска в карточке клиента отображается информация по клиенту:

- UID;
- номер карты;
- комментарий;
- фотография;
- кнопки «копировать» и «изменить» расположены правее от поля «UID» и «Карта».

Чтобы сфотографировать клиента или загрузить его фотографию, необходимо нажать кнопку «Сфотографировать», для удаления – кнопку с иконкой «корзина», которая находится правее.

Если вся информация по клиенту загружена в базу, то над фотографией клиента отображается зелёный статус «Профиль загружен», если нет, то красный статус «Профиль не загружен». Пример с наполненной информацией по карточке клиента представлен на рис. 2.

Под карточкой клиента размещён журнал проходов «События», в котором планируется отображение фотографии клиента, сделанной на турникете во время прохода, и рядом фото профиля из карточки клиента для сравнения.

Правее от фотографий такая информация, как:

- проход разрешён / проход запрещён;
- проход зарегистрирован / проход не зарегистрирован – регистрация прохода происходит после прохождения клиента через турникет;
- ошибок нет или текст ошибки – в случае, если клиенту проход запрещён, отображается информация об ошибке;
- дата и время прохода;
- IP-адрес устройства, через которое клиент осуществлял проход.

Пример с наполненной информацией по журналу событий представлен на рис. 3.

## Заключение

Подведем итоги: был выбран фреймворк Bootstrap и язык программирования Go для разработки dt-приложения. Установлено следующее: в соответствии с Федеральным законом № 152-ФЗ «О персональных данных» любая организация, которая собирает, хранит, обрабатывает персональные данные, в том числе фамилию, имя, отчество, дату рождения, другие паспортные данные, должна обеспечить защиту этих данных, защиту прав на неприкосновенность частной жизни, личную и семейную тайну.

## Литература

1. Статья о системе контроля и управления доступом [Электронный ресурс] // URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Система\\_контроля\\_и\\_управления\\_доступом](https://ru.wikipedia.org/wiki/Система_контроля_и_управления_доступом) (дата доступа: 13.04.2020).
2. Статья на тему «СКУД от «А» до «Я», регулярно обновляемый гайд по выбору систем контроля и управления доступом» [Электронный ресурс] // URL: [https://securityrussia.com/blog/vibrat\\_skud.html](https://securityrussia.com/blog/vibrat_skud.html).
3. Статья на тему «Автоматизация и интеграция» [Электронный ресурс] // URL: <https://itconnect24.ru/automation-integration/>.
4. Статья на тему «Face ID» [Электронный ресурс] // URL: <https://itconnect24.ru/face-id/>.
5. Статья на тему «Защита персональных данных в России» [Электронный ресурс] // URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Защита\\_персональных\\_данных\\_в\\_России](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Защита_персональных_данных_в_России).
6. Статья на тему «Языки программирования для создания сайтов» [Электронный ресурс] // URL: <https://studiotbit.ru/blog/sozдание-web-saytov/yazyki-programirovaniya-dlya-sozdaniya-saytov/>.
7. Статья на тему «Языки программирования для веб-разработки» [Электронный ресурс] // URL: <http://juice-health.ru/programming/web-development/505-programming-languages-for-web-development>.
8. Статья на тему «TLS и SSL: Необходимый минимум знаний» [Электронный ресурс] // URL: <https://mnorin.com/tls-ssl-neobhodimy-j-minimum-znaniy.html>.
9. Статья на тему «Что такое TLS» [Электронный ресурс] // URL: <https://habr.com/ru/post/258285/>.
10. Статья на тему «Что такое шифрование и как оно работает?» [Электронный ресурс] // URL: <https://experience.dropbox.com/ru-ru/resources/what-is-encryption>.
11. Семенов В.А. Программно-аппаратная защита информации: учебное пособие / В.А. Семенов, Н.В. Федоров. М.: МГИУ, 2005. 215 с.



## НОВОСТИ МИРА

### ЭТА БИТВА БУДЕТ ЛЕГЕНДАРНОЙ: CANON НАМЕРЕНА ПОТЯГАТЬСЯ С ASML НА РЫНКЕ ЛИТОГРАФИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ. ОНА УЖЕ СОЗДАЛА НОВУЮ ТЕХНОЛОГИЮ ДЛЯ ЭТОГО

Компания ASML – почти монополист на рынке литографического оборудования для выпуска полупроводников. И вот, японский производитель Canon намеревается потягаться с ней. Завод для выпуска нового литографического оборудования построят в Японии. Предполагаемые инвестиции составят 345 миллионов долларов, а производство запустят уже весной 2025 года.

Важно отметить, что для производства там будут использовать технологию, которая названа нанопечатной литографией. Она позволяет обойтись без EUV-литографии (литография в глубоком ультрафиолете), которая требует много энергии и дорого стоит. Машины для формирования схем с помощью EUV-литографии производит только ASML.

Новая технология Canon удешевит производство за счёт того, что нанопечатная литография позволяет снизить стоимость производства до 40% и энергопотребление до 90%.

Отметим, что технология нанопечатной литографии была разработана более 10 лет назад — она позволяет создавать схемы на 10 нанометров с потенциальным уменьшением до 2–3 нанометров. Однако проблемы с реализацией заставили рынок перейти на EUV-литографию. Если технология докажет свою состоятельность, это может привести к существенному удешевлению микроэлектроники.

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

### ДВА ПРОЕКТА КРЭТ ВЫИГРАЛИ КОНКУРС СУБСИДИЙ МИНПРОМТОРГА РОССИИ

По итогам конкурса Министерства промышленности и торговли РФ два предприятия АО «КРЭТ» – УППО и ОКБ «Электроавтоматика им. П.А. Ефимова» – вошли в десятку рейтинга на получение субсидии из федерального бюджета.

Субсидии в размере 168 млн и 216 млн руб. соответственно будут предоставлены предприятиям АО «КРЭТ» госкорпорации «Ростех» на создание электронной компонентной базы и модулей. Об этом сообщили представители КРЭТ.

Заявка УППО подана на субсидирование производства универсального электронного силового модуля мощностью 30 кВт, основная область применения для которого – зарядные станции для электромобилей. На данный момент уже ведутся НИОКР, в первом полугодии 2023 г. запланирован старт производства. К 2026 г. прогнозируется выход на объём производства в 7500 единиц, что составит порядка 20% рынка силовых модулей.

Согласно поданной заявке ОКБ «Электроавтоматика им. П.А. Ефимова» планирует завершить разработку трех видов модулей электропитания повышенной помехозащищённости и конфигурирования сети для оптимизации системы снабжения к 2024 г. После чего в течение четырёх лет планируется производство 17,2 тыс. единиц продукции, что по прогнозам составит порядка 40% доли российского рынка электронной промышленности. Модули имеют широкий спектр применения в авиационной промышленности, железнодорожной отрасли, а также в телекоммуникационном оборудовании.

«В текущих условиях важно обеспечить финансирование импортозамещения электронной компонентной базы, и поддержка

Минпромторга в этом очень востребована. За счёт субсидий мы сможем возместить в первом случае порядка 64% затрат, а во втором – 90%, остальное финансирование – собственные средства КРЭТ. Заявленные продукты находятся на разных этапах производства, у проектов различные сроки реализации, но оба продукта имеют принципиальное значение для российского рынка», – сказал заместитель генерального директора по развитию гражданской продукции Максим Моторин.

Из протокола следует, что всего было подано 78 заявок, из них победителями стали только 30. С каждым предприятием будет заключено соответствующее соглашение в течение 30 рабочих дней с момента подписания протокола. Очередность подписания будет соответствовать порядковому номеру проекта в опубликованном списке: УППО присвоен второй номер, а ОКБ «Электроавтоматика им. П.А.Ефимова» – номер восемь. Одно из условий конкурса – обязательство претендента, что выручка от разработанных модулей составит не менее размера полученной субсидии, а от разработанной ЭКБ – не менее половины субсидии.

Концерн «Радиоэлектронные технологии» (АО «КРЭТ») – российский холдинг в радиоэлектронной отрасли. Образован в 2009 г. Входит в состав госкорпорации «Ростех». Предприятия концерна выпускают современную бытовую и медицинскую технику, оборудование и системы управления для ТЭК, транспорта и машиностроения. В концерн входят порядка 90 научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро и серийных заводов, расположенных в семи федеральных округах России с ядром в ЦФО. Общее количество сотрудников – порядка 43 тыс. человек.

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



ЗАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «ДОЛОМАНТ»

**ОТВЕТСТВЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА  
ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

2022

**100% РОССИЙСКАЯ КОМПАНИЯ**



### **ЗАКАЗНЫЕ РАЗРАБОТКИ**

**Разработка электронного оборудования по ТЗ заказчика в кратчайшие сроки**

- Модификация КД существующего изделия
- Разработка спецвычислителя на базе COM-модуля
- Конфигурирование модульного корпусированного изделия
- Сборка магистрально-модульной системы по спецификации заказчика
- Разработка изделия с нуля



### **КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО**

**Контрактная сборка электроники уровней: модуль / узел / блок / шкаф / комплекс**

- ОКР и технологические консультации
- Макеты, установочные партии, постановка в серию
- Комплектование производства отечественными и импортными компонентами и материалами
- Поддержание складских запасов РЭК и материалов, контролирование жизненного цикла комплектующих
- Серийное плановое производство
- Тестирование и испытания изделий
- Гарантийный и постгарантийный сервис

# Зачем нужны квантовые вычисления?

## Часть 2. Основные этапы развития квантовых компьютеров с вентиляльной обработкой

Виктор Алексеев (victor.alexeev@gmail.com)

Во второй части статьи рассматриваются основные этапы развития квантовых компьютеров с вентиляльной обработкой от формирования первых квантовых алгоритмов до современности. Проводится обзор различных существующих квантовых компьютеров.

В 1992 г. был окончательно сформулирован квантовый алгоритм, предложенный Дэвидом Дойчем совместно с Ричардом Йोजи (Richard Jozsa), ставший одним из первых квантовых алгоритмов, основанных на явлении квантовой запутанности и принципе суперпозиции. Этот алгоритм, получивший название «Дойч–Джозса», в различных модификациях используется и в современных моделях QC [1].

На стартовом этапе развития технологии квантовых компьютеров (CQC) были разработаны образцы кубитов и доказана принципиальная возможность реализации квантовых вычислений.

Американский математик Питер Шор (Peter Shor) в 1994 году разработал уникальный полиномиальный алгоритм разложения больших чисел на множители для квантового компьютера. Позднее он продемонстрировал возможность проведения сложных вычислений с помощью квантового компьютера при наличии слабой декогеренции и использования квантовой алгоритмической коррекции ошибок [2]. Теоретически алгоритм Шора для квантовых компьютеров может быть использован для взлома шифров. Однако, например, чтобы взломать протокол RSA-1024, нужно разложить на простые множители число  $2^{1024}$ . Мощному современному компьютеру, классическому КДП, потребуются сотни лет непрерывной работы, чтобы решить эту задачу с использованием существующих математических средств. Алгоритм Шора, который может быть использован для решения задач факторинга, обеспечивает экспоненциальное ускорение процесса разложения больших чисел на простые множители по сравнению с классическими алгоритмами бинарной логики. Тем не менее для взлома прото-

кола шифрования RSA-1024 в режиме реального времени понадобится универсальный квантовый программируемый вентиляльный квантовый компьютер с квантовой коррекцией ошибок вычислений, содержащий сотни тысяч кубитов. По оценкам специалистов, создание такого компьютера невозможно, по крайней мере, в ближайшее десятилетие [3].

В 1996 Лов Гровер (Lov Grover) предложил квантовый алгоритм, который сейчас известен как «алгоритм Гровера». Этот алгоритм позволяет квантовому компьютеру выполнять поиск в несортированной базе данных с гораздо большей скоростью, чем классический компьютер [4].

Теоретические работы Шора, Гровера, Дойча и многих других их последователей естественно вызвали взрывной интерес к тематике квантовых компьютеров.

Поскольку для компьютеров КДП подобные алгоритмы разложения были неизвестны, сообщения в серьёзных научных изданиях о том, что UDQGC может взломать любой код, стало явной сенсацией.

Таким образом, в конце 90-х значительно вырос интерес к проблеме квантовых компьютеров. К этому времени окончательно были сформулированы основные принципы работы цифрового квантового компьютера с вентиляльной обработкой «Universal Digital Gate Quantum Computer (UDGQC)».

Имеет смысл пояснить название UDGQC, которое отличает этот тип от всех других квантовых вычислителей:

- универсальный – способность адресовать и измерять состояние каждого кубита по отдельности, а также решать широкий круг прикладных задач;

- вентиляльный – управление кубитами реализуется с помощью набора универсальных вентилялей;
- цифровой – управление и программирование управляющих вентилялей осуществляется дискретно через внешний цифровой интерфейс;
- квантовый – в качестве информационных носителей используются квантовые биты – кубиты;
- компьютер – один из вариантов перевода на русский язык английского термина «computer», как наиболее близкий в философском плане понятию классического компьютера.

**Первый квантовый компьютер на основе ЯМР** с двумя кубитами в 1998 г. создали американские физики Исаак Чуанг (Isaac Chuang), Нил Гершенфельд (Neil Gershenfeld) и Марк Кубинец (Mark Kubinec). Работа первого квантового компьютера основывалась на эффекте ядерно-магнитного резонанса (NMR), при котором кубиты кодировались во внешнем магнитном поле. При этом логические операции совершались не над отдельными атомами и ионами, а над совокупностью всех молекул в водном растворе хлороформа ( $\text{CHCl}_3$ ) при комнатной температуре. Ориентированный с помощью внешнего поля спин изотопа углерода C-13 в молекуле хлороформа можно было интерпретировать как 1, а антипараллельный спин – как 0. Ядра водорода и углерод-13 можно было рассматривать вместе как 2-кубитную систему. В дополнение к внешнему магнитному полю применялись радиочастотные импульсы, заставлявшие спиновые состояния «переворачиваться», тем самым создавая наложенные параллельные и антипараллельные состояния. Кроме того, высокочастотное излучение было использовано для выполнения простого вычислительного алгоритма и проверки конечного состояния системы. Время когерентности кубитов этого первого компьютера составляло всего несколько наносекунд.

В 1997 году Давид Ди Винченцо (David P. DiVincenzo) сформулировал

концепцию универсального набора одно- и двухкубитных вентилях для квантовых вычислений с использованием спиновых состояний связанных одноэлектронных квантовых объектов [5]. Два года спустя Ди Винченцо опубликовал условия, необходимые для построения квантового компьютера [6].

В 1998 году объединённая исследовательская группа из Оксфордского, Массачусетского, Калифорнийского университетов и корпорации IBM продемонстрировали работу алгоритма Дойча–Джозы на 2-кубитном квантовом ЯМР – компьютере устройства [7].

Через год другая группа из Лос-Аламоса и Массачусетского технологического института создали 7-кубитный квантовый компьютер с аналогичной схемой ЯМР, но с использованием транс-изомера кроновой кислоты.

Использование растворов резко ограничивает масштабирование подобных устройств, количество взаимодействующих друг с другом молекул в рабочем объёме вещества может быть больше сотен миллиардов штук. Кроме того, очень короткое время жизни ЯМР-кубитов и резкое падение когерентности с возрастанием их числа сильно тормозили исследования в этой области. Поэтому большинство лабораторий отказались от применения схемы с ЯМР и перешли на кубиты другой природы, такие, например, как: сверхпроводники с джозефсоновским переходом, ионные ловушки, фотонные кубиты, кубиты на алмазных дефектах, кубиты на нейтральных атомах и другие [8, 9].

**Фотонные кубиты** были первыми из теоретически возможных вариантов кубитов, предложенными Ричардом Фейнманом. В основе идеи использования фотонов в качестве кубитов лежит классический опыт Юнга с дифракцией света, который в XX веке был обоснован с точки зрения суперпозиции фотонов [10].

Два крайних состояния фотона определяются его поляризацией, которая может быть вертикальной или горизонтальной либо круговой. Соответственно, их суперпозиция – это некоторое промежуточное состояние.

В линейных оптических квантовых компьютерах (Linear optical quantum computing – LOQC) для обработки квантовой информации используются линейные оптические элементы или

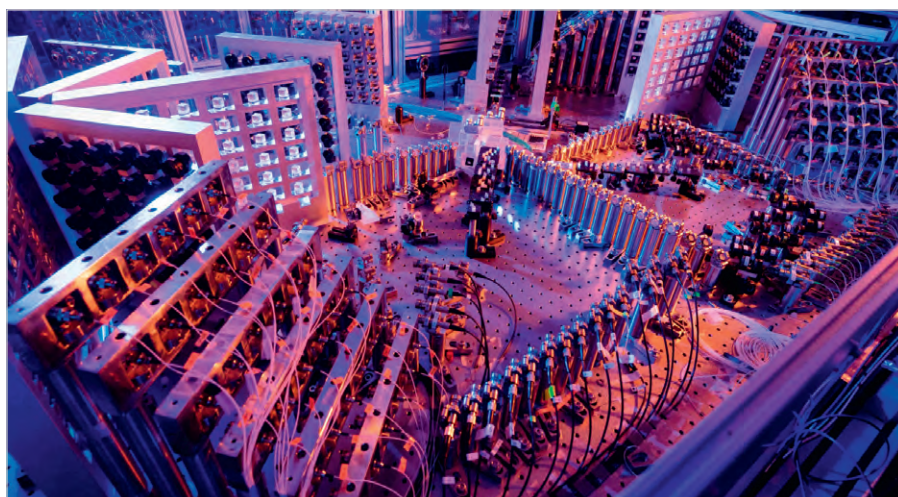


Рис. 1. Китайский Jiuzhang 2.0 считается одним из самых мощных фотонных квантовых компьютеров в мире

оптические инструменты (включая взаимные зеркала и волновые пластины) и детекторы фотонов и квантовая память, соответственно для обнаружения и хранения квантовой информации.

В современных фотонных (оптических) квантовых компьютерах применяется технология «rail-encoding». В этих квантовых чипах выгравированы два волновода, по которым может перемещаться фотон. При этом крайние состояния кубита определяются как фотон, находящийся в том или ином волноводе [11].

Линейные оптические квантовые компьютеры (Linear optical quantum computing – LOQC) крайне сложны в изготовлении, настройке и эксплуатации таких прецизионных элементов, как однофотонные зеркала и светоделители, фазовращатели и их комбинации, интерферометры Маха – Цендера с фазовыми сдвигами и т.д. Поэтому такие компьютеры эксплуатируются только в нескольких крупных мировых центрах. Например, китайский Jiuzhang 2.0 считается одним из самых мощных фотонных квантовых компьютеров в мире (рис. 1).

В 2021 году исследовательская группа, проводившая эксперименты на этом компьютере, заявила, что ими достигнуто так называемое «квантовое превосходство». По словам руководителя эксперимента: «Jiuzhang 2.0 может реализовать крупномасштабную выборку гауссовых бозонов (GBS) в один септиллион раз быстрее, чем самый быстрый из существующих в мире суперкомпьютеров КДЛ» [12].

Основным недостатком оптических квантовых компьютеров считается то, что современный уровень развития этой технологии не позволяет

решать сложные задачи, масштабирование системы потребует огромных дополнительных капиталовложений за счёт дорогостоящей оптики и элементов управления.

**Кубиты на базе сверхпроводящих материалов** получили в настоящее время наибольшее распространение [13].

В основном это произошло благодаря достаточно простой технологии изготовления, аналогичной той, которая используется при производстве современных микрочипов. Принцип действия таких кубитов основан на эффекте сверхпроводимости и эффектах в «джозефсоновских контактах». При криогенных температурах в сверхпроводниках образуется так называемый конденсат куперовских пар, состоящий из спаренных электронов и отделённый от остальных энергетических состояний энергетической щелью. При этом возникает неопределённость между количеством частиц на грануле сверхпроводника и разностью фаз волновой функции. Если замкнуть сверхпроводник в кольцо, то разность фаз будет обуславливать магнитный поток. Поскольку количество частиц и разность фаз не могут быть точно определены одновременно, то их крайние положения можно использовать в качестве основных состояний кубита, а текущее состояние – в качестве суперпозиции.

Большая часть таких кубитов построена по принципу колебательного контура, содержащего цепь из ёмкости и индуктивности. Основная идея в этой схеме заключается в использовании «джозефсоновских контактов». Эффект Джозефсона (Josephson junction) основан на протекании сверхпроводящего тока через тонкий слой изолятора, раз-

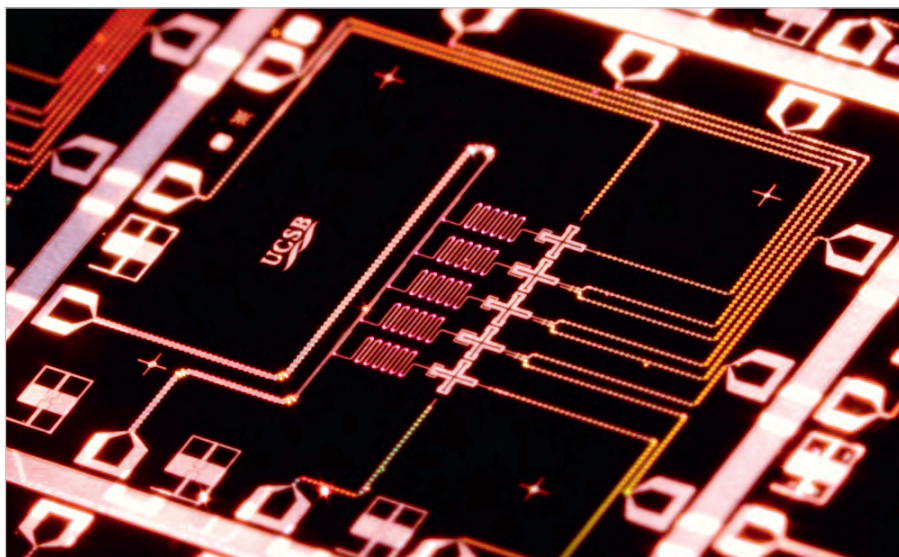


Рис. 2. Один из первых вариантов квантового процессора на базе крестообразных сверхпроводящих кубитов Xmon

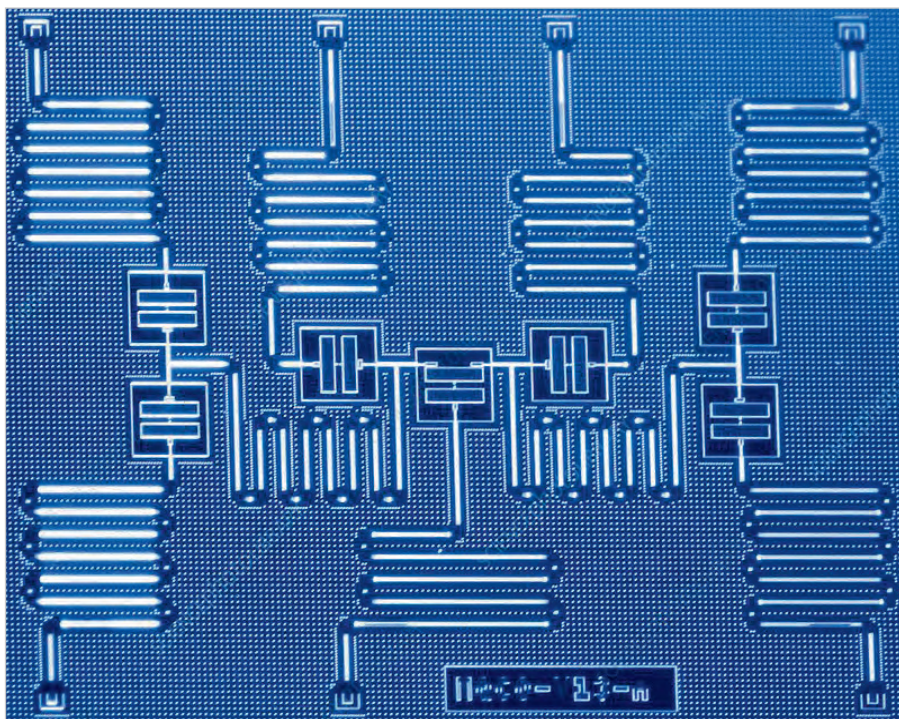


Рис. 3. Квантовый процессор IBM из 7 qubit

деляющий два сверхпроводника. Такой ток получил название «джозефсоновского тока», а само соединение сверхпроводников называется «джозефсоновским контактом».

Поскольку этот слой изолятора очень тонкий, пары электронов из одного сверхпроводника начинают туннелировать в другой сверхпроводник, и в данном случае туннелирование происходит для всего конденсата. Оказалось, что такая структура имеет нелинейную индуктивность, в результате чего мы можем использовать основное состояние и ближайшее к нему возбуждённое состояние.

Практически эти кубиты представляют собой микросхемы из сверхпроводника со специальными разрывами в несколько нанометров, обеспечивающими джозефсоновские переходы. Таким образом, токи сверхпроводимости, возникающие в такой конструкции, в зависимости от направления формируют два основных состояния кубита. Внешнее электромагнитное поле может переключать систему в одно из конечных состояний. Это очень общая и очень приближённая схема работы кубитов на базе сверхпроводников.

На практике реализуются различные варианты кубитов с эффектом

Джозефсона, которые определяются конкретными свойствами джозефсоновских переходов – ёмкостные или нелинейные индуктивности, разности фаз сверхпроводящих электронов и т.д. Такие структуры для кубитов формируются методами фотолитографии или электронной литографии, так же как формируются, например, транзисторы в полупроводниках.

В качестве примера на рис. 2 [14] показана конструкция одного из первых квантовых процессоров, в котором размещено пять сверхпроводящих кубитов Xmons в одном ряду. При этом каждый кубит связан со своим ближайшим соседом.

Кубиты, которые используются в проекте IBM Q, представляют собой высокочастотный сверхпроводящий трансмон – кубит (transmon qubit) с фиксированной частотой. Основное отличие трансмона от классического джозефсоновского зарядового кубита заключается в том, что у него энергия Джозефсона примерно в 100 раз больше энергии Кулона. Трансмон представляет собой одну из разновидностей зарядового кубита, работающего на принципе квантования заряда куперовских пар электронов в сверхпроводнике.

В трансмоне волны куперовских пар электронов, пройдя через два джозефсоновских перехода, вызывают явление интерференции. Амплитуда интерференционного тока зависит от внешнего магнитного поля, что позволяет в случае трансмона изменять его квантовые уровни энергии.

Квантовый процессор IBM состоит из «рабочих» трансмонов и «охранных» кубитов, объединённых между собой резонаторами и высокочастотными волноводами (рис. 3) [15].

В конструкции кубита используется так называемый «контейнер куперовских пар» (Cooper-pair box), который связан с большим резервуаром заряда через два джозефсоновских контакта, разделённых маленьким островком для накопления заряда. Система коррекции и управления внешними электромагнитными полями, в которых находится устройство, а также использование именно двух одинаковых джозефсоновских переходов, позволяет надёжно контролировать энергию этих переходов.

Измерение состояния кубитов и управление трансмонами осуществляется с помощью микроволновых резонаторов, которые также обеспечивают доступ к другим кубитам чипа.



Рис. 4. Внешний вид квантового процессора IBM, размещённого внутри криогенной установки «Oxford Triton dilution refrigerator»

Достаточно подробно основы теории сверхпроводящих кубитов изложены в работе [16].

Сверхпроводящие кубиты работают только при температурах, близких к абсолютному нулю. Поэтому сами кубиты размещены в специальной холодильной машине (dilution refrigerator), внутри которой поддерживается температура, близкая к абсолютному нулю. Например, температура кубитов (Fridge Temperature) в процессоре IBM Austin (16) составляет всего 0,0143477 К.

Сама по себе установка для получения таких температур является произведением научно-технического творчества. В проекте IBM используется криогенное оборудование «Oxford Triton dilution refrigerator», в котором поддерживается непрерывная циркуляция смеси из жидких He-3/He-4 [17, 18] (рис. 4).

Кубиты на базе сверхпроводников с джозефсоновскими переходами используются в таких известных проектах квантовых компьютеров, как: Google, IBM, IMEC, BBN Technologies, Rigetti, Intel, а также в адиабатических квантовых вычислителях с отжигом D-Wave.

Квантовые компьютеры со сверхпроводящими кубитами имеют свои недостатки, ограничивающие их развитие на современном технологическом уровне. Основным недостатком заключается в том, что, будучи искусственными квантовыми системами, они не могут быть абсолютно одинаковыми. Поэтому уровень шума и вычислительных ошибок у этого типа систем

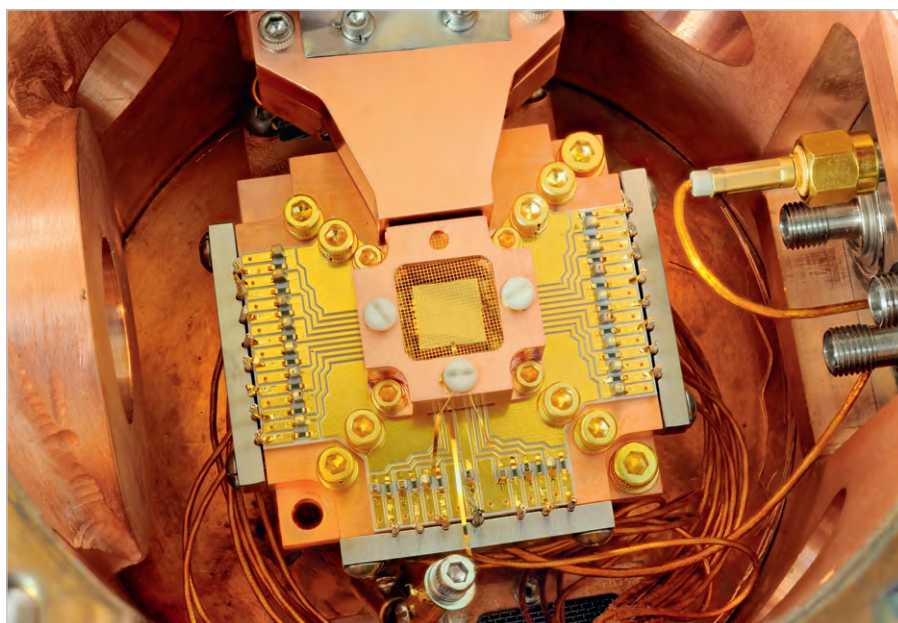


Рис. 5. Чип с ионной ловушкой в лабораторном квантовом компьютере NIST 2011

выше, чем у универсальных вентиляемых квантовых компьютеров с кубитами на естественно природных квантовых элементах.

**Кубиты с ионными ловушками** были предложены ещё в 1995 году. Однако реальные образцы компьютеров с ионными ловушками появились только в начале 2000-х [19].

В схеме с ионной ловушкой используются атомы с простой электронной структурой, например, кубиты с одним валентным электроном: Be<sup>+</sup>, Mg<sup>+</sup>, Ca<sup>+</sup>, Sr<sup>+</sup>, Ba<sup>+</sup>, Zn<sup>+</sup>, Hg<sup>+</sup>, Cd<sup>+</sup> и Yb<sup>+</sup>. Сначала атомы ионизируются с помощью лазеров с определённой длиной волны излучения. Полученные ионы затем втягиваются в ионную ловушку, схема которой, как правило, является если не прямым аналогом ловушки Пауля, то её некоторой модификацией. В схеме ионной ловушки, изобретённой Вольфгангом Паулем в 1958 году, используется вращающееся электростатическое поле, модулированное радиочастотным сигналом [20].

В результате электростатические линии образуют фигуру, напоминающую нечто, похожее на седло для лошади. Заряженный ион попадает в нижнюю часть седла и удерживается там вращающимся полем. Воздействуя лазером определённой частоты, можно переводить ион в возбуждённое состояние, из которого он будет переходить на более низкие уровни, излучая фотоны. Современные технологии позволяют с высокой точностью регистрировать отдельные фотоны. В такой ловушке может быть размеще-

но несколько ионов. При этом можно подобрать параметры их состояния таким образом, чтобы они образовывали квантовую когерентную систему. Это очень грубая схема идеи кубитов на базе ионов в квантовой ловушке. В действительности ситуация намного сложнее, и для её описания необходимо привлекать математический аппарат квантовой механики. С более тщательным объяснением работы квантового компьютера на кубитах с захваченными ионами можно ознакомиться на сайте [21].

Этот сайт «PennyLane» предоставляет модуль qchem для моделирования простых примеров квантовой химии. Он содержит дифференцируемый решатель Хартри-Фока (Hartree-Fock) и предоставляет функциональные возможности для построения молекулярного гамильтониана, который можно использовать в качестве входных данных для некоторых квантовых алгоритмов

Одним из первых, принявших участие в разработках кубитов на основе ионных ловушек, был Национальный Институт Стандартов и Технологий США (National Institute of Standards and Technology (NIST) [22].

На рис. 5 [23] показан один из лабораторных вариантов кубита с ионной ловушкой, использованный в лабораторном квантовом компьютере NIST 2011. В этой конструкции два иона бериллия удерживаются электростатическим полем, модулированным радиочастотой, на расстоянии около 40 микрон друг от друга над квадратным золотым чипом в центре. Для пре-



**Рис. 6. Квантовый вычислительный блок на кубитах с ионными ловушками австрийской фирмы AQT**

дотвращения накопления статического заряда чип окружён медным экраном и золотой проволочной сеткой.

В следующем варианте лабораторного квантового компьютера NIST-2015 были задействованы два разных иона – один магния, а другой бериллия. При этом использование двух разных лазеров с разными длинами волн позволило отдельно управлять кубитами и каждым из вентилях CNOT и SWAP [24].

Такой подход в наши дни уже часто можно видеть в различных лабораторных установках с ионными квантовыми ловушками.

Например, в одной из последних публикаций 2021 года рассмотрены результаты испытаний квантового компьютера Массачусетского технологического института (MIT, USA), в котором кубиты изготовлены на базе пары ионов кальция и стронция. Управление кубитами осуществляется с помощью инфракрасного и видимого лазеров. Примечательно, что в этой паре ион стронция выполняет функцию кубита, а кальций выполняет функцию корректора ошибок [25].

Отмеченная методика позволяет использовать уникальные преимущества различных типов квантовых систем на одной платформе. Каждый вид ионов по-своему уникален. Поэтому некоторые из них лучше подходят, например, для хранения информации, другие больше приспособлены для коммуникации между кубитами, а третьи оптимальны с точки зрения специальных вентилях [26].

Направление квантовых компьютеров с ионными ловушками успешно развивается в наши дни. Лидером

в этой области сейчас является фирма Honeywell, квантовый компьютер которой имеет 128 кубитов с ионными ловушками [27].

Кроме крупных фирм направление ионных ловушек развивают и новые, молодые участники рынка. Например, австрийская фирма AQT из университета Инсбрука представила в 2021 году 20-кубитный квантовый компьютер с ионными ловушками. Основное достоинство, которое рекламируют авторы разработки, заключается в том, что их компьютер имеет минимальные размеры и размещён в двух 19-дюймовых стандартных приборных стойках (рис. 6) [28].

**Кубиты на базе нейтральных атомов** по числу публикаций за последние несколько лет постепенно выдвигаются на роль лидера [29–32].

Сама идея такого типа кубитов заимствована из принципа работы современных атомных часов, где используется резонансная частота возбуждения атомов цезия, размещённых в трёхмерных ячейках лазерных ловушек [33].

Кубиты на нейтральных атомах имеют некоторое общее сходство с ионными ловушками. Разница, как следует из названия, заключается в изначально нейтральном состоянии задействованных атомов. В современных технологиях с нейтральными атомами для захвата атомов и удержания их на месте используются оптические лазерные ловушки. Кубиты нейтрального атома хранят информацию в своих спиновых состояниях [34].

В системах с нейтральными атомами отдельные атомы можно запрограммировать, объединяя их в различные двух- или трёхмерные конфигурации [35].

Как правило, в этой технологии используются атомы из второй колонки периодической таблицы, например, стронций. В общем случае упрощённая схема работы кубита с нейтральными атомами выглядит следующим образом. Из расплава щелочного металла (стронция) отдельные атомы вытягиваются в вакуумную камеру. Через специальную оптическую систему эта камера подсвечивается системой перекрещивающихся лазерных лучей, образующих ловушки, в которые попадают атомы стронция. На всех пересечениях лазерных лучей, таким образом, образуется сетка из нейтральных атомов, которые служат кубитами в адресуемых местах. Захваченные атомы находятся на расстоянии несколь-

ких микрон друг от друга, что вполне достаточно для предотвращения взаимодействия ядерных спинов (состояний кубитов). С помощью другого набора лазеров атомы теряют свою энергию, затормаживаясь до почти неподвижного состояния.

На следующем этапе реализуется процесс запутывания кубитов с помощью накачки лазерами с определённой длиной волны.

При этом атомы щелочных металлов переходят в «ридберговское состояние», при котором внешний электрон находится в высоковозбуждённом состоянии, отдалённом от атома на большое расстояние. В этом виде атом ведёт себя скорее как ион, взаимодействуя с соседними атомами, но не позволяя им самим полностью перейти в ридберговские состояния. В этом варианте два соседних атома образуют суперпозицию, в которой оба частично находятся в ридберговском состоянии.

Примерно такая схема используется, например, фирмой Atom Computing, которая является одним из пионеров квантовых вычислений на нейтральном атоме [36].

В настоящее время Atom Computing использует в своём квантовом компьютере Phoenix систему на 100 кубитов [37].

Система работает при комнатных температурах. Поскольку система работает с лазерным охлаждением, то в этом методе не нужны сложные и громоздкие криогенные установки. Квантовый процессор на нейтральных атомах легко масштабируется. Для этого нужно просто использовать больше лазеров.

Аналогичная схема используется в Массачусетском технологическом институте (MIT), где разрабатывается компьютер на нейтральных атомах рубидия (рис. 7) [38]. Эта исследовательская группа показала, что квантовый логический вентиль, состоящий из двух нейтральных атомов, может работать с гораздо меньшим количеством ошибок по сравнению с другими типами кубитов [39].

Французские учёные из лаборатории Charles Fabry Laboratory недавно сообщили об успешных испытаниях трёхмерной конструкции из 72 нейтральных атомов. Используя голографические методы и быстрые программируемые лазерные пинцеты, им удалось создать трёхмерную структуру кубитов на нейтральных атомах.

Эти результаты продемонстрировали перспективность данного направления и возможность реализации систем из сотен индивидуально управляемых кубитов на нейтральных атомах, с использованием существующих в настоящее время технологий [40].

Однако у атомов щелочных металлов есть и свои недостатки. Например, электронные спиновые состояния, используемые для хранения квантовой информации, могут быть искажены световым полем лазеров, используемым для захвата атомов. Поэтому были разработаны кубиты на основе щелочноземельных атомов, которые могут более надёжно хранить информацию в своих ядерных спиновых состояниях.

В работе [41] была продемонстрирована возможность получения очень больших времён когерентности при использовании квантовой технологии с нейтральными атомами. В системе кубитов на базе стронция при кодировании двух ядерных спиновых состояний изотопа Sr-87 было достигнуто время когерентности, близкое к одной минуте. Результаты этих исследований показывают, что кубиты с ядерными спинами могут быть реализованы в

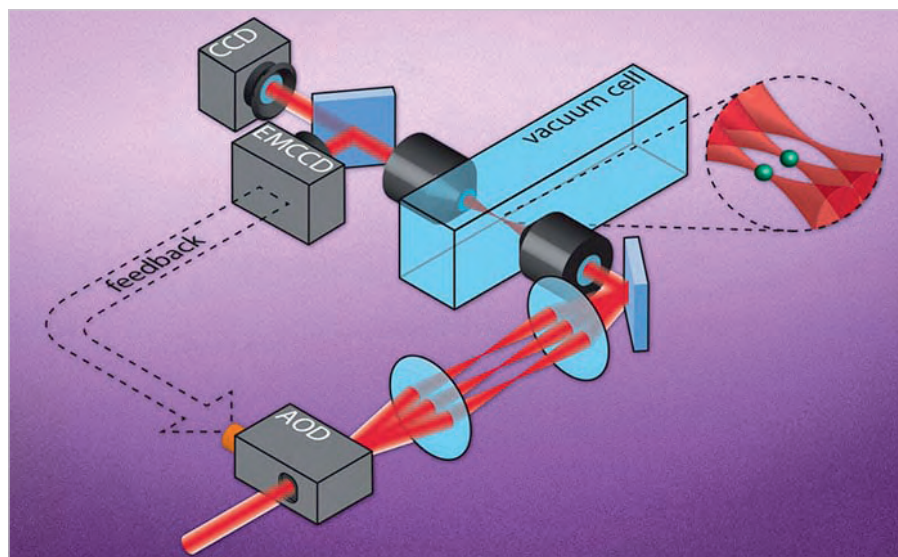


Рис. 7. Схема работы кубита на нейтральных атомах

системах с большими массивами захваченных нейтральных атомов и высокоточных операций запутывания. Однако выяснилось, что множественные спиновые состояния большого ядерного спина изотопа стронция-87 затрудняют его использование для реализации простого двухуровневого кубита.

Эти проблемы были преодолены при замене стронция на изотопы

иттербия-171 (Yb-171). Как и атомы стронция, спиновые состояния атомов Yb-171 устойчивы к возмущению оптической ловушкой. Но, в отличие от атомов Sr-87, атомы Yb-171 имеют ядерный спин 1/2, что упрощает манипулирование кубитами со спиновым состоянием на основе этого изотопа [42].

В целом кубиты с нейтральными атомами имеют ряд преимуществ по срав-



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**



+7(495) 721-4774 • info@advantex.ru

Москва, ул. Красноказарменная, д.13, стр. 1

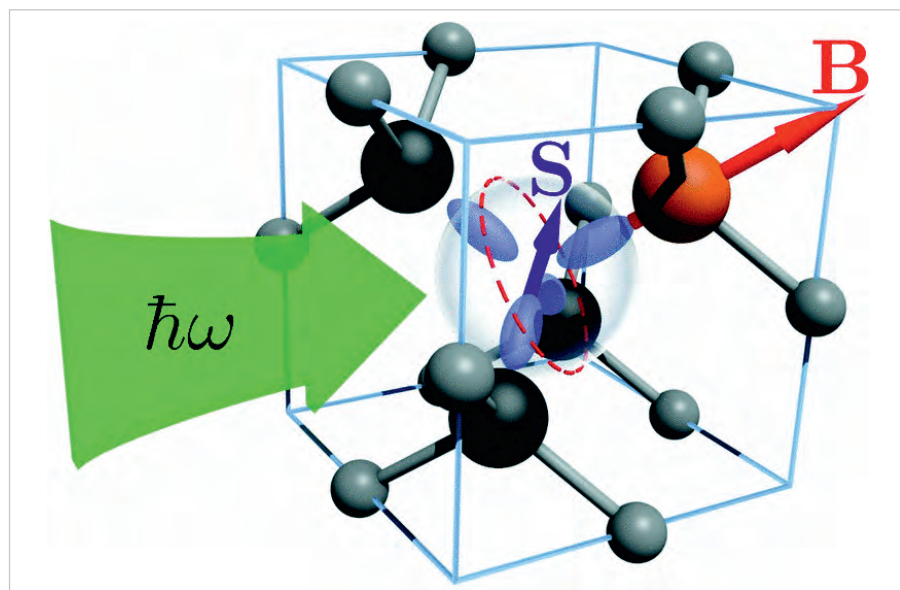


Рис. 8. Схематическое изображение NV-центра в алмазе с эквивалентными гибризированными связями

нению с кубитами на ионных ловушках. Так, сильное взаимодействие ионов между собой может вызывать паразитные шумовые эффекты. Поэтому для многокомпонентных систем необходимо использовать сложные конструкции ионных ловушек. Нейтральные атомы в основном электронном состоянии, напротив, слабо взаимодействуют друг с другом и с окружающей средой, и поэтому предоставляют возможность компромисса между масштабированием, сложностью управления и декогерентностью.

Технология оптических ловушек на нейтральных атомах в принципе позволяет создавать очень быстрые квантовые вентили с использованием ридберговских состояний.

Кроме того, атомы щелочных и щёлочноземельных металлов легко охлаждаются лазером и могут быть закодированы в долгоживущих сверхтонких основных состояниях, что значительно увеличивает времена когерентности [43].

Кубиты на базе нейтральных атомов в настоящее время используют такие фирмы, как Ion Q, Alpine Quantum Technologies (AQT), Eleqtron, Quantinuum, CNRS and Université Paris-Saclay.

**Кубиты с искусственными атомами в твёрдом состоянии** «artificial atoms in the solid state» в последнее время всё больше привлекают внимание разработчиков систем квантовых вычислений. В настоящее время одним из самых популярных материалов для реализации кубитов на искусственных атомах является алмаз с азотными вакан-

сиями на NV-центрах (nitrogen vacancy centers) [44].

Другое, часто встречающееся в ранних работах, название этих кубитов – spin qubits – спиновые кубиты. Связано это с тем, что основным носителем информации в них служат электроны с определённым значением спина. Однако под этим же термином подразумеваются в ряде случаев полупроводниковые спиновые кубиты (semiconductor spin qubits), что, естественно, вызывает некоторую путаницу [45].

Дефекты в алмазах придают им особое свечение. Такие алмазы могут образовываться естественным образом в течение миллионов лет. Например, в природе может существовать алмаз, в решётке которого вместо атома углерода будет атом азота, который образовался в результате естественного процесса радиоактивного распада  $C-14 \rightarrow N-14$ . Возможны и другие варианты образования цветных алмазов в природе. Такие алмазы крайне редки и безумно дороги. Поэтому исследуются и используются в лабораторных условиях искусственные алмазы с замещёнными атомами. В основном кубиты с дефектами кристаллической решётки получают способом ионного легирования [46]. В кубитах с дефектами в кристаллической решётке в основном используется так называемый чужеродный ион, который находится не на своём месте в кристалле.

Первые сообщения о необычных свойствах алмазов с вкраплениями атомов азота появились 46 лет назад [47].

Идея кубитов подобного типа основана на том, что атомы, являясь достаточ-

но простой с точки зрения квантовой механики системой, имеют ограниченные степени свободы, а оптические фотоны, испускаемые атомом при снятии возбуждения, представляют собой удобный зонд, точно соответствующий типичной энергетической шкале атомных переходов.

Технологический уровень экспериментальной физики только в 2010 году позволил учёным из Гарварда (Harvard University) на реальных опытах получить подтверждение эффекта запутанности между поляризацией одиночного оптического фотона с одиночным электронным спином центра азотной вакансии в алмазе. Результаты этой работы имели очень важное значение для дальнейшего развития данного направления. Они доказали возможность построения кубитов на когерентной паре фотонов, снимающих возбуждение, и спина электрона замещающего атома.

Эта пара – фотон и «искусственный атом» – стала своеобразным строительным блоком для твердотельных квантовых оптических сетей.

Схема работы кубита на базе NV-центра показана на рис. 8 [48].

На рис. 8 чёрный шарик соответствует атому углерода в решётке кристалла алмаза, а красный шарик символизирует замещающий атом азота. Длинная красная стрелка определяет ось NV (ось Z системы координат), где магнитное поле «В» приложено вдоль оси NV. Синий круг S со стрелочками схематически изображает парамагнитное триплетное состояние. Атом возбуждается внешним лазером ( $\hbar$ ). Благодаря механическим свойствам и практически ядерной среде без спина сама алмазная решётка является идеальным местом для такого искусственного атома.

Некоторые свойства NV-центра можно описать, рассматривая его как систему двух неспаренных электронов, обладающих тригональной симметрией (trigonal  $C_{3v}$  symmetry) [49]. Спиновая плотность в районе NV-центра фактически полностью локализована на трёх атомах углерода вблизи вакансии, в то время как на атоме азота она почти незначительна и исчезает на расстоянии, равном всего нескольким узлам решётки. Таким образом, атом азота, слабо связанный с кристаллической решёткой углерода, образует некую электронную вакансию. Это как бы «свободное» место заполняется

электроном, спином которого можно управлять с помощью магнитного поля.

В принципе возможны два варианта кубитов в такой системе. В одном случае можно использовать спин вращения ядра примесного атома азота. В другом случае в роли кубита выбирается спин электрона, вращающегося вокруг атома примеси. При этом электрон в NV-центре может находиться в суперпозиции двух спиновых состояний и выполнять роль кубита.

Структура кристаллов NV имеет почти идеальные для идентификации уровни возбуждённого состояния при криогенных температурах до 10 К. Энергетические уровни и связанные с ними оптические переходы при низких температурах позволяют эффективно связывать спины NV и оптические фотоны. Оптические переходы (~637 нм) на возбуждённые подуровни не изменяют спиновое состояние и могут использоваться для считывания состояния кубита.

При этом заданная спиновая поляризация может сохраняться до нескольких миллисекунд. Увеличение времени когерентности было достигнуто за счёт

удаления ядерных и электронных спинов, которые действуют как источники декогеренции. С этой целью использовался метод изотопного обогащения атомами углерода C-12.

Следует особо подчеркнуть, что большие времена когерентности были получены также в экспериментах при комнатной температуре [50].

Сочетание времени жизни когерентности, равное нескольким миллисекундам, с высокими скоростями спинового возбуждения, достигавшими 1 ГГц, позволяют проводить до 1 миллиона операций с одним кубитом за время когерентности. Эти характеристики выгодно отличают кубиты типа NV от других кубитов с «искусственными атомами».

Кроме алмазных кубитов используются также и дефекты в других кристаллах. Так, например, в работе [51] описаны кубиты, изготовленные с использованием тонких плёнок диоксида титана, легированных эрбием, выращенные на подложке из изолятора на кремниевой основе.

Одним из наиболее серьёзных недостатков схем кубитов с искусственными

атомами в дефектах кристаллической решётки является тот же самый момент «искусственности», который был отмечен выше для кубитов на сверхпроводящих элементах. Невозможно сделать два абсолютно одинаковых квантовых объекта, образовать из них безупречную когерентную пару и, мало того, запутать их с другими кубитами в вычислительной ячейке.

Оригинальное решение было предложено в работе [52], в которой рассмотрены процессы гетерогенной интеграции массивов алмазных волноводов, содержащих в своей структуре замещающие атомы германия. В экспериментальной установке была использована структура из 128 центров замещения кристаллической углеродной решётки атомами германия. Неоднородности отдельных оптических переходов центров замещения компенсировались с помощью интегрированной настройки на частоте более 50 гигагерц без ухудшения ширины линии. Вместо того чтобы связывать все кубиты в едином алмазном образце, авторы изготавливали множество отдельных модулей, а затем отобрали наиболее качествен-



Акционерное общество

**ЭРКОН**

Научно-производственное объединение

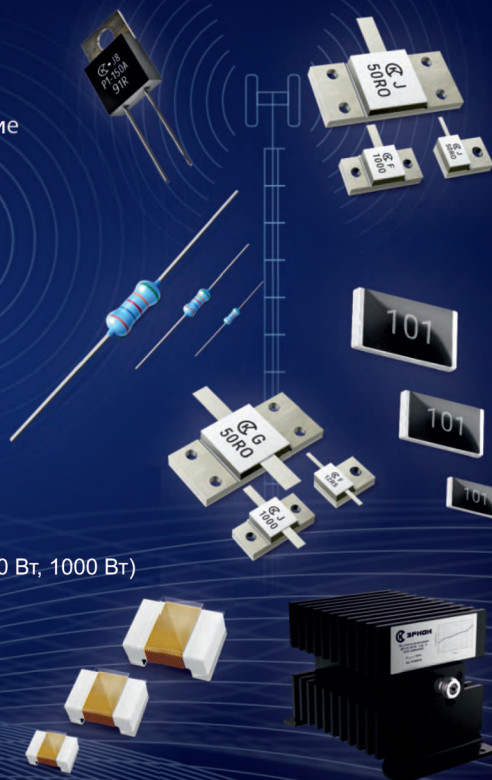
ПРОИЗВОДСТВО, РАЗРАБОТКА  
И ПОСТАВКА ПОСТОЯННЫХ  
РЕЗИСТОРОВ, АТТЕНУАТОРОВ  
И ЧИП-ИНДУКТИВНОСТЕЙ

- Современная производственная база.
- Высокое качество.
- Индивидуальный подход к потребителю.

## НОВИНКИ

Эквиваленты нагрузок ПР1-24 (50 Вт)  
Аттенуаторы ПР1-25 (50 Вт, 100 Вт, 150 Вт, 250 Вт, 300 Вт, 500 Вт, 1000 Вт)  
ТПИ - тепловые чип-перемычки  
СВЧ-резисторы Р1-160 (до 40 ГГц)  
Мощные СВЧ-резисторы Р1-170 (до 1000 Вт)

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



ные элементы и связали их с помощью фотонной интегральной схемы. При этом удалось с требуемой точностью расположить модули в нужных местах схемы, соединив алмазные волноводы чипа с алюминий-нитридными волноводами на платформе.

Относительно простой и недорогой процесс изготовления таких кубитов является важным шагом на пути создания надёжной бюджетной квантовой памяти, предназначенной для масштабируемых квантовых компьютеров.

В Японии исследовательской группой из Университета Сага на Кюсю удалось реализовать новый метод, который позволяет производить алмазные пластины площадью около 13 квадратных сантиметров. В этом методе применяется сапфировая подложка с иридиевой плёнкой. Благодаря ступенчатой структуре сапфир позволяет выращивать алмазы при высоких температуре и давлении, избегая появления трещин при охлаждении и сводя к минимуму поглощение азота. Эти изделия уже получили свое название: «бриллианты Кензан – Kenzan Diamond».

Такие большие алмазные пластины можно будет использовать в производстве чипов для квантовых компьютеров [53].

Можно отметить, что сильно выраженная чувствительность кубитов на основе дефектов в кристаллической решётке, являясь недостатком в квантовых приложениях, одновременно служит преимуществом при изготовлении ультрамалых сенсоров.

В этой статье были рассмотрены только основные наиболее популярные типы кубитов. Направление исследования в области квантовых вычислений постоянно развивается. Рассмотреть все новые гипотезы и разработки в одной статье не представляется возможным. Например, руководитель проекта Четан Наяк из Microsoft недавно заявил, что компания достигла значительных успехов в разработках «топологических кубитов». В этих новых кубитах используется совершенно новый физический процесс, известный как легендарный нулевой узел Майораны (Majorana zero node). По словам Четан Наяка, учёным из Microsoft удалось создать топологическую сверхпроводящую фазу и сопутствующие ей майорановские нулевые моды [54].

Яркие сообщения появляются в связи с успехами в разработках совершенно нового типа кубитов, получивших название «кутрит», или «квантовый трит» (qutrit). Эта новая информационная единица квантовой физики может находиться в суперпозиции трёх взаимно ортогональных квантовых состояний [55].

Существует ещё много разных интересных проектов, таких, например, как логические кубиты со встроенной квантовой коррекцией ошибок в виде молекулярных наноманетиков; оптические считыватели в октаэдрических комплексах Ni (II) для приложений квантового зондирования; двухкубитное спинтронно-фотоэлектрохимическое производство водорода с использованием возбуждения поверхностного плазмонного резонанса; использование аренных лигандов и другие экзотические разработки [56].

Возможно, к некоторым из этих проектов мы вернёмся в следующих статьях.

В заключение этой части статьи отметим, что в начале 2000-х, после того как постепенно стало приходить понимание того, что современный технологический уровень из-за шумов и декогерентности не позволяет в ближайшем обозримом будущем создать UDQGC, содержащий десятки тысяч кубитов, наступила «эпоха шумных квантовых компьютеров» (Noisy Intermediate-Scale Quantum era – NISQ).

Это значит, что мы находимся на ранних стадиях развития квантовых вычислений, и впереди ещё очень много непредсказуемых технологических и научных открытий. Высокий уровень шума – это то, что мешает современным квантовым компьютерам проводить те сложные вычисления, которые были задуманы при создании этих устройств. Слово «Intermediate-Scale – промежуточный» определяет переходный уровень, на котором были сформулированы цели и задачи, и переходит на новый этап поиска идей и технологий, необходимых для решения этих задач [57].

О квантовых вычислителях эпохи NISQ будет рассказано в следующей части статьи.

Для тех, кто заинтересовался вопросами квантовых вычислений и хотел бы изучить этот предмет более подробно, можно рекомендовать кембриджский курс лекций «Quantum Computation and Quantum Information», Michael A. Nielsen & Isaac L. Chuang [58].

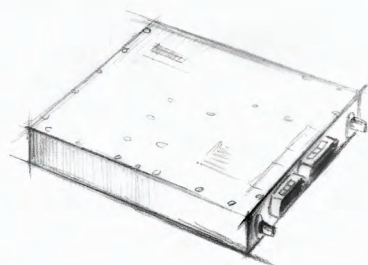
## Литература

1. URL: <https://thequantuminsider.com/2019/09/25/quantum-godfathers-1-david-deutsch-quantum-computings-lost-founder/>.
2. URL: <https://quantum-computing.ibm.com/composer/docs/idx/guide/shors-algorithm>.
3. URL: <https://arxiv.org/pdf/1312.2316.pdf>.
4. URL: <https://qiskit.org/textbook/ch-algorithms/grover.html>.
5. URL: <https://arxiv.org/abs/cond-mat/9701055>.
6. URL: [https://www.wikihero.net/en/DiVincenzo%27s\\_criteria](https://www.wikihero.net/en/DiVincenzo%27s_criteria).
7. URL: <https://journals.aps.org/prx/pdf/10.1103/PhysRevX.5.120>.
8. URL: <https://uwaterloo.ca/institute-for-quantum-computing/quantum-101/quantum-information-science-and-technology/what-qubit>.
9. URL: <https://www.newscientist.com/article/mg25133493-200-why-it-might-be-impossible-to-build-a-practical-quantum-computer/>.
10. URL: <https://22century.ru/popular-science-publications/quantum-superposition>.
11. URL: [https://www.researchgate.net/publication/253418427\\_Qubit\\_quantum\\_mechanics\\_with\\_correlated-photon\\_experiments](https://www.researchgate.net/publication/253418427_Qubit_quantum_mechanics_with_correlated-photon_experiments).
12. URL: <https://www.globaltimes.cn/page/202110/1237312.shtml>.
13. URL: <https://www.nature.com/articles/35017505>.
14. URL: <https://www.news.ucs.edu/2014/014074/superconducting-qubit-array-points-way-quantum-computers>.
15. URL: <https://www.sciencemag.com/media/952763/view/ibm-quantum-computer-7-qubit-processor>.
16. URL: <https://arxiv.org/abs/1904.06560>.
17. URL: <https://www.materialstoday.com/characterization/products/oxford-instruments-triton-cryofree/>.
18. URL: <https://newsroom.ibm.com/media-quantum-innovation?keywords=quantum&l=100>.
19. URL: [https://www.researchgate.net/publication/220435879\\_Recent\\_results\\_in\\_trapped-ion\\_quantum\\_computing\\_at\\_NIST](https://www.researchgate.net/publication/220435879_Recent_results_in_trapped-ion_quantum_computing_at_NIST).
20. URL: <http://iontrap.umd.edu/wp-content/uploads/2013/10/electromagnetic-traps-for-charged-and-neutral-particles-Paul.pdf>.
21. URL: [https://pennylane.ai/qml/demos/tutorial\\_trapped\\_ions.html](https://pennylane.ai/qml/demos/tutorial_trapped_ions.html).
22. URL: <https://www.nist.gov/news-events/news/2015/12/nist-adds-quantum-computing-toolkit-mixed-atom-logic-operations>.
23. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Trapped\\_ion\\_quantum\\_computer#/media/File:Quantum\\_Computing\\_Ion\\_Trapping\\_\(5941055642\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Trapped_ion_quantum_computer#/media/File:Quantum_Computing_Ion_Trapping_(5941055642).jpg).

24. URL: <https://www.nist.gov/news-events/news/2015/12/nist-adds-quantum-computing-toolkit-mixed-atom-logic-operations>.
25. URL: <https://www.nature.com/articles/s41534-019-0218-z>.
26. URL: <https://arxiv.org/pdf/1602.02840.pdf>.
27. URL: <https://www.honeywell.com/us/en/news/2020/09/achieving-quantum-volume-128-on-the-honeywell-quantum-computer>.
28. URL: <https://www.aqt.eu/pine-system-19-rack-mounted-quantum-computer/>.
29. URL: [https://pennylane.ai/qml/demos/tutorial\\_pasqal.html#:~:text=Ion%2Dtrap%20devices%20make%20use,number%20of%20protons%20and%20electrons](https://pennylane.ai/qml/demos/tutorial_pasqal.html#:~:text=Ion%2Dtrap%20devices%20make%20use,number%20of%20protons%20and%20electrons).
30. URL: <https://arxiv.org/pdf/2012.12281.pdf>.
31. URL: <https://arxiv.org/abs/quant-ph/0003022>.
32. URL: <https://www.quantumcomputinginc.com/blog/the-many-faces-of-a-qubit/>.
33. URL: <https://www.nist.gov/pml/time-and-frequency-division/background-how-nist-f2-works#:~:text=A%20gas%20of%20cesium%20atoms,measurements%20of%20their%20natural%20vibrations>.
34. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35589685/>.
35. URL: <https://www.hpcwire.com/2022/01/25/quantum-watch-neutral-atoms-draw-growing-attention-as-promising-qubit-technology/>.
36. URL: <https://atom-computing.com/quantum-computing-technology/>.
37. URL: <https://www.servethehome.com/atom-computing-unveils-phoenix-quantum-computing/>.
38. URL: <https://www.science.org/content/article/arrays-atoms-emerge-dark-horse-candidate-power-quantum-computers>.
39. URL: <https://news.mit.edu/2017/scientists-demonstrate-one-largest-quantum-simulators-yet-51-atoms-1129>.
40. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30185955/>.
41. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35589685/>.
42. URL: <https://physics.aps.org/articles/pdf/10.1103/Physics.15.s55>.
43. URL: <http://info.phys.unm.edu/~ideutsch/Publications/0404055.pdf>.
44. URL: <https://link.springer.com/article/10.1557/mrs.2013.18>.
45. URL: <https://physicstoday.scitation.org/doi/full/10.1063/PT.3.4270>.
46. URL: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.jpcc.1c08679>.
47. URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspa.1976.0039>.
48. URL: [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-depiction-of-the-NV-center-in-diamond-with-equivalent-sp3-hybridized-dangling\\_fig8\\_226422854](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-depiction-of-the-NV-center-in-diamond-with-equivalent-sp3-hybridized-dangling_fig8_226422854).
49. URL: <https://link.springer.com/article/10.1557/mrs.2013.18>.
50. URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-019-13495-6.pdf>.
51. URL: [https://www.researchgate.net/publication/360101132\\_Purcell\\_enhancement\\_of\\_erbium\\_ions\\_in\\_TiO2\\_on\\_silicon\\_nanocavities](https://www.researchgate.net/publication/360101132_Purcell_enhancement_of_erbium_ions_in_TiO2_on_silicon_nanocavities).
52. URL: <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/129652/1911.05265.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
53. URL: <https://www.techradar.com/news/these-ultra-pure-diamonds-could-be-the-key-to-unleashing-the-power-of-quantum-computing>.
54. URL: <https://www.techradar.com/news/microsoft-has-developed-a-whole-new-kind-of-qubit-to-accelerate-quantum-computing>.
55. URL: <https://www.scientificamerican.com/article/qutrit-experiments-are-a-first-in-quantum-teleportation/>.
56. URL: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.jpcc.1c08679>.
57. URL: <https://www.technologyreview.com/2019/05/30/65724/how-a-quantum-computer-could-break-2048-bit-rsa-encryption-in-8-hours/>.
58. URL: <http://mmrc.amss.cas.cn/tlb/201702/W020170224608149940643.pdf>.

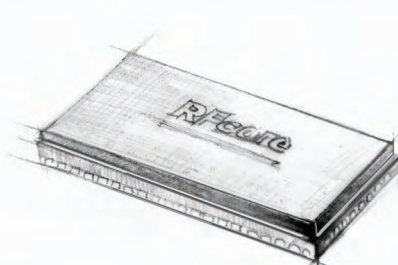


## НОВЫЕ МОЩНОСТИ — НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ



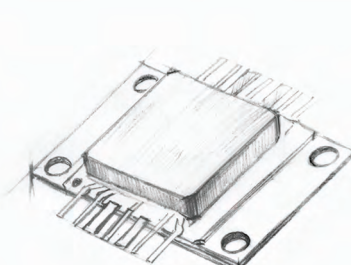
### СВЧ-усилители мощности

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



### Многофункциональные CMOS MMIC

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



### GaN и GaAs MMIC

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



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

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

Реклама

# Применение цифровых двойников в промышленности

Сомайе Малакути, Питер Ван Шалквик, Биргит Босс,  
Челлури Рам Састри (Industrial Internet Consortium)

Эта статья представляет собой практическое руководство по цифровым двойникам, включая определение термина, описание преимуществ, архитектуры, а также необходимых для их реализации элементов. Продемонстрирована связь между системой промышленного Интернета вещей (IIoT) и её двойником с вариантами использования.

## Определение цифрового двойника от ИИС

Цифровой двойник – это формальное цифровое представление некоторого актива, процесса или системы, которое фиксирует атрибуты и поведение этого объекта, подходящие для передачи, хранения, интерпретации или обработки в определённом контексте.

Информация о цифровом двойнике включает, помимо прочего, комбинации следующих категорий:

- физическая модель и данные;
- аналитические модели и данные;
- данные временных рядов и ПО, их упорядочивающее;
- транзакционные данные;
- основные данные;
- наглядные модели;
- расчёты.

Значок на рис. 1 отражает несколько аспектов цифрового двойника. Он используется на протяжении всей ста-



Рис. 1. Иконка цифрового двойника

ты для изображения цифрового двойника.

## Отношения между цифровыми двойниками в системах

Уровень абстракции цифрового двойника таков, что он соответствует тем вариантам использования, для которых этот цифровой двойник предназначен.

Дискретный цифровой двойник – это единая сущность, которая самостоятельна без необходимости дальнейшего разбиения на цифровые двойники более низкого уровня. Например, редуктор или двигатель шаровой мельницы в горнодобывающей промышленности можно контролировать и создавать отчёты на этом же уровне объекта. Сборка дискретных цифровых двойников для создания составного цифрового двойника показана на рис. 2 в виде вертикального расширения, описывающего увеличение состава от одного до множества объектов.

Составной цифровой двойник – это комбинация дискретных цифровых двойников, которая представляет объект, состоящий из нескольких отдельных компонентов или частей. Композиция может иметь место на разных уровнях. Например, производственная

ячейка – это составной объект, цифровой двойник которого состоит из цифровых двойников устройств внутри производственной ячейки. Весь завод представляет собой систему, цифровой двойник которой состоит из нескольких составных цифровых двойников.

Как показано на рис. 3, отношения между цифровыми двойниками в композиции могут быть следующими.

- Иерархический: как и их реальные аналоги, набор цифровых двойников компонентов может быть собран в цифровой двойник оборудования, набор цифровых двойников оборудования может быть собран в цифровой двойник производственной линии, набор цифровых двойников производственной линии может быть собран в заводской цифровой двойник и так далее.
- Ассоциативный: между цифровыми двойниками существуют ассоциации, как и у их реальных аналогов. Цифровой двойник газопровода связан с цифровыми двойниками оборудования добычи и потребления газа.
- Одноранговые: одноранговые отношения наблюдаются в группе оборудования одного или подобных типов, выполняющего одинаковые или похожие функции. Общий эффект всего оборудования представляет собой простую сумму эффектов, производимых каждым элементом оборудования. Например, на ветряной электростанции группа двигателей ветряной турбины образует композитный цифровой двойник ветряной турбины.

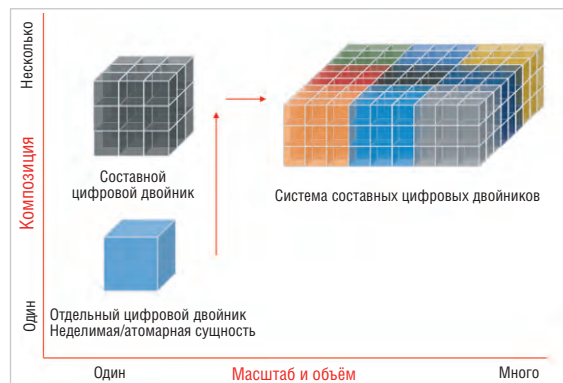


Рис. 2. Создание составного цифрового двойника

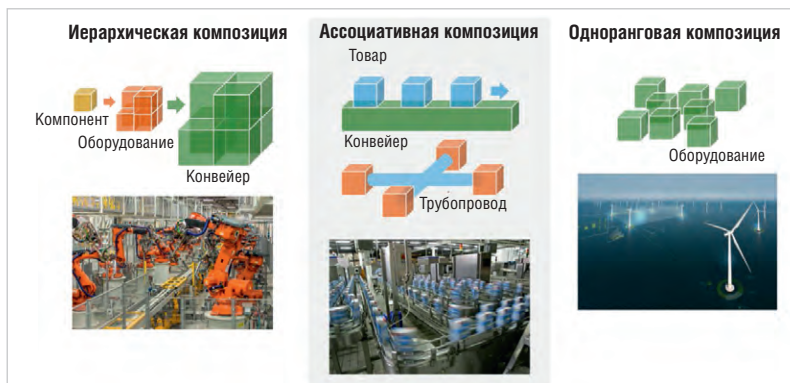


Рис. 3. Связь между цифровыми двойниками в композиции

## Цифровой двойник в жизненном цикле сущности

Как показано на рис. 4, информация об объекте обычно разбросана по нескольким источникам информации, которые разрабатываются и поддерживаются разными организациями. Это приводит к нарушению потока информации на протяжении жизненного цикла объекта, поскольку эти источники информации могут не обмениваться информацией должным образом. Некоторая информация может дублироваться или быть непоследовательной, а некоторая информация может отсутствовать. В результате требуется значительное время, чтобы найти соответствующую информацию, преобразовать её в подходящий формат и реализовать в ней семантические отношения. Кроме того, это может привести к противоречивым оперативным данным и к принятию неверных решений. Кроме того, информационные хранилища препятствуют внедрению передовых методов, таких как расширенная аналитика и искусственный интеллект, которые требуют доступа к большому объёму информации.

На рис. 5 показано, как цифровые двойники помогают решить проблему информационного хранилища. Цифровой двойник служит прокси-сервером, который централизованно собирает данные для каждого объекта, а затем делает эту информацию доступной различным областям бизнеса для их конкретных приложений через интеграционные интерфейсы, такие как интерфейсы прикладного программирования (API). Это улучшает процесс принятия решений благодаря общему пониманию рабочего состояния и снижает общие затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание предприятия в течение жизненного цикла.

На рис. 6 показан пример эволюции цифровых двойников в течение жизненного цикла объекта за пределами организации. В производственных системах производитель может добавлять новые типы продуктов в каталог типов. Клиент выбирает типы продуктов, которые он хотел бы приобрести из каталога, а затем размещает заказ. Товар изготавливается и отгружается заказчику. Между тем заказчик может использовать различные инструменты проектирования и виртуального ввода в эксплуатацию для разработки продукта, определения его параметров и вза-

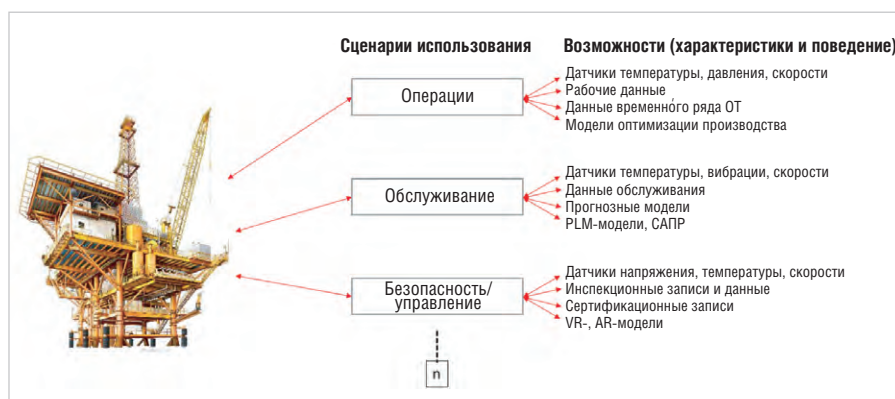


Рис. 4. Операции без цифрового двойника

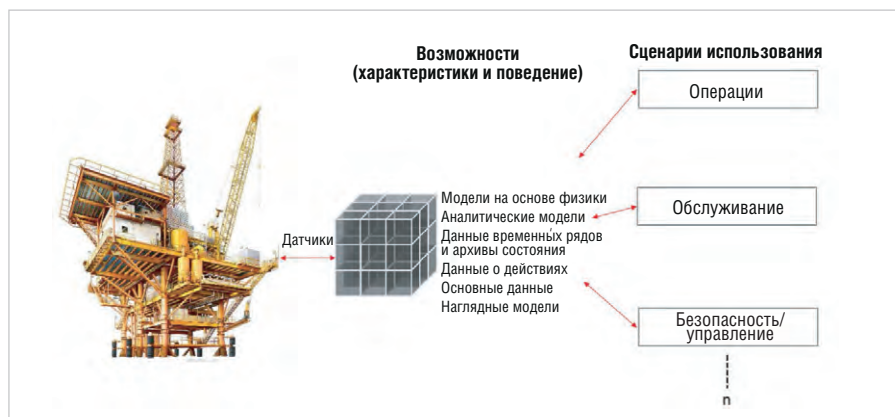


Рис. 5. Операции с цифровым двойником

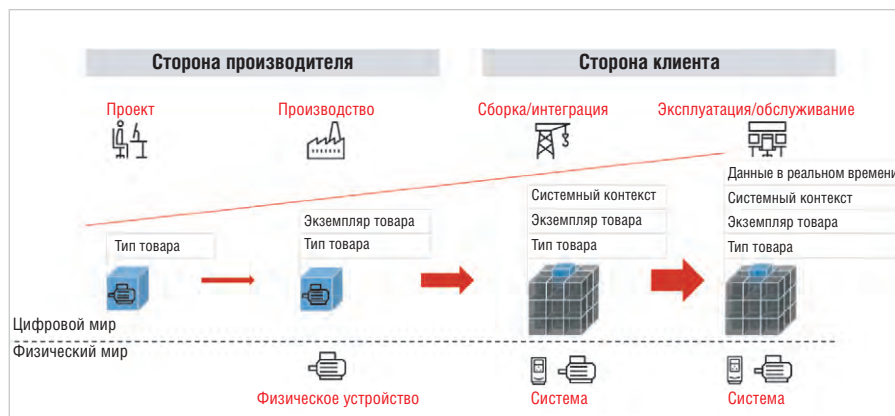


Рис. 6. Цифровой двойник сокращает информационные хранилища

имодействия с другими продуктами на предприятии. Когда реальный продукт получен заказчиком, его виртуальный двойник устанавливается на заводе, проходит производственные циклы и вводится в эксплуатацию. На этапе эксплуатации к продукту могут применяться различные услуги по техническому обслуживанию. Информация о техническом обслуживании может использоваться покупателем для корректировки своего будущего выбора продуктов. Изготовитель может быть проинформирован об обнаруженных проблемах в продукте и использовать эту информацию для дальнейшего повышения качества своего товара.

В приведённом выше простом примере показан поток информации, стирающий границу между производителем и покупателем. Сегодня этот поток в значительной степени нарушен. Например, в одной компании может быть несколько инструментов для выбора, инжиниринга и виртуального ввода в эксплуатацию, которые плохо связаны друг с другом и не могут обмениваться друг с другом информацией. Оперативная информация продукта может храниться в прошивке продукта; информация о техническом обслуживании хранится в специальных базах данных и не связана с этапом выбора. Даже при наличии договорного соглашения

об отправке производителям части информации об эксплуатации и техническом обслуживании эта информация разбросана по базам данных и прошивке продукта, и легко собрать эту информацию экономичным, точным и своевременным образом не представляется возможным.

Цифровой двойник объекта является средством и единым интерфейсом для доступа к информации о его жизненном цикле. Цифровые двойники могут быть определены для любой сущности, представляющей интерес для организации. В нашем примере производитель может определить цифровые двойники для типа продукта, включив всю соответствующую информацию, такую как анализ рынка, чертежи автоматизированного проектирования, документацию и информацию о производительности, полученную от клиента. Они также могут определить цифрового двойника для своего продукта и хранить информацию о производстве и обслуживании, полученную от клиента, в этом цифровом двойнике. Это предоставляет производителю единый интерфейс для доступа ко всей информации о продукте и типе продукта и может быть полезно многим компаниям. Для одного объекта могут существовать отдельные цифровые двойники, поскольку контекст отличается, а информация используется по-разному.

Существуют также семантические отношения между цифровыми двойниками различных сущностей, как и в реальном мире. Неспособность установить их сделала бы некоммуникабельного цифрового двойника «информационным бункером» для себя самого. Поскольку информация поступает из разных источников, в разное время и в разных форматах, автоматическое установление таких связей является одной из основных задач при разработке цифровых двойников.

Предлагая единую точку входа для доступа к информации о жизненном цикле объектов и поддерживая отношения между информацией в рамках одного цифрового двойника и между несколькими цифровыми двойниками, можно достичь различных бизнес-преимуществ.

Цифровые двойники могут служить основой для расширенной аналитики и приложений искусственного интеллекта в целях использования и обогащения содержания цифровых двойников. Кроме того, приложения расширенной



Рис. 7. Составляющие цифрового двойника

аналитики и искусственного интеллекта могут быть частью цифрового двойника, что делает его интеллектуальным и автономным объектом.

Не всегда возможно измерить все важные физические параметры, представляющие интерес. Цифровые двойники можно использовать для разработки высокоточных программных датчиков или виртуальных датчиков с помощью физических моделей, встроенных в цифрового двойника и служащих прокси для физических измерений. Может потребоваться расширенная аналитика и моделирование с использованием цифрового двойника основного процесса для прогнозирования будущего поведения.

Измерения, полученные от датчиков, сообщающих о рабочих параметрах актива, не всегда точны из-за отказа или дрейфа в работе датчика. Когда аномалии возникают из-за неисправного датчика, а не из-за какого-либо основного сбоя в работе физического актива, нет необходимости подавать сигналы тревоги и можно избежать ненужных отключений. Физические модели и цифровой двойник, представляющий объект, следует использовать для согласования данных, чтобы повысить качество измерений и гарантировать, что полученные измерения действительно подлинны. Например, в цифровом двойнике электростанции простой баланс массы и тепла в цепи может помочь согласовать данные, а также обнаружить возможные отказы датчиков.

Цифровые двойники облегчают совместную разработку на всех этапах жизненного цикла. Это сокращает время, затрачиваемое на поиск, экспорт и импорт информации в инструменты, необходимые для любой задачи жизненного цикла.

Цифровые двойники могут решить проблемы с эксплуатацией или обслуживанием, которые, в противном случае, привели бы к дорогостоящим простоям.

Цифровые двойники повышают качество, поскольку многие ошибки в производстве вызваны использованием неверной или устаревшей информации.

Цифровые двойники могут быть доступны всем, в любом месте и в любое время. Обмен опытом по всему миру обеспечивает круглосуточное обслуживание и быстрое реагирование при максимальном использовании экспертами. В случае, если внедрение требует работы на месте, может быть привлечён местный инженер, а удалённые эксперты окажут поддержку.

Таким образом, цифровые двойники обеспечивают систематизированную методологию, технологию и инструменты для представления сложных физических и логических сред и позволяют осуществлять эффективный мониторинг, диагностику, прогнозирование и предписание действий физических и логических объектов.

## Дизайн цифрового двойника

Для динамического представления объектов в реальном мире экземпляры цифровых двойников должны быть связаны с их соответствующими реальными двойниками, иногда в режиме реального времени, для сбора и организации данных из соответствующих объектов реального мира. Цифровой двойник должен позволить вычислительным и аналитическим моделям анализировать эти данные для описания, диагностики, прогнозирования и моделирования состояний и поведения реальных объектов и систем. Информация, полученная в результате такого анализа, может

быть объединена с бизнес-логикой и целями для определения действий по оптимизации производственных процессов. Чтобы этого достичь, дизайн цифрового двойника должен включать сервисные интерфейсы для интеллектуальных промышленных приложений, обеспечивающих доступ к данным и аналитическим результатам.

Как показано на рис. 7, цифровой двойник включает данные и вычислительные модели (далее просто «модели») и сервисные интерфейсы точно так же, как объект в объектно-ориентированном языке программирования имеет данные – члены, методы и интерфейсы.

Данные: цифровой двойник должен содержать данные о своём реальном двойнике, которые требуются моделям для представления и понимания состояний и поведения реального двойника. Во многих случаях он может состоять из данных о полном жизненном цикле реального объекта, в случае с оборудованием – данных на этапе проектирования (спецификации, проектные модели, производственный процесс и инженерные данные), на этапе производства (данные о работнике, о производственном оборудовании, материалах и деталях, методах производства и способах обеспечения качества), на этапе эксплуатации (данные об установке и конфигурации, текущем и прошлом состоянии, техническом обслуживании), и даже процедурных данных по окончании срока службы. Он также может содержать бизнес-данные, такие как записи транзакций.

Модели: цифровой двойник должен содержать вычислительные или аналитические модели, необходимые для описания, понимания и прогнозирования рабочих состояний и поведения двойников, а также модели, которые используются для предписания действий на основе бизнес-логики и целей в отношении соответствующего объекта реального мира. Эти модели могут включать модели, основанные на физике или химии, инженерные или имитационные модели, модели данных, основанные на статистике, машинном обучении и искусственном интеллекте (ИИ). Он также может включать трёхмерные модели и модели дополненной реальности, помогающие человеку понять рабочие состояния или поведение объектов реального мира.

Служба (интерфейс): цифровой двойник должен содержать набор сервис-

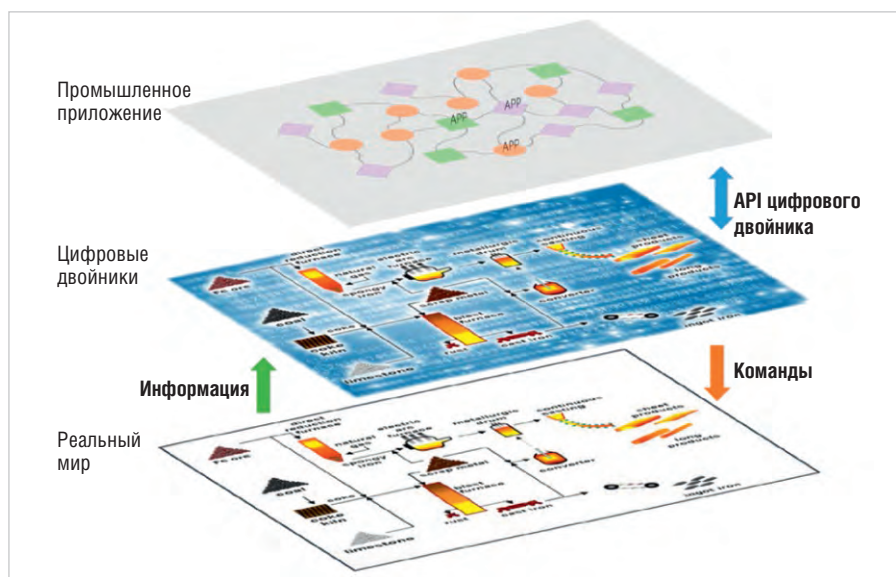


Рис. 8. Цифровые двойники объединяют дизайн и приложения

ных интерфейсов для промышленных приложений или других цифровых двойников для доступа к своим данным и использования своих возможностей.

Хотя форма и содержание объектов реального мира сильно различаются, внутри каждого цифрового двойника должны быть высокоуровневые инвариантные конструкции с некоторыми общими атрибутами данных и моделями, чтобы в их устройстве можно было бы разобраться с помощью общего подхода.

Как показано на рис. 8, мы можем создавать цифровые двойники в соответствии с типами их реальных аналогов. Экземпляры создаются на основе шаблонов их типов при учёте конфигурации присущей этому типу среды. Так мы можем установить логические отношения между экземплярами и соответствующими им типами.

### Технические аспекты цифрового двойника

На рис. 9 показаны некоторые технические аспекты цифрового двойника, каждый из которых объясняется ниже.

**Информационное моделирование:** основным элементом цифрового двойника является информация, связанная с различными фазами жизненного цикла базового объекта. Например:

- метамодель для цифровых двойников, описывающая необходимые внутренние модели для вариантов использования;
- механизмы для структурирования и модуляции контента цифровых двойников и расширения контента, когда новые виды информации становятся



Рис. 9. Технические аспекты цифровых двойников

ся доступными в течение жизненного цикла объекта;

- стандарты, которые необходимо принять для определения структуры и содержания цифровых двойников, чтобы облегчить обмен информацией между компаниями;
- механизмы сопоставления существующей информации с такими стандартами;
- механизмы моделирования отношений между информацией в рамках одного цифрового двойника;
- средства для моделирования различных видов цифровых двойников.

**Накопление информации:** информация для цифровых двойников поступает из различных источников. Иногда она может извлекаться из самого цифрового двойника. Например, если приложение расширенной аналитики использует контент цифрового двойника в качестве входных данных, приложение может сохранять результаты анализа только в самом цифровом двойнике. Необходимо принять различные ключевые решения относительно переноса информации из

источников информации в цифровые двойники, например:

- получение информации из различных источников, таких как устройства, приложения, базы данных или другие цифровые двойники;
- копирование информации в цифровые двойники или ссылка на информацию из цифровых двойников или их комбинаций по запросу;
- кэширование информации;
- использование онлайн- и офлайн-информации (например, для онлайн-мониторинга реальных объектов или в автономных имитационных тестах).

**Синхронизация информации.** Здесь следует учитывать следующее:

- средства для синхронизации информации между цифровым двойником и соответствующими источниками информации в обоих направлениях от источника информации к цифровому двойнику и наоборот;
- механизмы синхронизации информации между несколькими цифровыми двойниками, участвующими в различных формах композиции;
- политики (такие как безопасность и частота синхронизации) для выполнения синхронизации информации;
- стандарты и средства обеспечения функциональной совместимости цифровых двойников и их источников информации для облегчения синхронизации информации.

**API:** цифровые двойники взаимодействуют с другими компонентами. Для облегчения взаимодействия должны быть доступны различные API. Нам нужны API:

- подходящие для различных типов приложений (таких как приложения для моделирования в реальном времени, аналитические приложения и приложения искусственного интеллекта), которые потребляют и заполняют контент цифровых двойников;
- для взаимодействия с другими цифровыми двойниками, возможно, разных поставщиков;
- для взаимодействия с соответствующим базовым объектом для облегчения сбора информации от объекта и контроля над ним;
- взаимодействующие с другими источниками информации для обогащения и синхронизации контента цифровых двойников.

В отношении API-интерфейсов доступа к информации должны быть при-

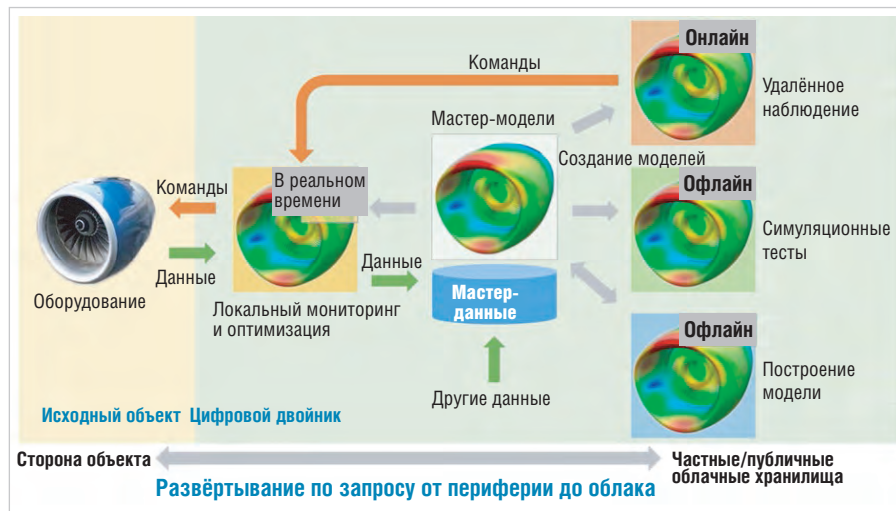


Рис. 10. Модель развёртывания цифровых двойников

няты различные ключевые решения, такие как:

- механизмы офлайн-доступа к информации (например, в виде файлов разных форматов);
- механизмы онлайн-доступа к информации (например, в виде RESTful API);
- механизмы массового или потокового обмена информацией;
- API для взаимодействия на уровне облака, периферии и устройства (например, «облако-облако», «устройство-облако» и «облако-устройство»);
- стандарты для API в целях облегчения взаимодействия между поставщиками.

**Подключаемость** является ключевым фактором взаимодействия с цифровыми двойниками и между ними. Различные ключевые решения должны быть приняты в отношении подключения. Например:

- механизмы уникальной идентификации цифрового двойника и его базовой сущности для установления связи между ними;
- механизмы автоматического обнаружения базового объекта в сети для установления соединения с его цифровым двойником;
- механизмы обнаружения других цифровых двойников для установления связи между ними;
- стандарты подключения для облегчения взаимодействия между поставщиками.

**Развёртывание.** Цифровые двойники могут быть развёрнуты в диапазоне от периферии до облака в зависимости от требований приложения. Решение обычно основывается на таких факторах, как:

- требования к задержке и времени отклика;

- интероперабельность и интеграция с другими системами;
- требования к контролю;
- требования к сложности и мощности аналитики.

Для развёртывания цифровых двойников нам нужны механизмы, позволяющие:

- развёртывать содержимое цифрового двойника в таких местах, как устройство IoT, периферия и облако;
- обнаруживать отдельные цифровые двойники, расположенные в разных местах, для формирования составных цифровых двойников;
- обеспечить поддержку полиморфных цифровых двойников, что означает возможность развёртывания цифрового двойника в разных формах и разных местах.

Как показано на рис. 10, один экземпляр должен рассматриваться как главная рабочая копия с его основными моделями, основными данными и соответствующими определениями, которые хранятся и управляются в репозитории. Другие экземпляры можно настроить для различных приложений: например, автономные экземпляры для моделирования и онлайн-экземпляры для удалённого мониторинга. В последнем случае информация будет обновляться по сравнению с её аналогом из реального мира, чтобы отражать достоверные сведения о реальном мире («наземная правда»). Иногда цифровой двойник может быть развёрнут рядом с реальным аналогом для выполнения мониторинга или анализа реального объекта-аналога на месте, чтобы обеспечить обратную связь (почти) в реальном времени для оптимизации работы актива.

**Безопасность:** взаимодействие цифровых двойников с разными объектами

имеет разные угрозы для безопасности. Необходимо принять различные ключевые решения относительно развёртывания цифровых двойников:

- механизмы для защиты доступа к контенту одного цифрового двойника, например, посредством управления доступом на основе ролей;
- механизмы для безопасного доступа к отдельным цифровым двойникам от разных поставщиков, составляющих сложные цифровые двойники;
- механизмы для обеспечения взаимодействия с базовым объектом через его цифрового двойника;
- методы обеспечения подлинности информации, моделей и других метаданных, таких как идентификационные данные других сторон и их криптографические ключи, а также их права доступа и привилегии;
- методы безопасного развёртывания цифровых двойников и обеспечения выполнения правильных, неизменённых версий программного обеспечения для повышения надёжности решения, которое может помочь защитить интеллектуальную собственность в определённых типах цифровых двойников;
- методы, если это уместно, для помощи в разрешении споров, если потребуется установить происхождение или время получения какой-либо информации.

*Интероперабельность* – это «способность двух или более систем или приложений обмениваться информацией и взаимно использовать информацию, которая была обменена». Международные стандарты или взаимно согласованные протоколы связи необходимы для определения синтаксиса информации, семантики информации, ожидаемого поведения и политик обмена информацией для обеспечения функциональной совместимости [1]. Необходимо принять различные ключевые решения в отношении аспектов функциональной совместимости цифровых двойников. Например:

- механизмы и стандарты для обеспечения совместимости нескольких цифровых двойников друг с другом;
- механизмы и стандарты для обеспечения взаимодействия различных приложений с цифровыми двойниками;
- механизмы и стандарты для обеспечения функциональной совместимости цифровых двойников с их базовыми объектами;

- механизмы и стандарты для обеспечения функциональной совместимости цифровых двойников с базовыми источниками информации.

## Стандарты и практики

Существуют различные мероприятия по стандартизации цифровых двойников, даже если они прямо не называются «цифровыми двойниками». IEC 62832 – это хорошо зарекомендовавший себя стандарт, который определяет структуру цифровой фабрики с представлением активов цифровой фабрики в её центре, хотя он и не называется цифровым двойником. ISO/IEC JTC1 представил отчёт о технологических тенденциях своей объединённой консультативной группы по новым технологиям и инновациям (JETI). В отчёте «Цифровой двойник» был определён как область номер один, требующая углублённого анализа, где JETI также рассматривает возможность налаживания сотрудничества с сообществом открытого исходного кода [2].

В 2019 году Консультативная группа ISO/TC 184 отметила, что в ИСО нет «основанной на стандартах основы для архитектуры данных “цифрового двойника”» [3]. В результате была сформирована группа для изучения формализации цифровых двойников. Кроме того, в 2019 году Ассоциация стандартов IEEE инициировала проект IEEE P2806, целью которого является определение системной архитектуры цифрового представления физических объектов в заводских условиях. Аналогичный подход используется в концепции производства цифровых двойников ISO/AWI 23247 в рамках ISO TC 184/SC4/WG15. Эта структура позволяет использовать PnP для двойных элементов, уделяя основное внимание интерфейсам и функциям цифровых двойников.

Немецкая платформа Industrie 4.0 запустила Asset Administration Shell [4] как реализацию цифрового двойника для интеллектуального производства, IEC PAS 63088. Этому способствовало партнёрство между Францией, Италией и Германией по этому вопросу [5].

ISO TS 18101-1 «содержит требования, спецификации и рекомендации по архитектуре независимой от поставщика промышленной цифровой экосистемы» с упором на функциональную совместимость в нефтегазовой отрасли. В этом контексте цифровой двойник определяется как «цифровой актив, на котором могут выполняться услуги,

представляющие ценность для организации». Цифровые активы не считаются обязательно физическими.

Деятельность с открытым исходным кодом также становится всё более и более популярной. В проекте Eclipse BaSyx [6] предлагаются первые комплекты разработки программного обеспечения (SDK), средства просмотра и редакторы для разработки цифровых двойников, соответствующие спецификации Asset Administration Shell. В рамках Eclipse IoT [7] Eclipse Ditto в сочетании с Eclipse Vorto предлагает универсальную структуру цифровых двойников.

Помимо классических организаций по разработке стандартов (SDO), таких как Международная организация по стандартизации (ISO) и Международная электротехническая комиссия (IEC), другие консорциумы в контексте IoT, такие как W3C Web of Things (WOT), работают над спецификациями цифрового представления вещей.

## Цифровой двойник в применении

### Цифровой двойник в производстве

Коммерческий самолёт состоит из многих комплектующих, таких как двигатели, шасси и авионика. В результате цифровой двойник самолёта представляет собой композицию двойников этих частей. Авиакомпании – это операторы, которые обычно покупают или арендуют самолёты у компании, отвечающей за все самолёты. В результате ответственность за цифровой двойник самолёта на момент доставки будет нести производитель самолёта. Производитель, в свою очередь, будет полагаться на двойники основных деталей, таких как двигатели OEM-производителя. Эти двойники должны иметь возможность взаимодействовать на одной или нескольких, но совместимых платформах. Со временем эти двойники должны поддерживаться в рабочем состоянии.

Что касается ценности для бизнеса, цифровой двойник самолёта помогает с профилактическим обслуживанием, эффективностью эксплуатации (например, топливной экономичностью) и выработкой стратегий обслуживания активов. Учитывая, что срок службы самолёта часто составляет несколько десятков лет, а стоимость обслуживания в течение всего срока службы может превышать первоначальную стоимость самолёта, наличие циф-

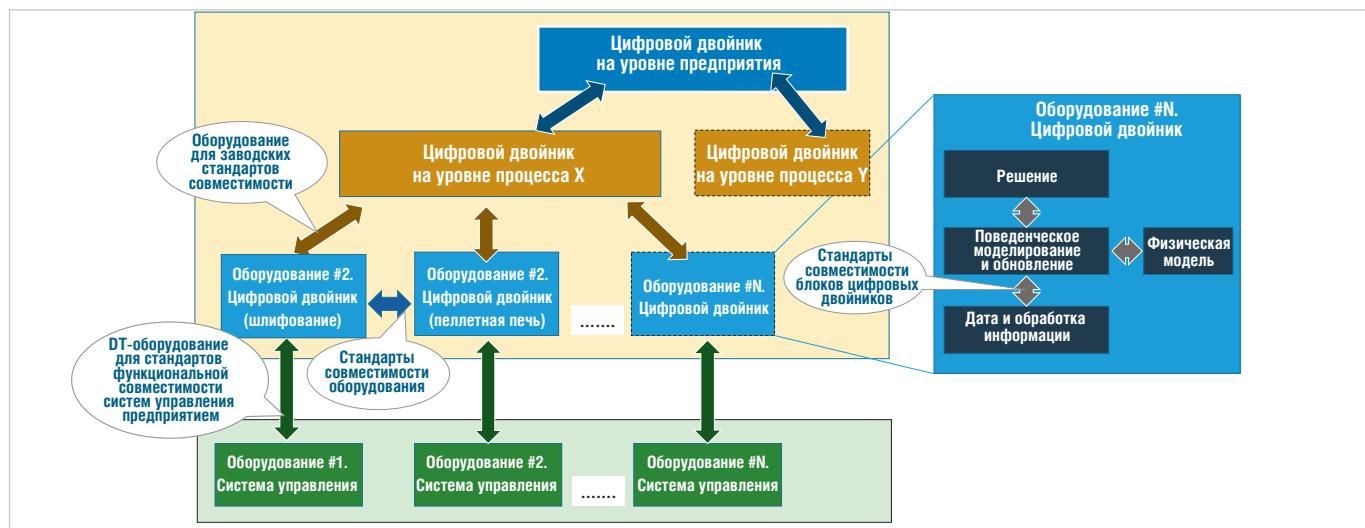


Рис. 11. Цифровой двойник в процессе укладки на поддоны

ровых двойников является решающим преимуществом.

### Цифровой двойник в энергетике и ЖКХ

В процессе окомкования эффективный контроль печного оборудования и установки необходим для достижения высокого уровня производительности печи, энергоэффективности и соответствия требованиям качества.

Как показано на рис. 11, цифровой двойник печи для окомкования работает в тандеме с распределённой системой управления предприятием. Затем этот цифровой двойник используется для непрерывной оптимизации работы в режиме реального времени, предлагая оператору оптимальные установки. Цифровой двойник включает в себя предварительную обработку данных и информации, имитационную модель поведения оборудования (как на основе данных, так и на основе расчётов физики), а также самообучающиеся модули и решения (которые оптимизируют входные данные с учётом ограничений процесса, качества, безопасности и окружающей среды). Цифровой двойник использует как программные модели, основанные на данных более 7000 датчиков, так и физические сенсоры для прогнозирования неизвестного расхода, температуры и состава рециркулируемых газов.

Цифровые двойники для сталелитейного завода будут включать:

- цифровой двойник на уровне оборудования, который управляет каждой единицей оборудования;
- подблоки, которые позволяют использовать цифровой двойник на уровне оборудования здания;

- связь между цифровыми двойниками и существующими системами управления;
- цифровой двойник на уровне процесса, который будет управлять оборудованием в рамках процесса;
- цифровой двойник на уровне завода, который будет контролировать все операции завода.

При рассмотрении требований к интероперабельности необходимо учитывать стандарты интероперабельности для связи между блоками, как поясняется ниже.

В этом сценарии цифровые двойники приносят следующие преимущества для бизнеса:

- оптимизация в режиме реального времени контролирует ключевые параметры управления, обеспечивая снижение расхода топлива на 2% и улучшение производительности на 3%;
- вычисление в режиме реального времени различных параметров качества, таких как прочность на сжатие окатышей, и рабочих параметров печи, таких как температура слоя, помогает операторам принимать быстрые и точные решения без необходимости проведения лабораторных пробных испытаний.

### Цифровой двойник в нефтегазовой сфере

Цифровой двойник подземного мониторинга скважины для жизненного цикла нефтяной скважины начинается на этапе разведки, когда при запуске скважины используются имитационные модели, основанные на сейсмических и других геологических данных. Цифровой двойник мони-

торинга подземных скважин представляет собой составную систему; модель бурения состоит из четырёх уникальных независимых элементов, каждый из которых представляет собой составной цифровой двойник. Это недра, ствол скважины, буровая установка и наземное оборудование. Недра, в свою очередь, включают в себя окружающую геологию, коллектор и около-скважинные образования. Чтобы получить целевые функции для выполнения во время строительства скважины, эти четыре интегрированных первичных элемента данных являются примерами того, что необходимо смоделировать:

- траектория ствола скважины;
- физика бурильной колонны;
- контроль давления (свойства бурового раствора);
- состав и целостность коллектора (вблизи ствола скважины).

Мониторинг скважин и датчики буровой установки в сочетании с возможностями искусственного интеллекта резервуара, которые сканируют огромные объёмы геологических и исторических данных о добыче в экземпляре цифрового двойника, обеспечивают оперативный контроль и взаимодействие между подземным резервуаром и наземными сооружениями. Цифровой двойник мониторинга подземных скважин развивается в течение жизненного цикла скважины, чтобы учитывать дополнительные варианты использования в процессе добычи, обслуживания и ликвидации.

Цифровой двойник для мониторинга подземных скважин предлагает следующие преимущества для бизнеса.

- Он обеспечивает механизм оценки стратегий по снижению затрат, оптимизации эксплуатации скважин и добычи ископаемых. Эти цифровые

двойники обеспечивают лучшее понимание финансовых, технических и эксплуатационных параметров для управления скважинами в режиме реального времени.

- Цифровой двойник подземного мониторинга скважин может улучшить общий индекс целостности скважин и процессы строительства скважин, поддерживая разработку эффективных и гибких рабочих процессов строительства скважин и облегчая принятие решений в отношении наиболее выгодных альтернатив разведки, бурения и добычи.

### Цифровой двойник в горной работе

Цифровой двойник для горнодобывающей деятельности с упором на состояние обрабатываемых активов включает информацию, необходимую для принятия наилучших решений в отношении технического обслуживания, будь то на основе состояния или на основе прогнозов. Кроме того, он предоставляет информацию для определения приоритетов планирования рабочих заданий на основе параметров и показателей фактического состояния активов.

Цифровой двойник состояния обрабатываемых активов используется во всём бизнесе, и поэтому ему требуется доступ к различным системам, чтобы гарантировать, что отображаемая информация является точной и актуальной для актива и уровня детализации, который интересует пользователя.

Этот цифровой двойник взаимодействует:

- с системами управления активами предприятия (EAM);
- локальным архивариусом и архивариусом всего предприятия;
- IT-системой заказчика;
- существующими системами управления.

В этом сценарии цифровые двойники приносят следующие преимущества для бизнеса.

- Возможность улучшить среднее время безотказной работы в соответствии с методами управления эффективностью активов рудника. Это достижимо благодаря тому, что информация привязывается к реальному времени сильнее, чем это было возможно ранее. Вместе с ключевой информацией из системы EAM различная системная информация объединяется в цифровом двойнике, что

помогает принимать ключевые решения.

- Они реализуют весь потенциал рудников, чтобы свести к минимуму потери предприятия из-за проблем с обслуживанием оборудования.
- Их применение повышает точность планирования, что, в свою очередь, способствует переходу к мониторингу, в большей степени основанному на состоянии, и, в конечном счете, к прогнозному мониторингу активов.
- Это снижает общую стоимость за счёт большей прозрачности состояния активов и графиков технического обслуживания.

### Цифровой двойник в автоматизации процессов

Цифровой двойник партии химического продукта объединяет всю необходимую информацию о партии продукта. Интересующая информация представляет собой производственные параметры (такие как температура, давление и влажность) во время производства конкретной партии.

Цифровой двойник предоставляет информацию для мониторинга соответствующих аспектов (вязкость, значение pH и агрегатное состояние) текущего состояния продукта. На основе этих данных можно проводить моделирование в целях прогнозирования оптимальных производственных параметров дальнейших этапов обработки, чтобы гарантировать запланированное качество продукта.

Изменения в свойствах продукта могут быть зарегистрированы в базе данных временных рядов, что позволяет отследить превышение критически важных для качества значений до времени и места и, таким образом, определить причину таких изменений. Эти функции делают цифровой двойник продукта ключевой частью процесса управления качеством.

Поскольку цифровой двойник партии химического продукта даёт представление об истории данных этой партии, он может быть доставлен покупателю в дополнение к реальному продукту. Собранные данные помогают клиенту на дальнейших этапах обработки или конечного использования.

В этом сценарии цифровые двойники приносят следующие преимущества для бизнеса.

- Прозрачность и прослеживаемость производственных параметров мо-

гут использоваться в регрессионных явлениях.

- Плохое качество продукции может быть обнаружено напрямую, что предотвратит выполнение дальнейших дорогостоящих производственных операций.
- Анализ качества продукции и предстоящих производственных параметров позволяет получить дополнительные знания о производстве.
- Общее качество продукции может быть улучшено за счёт интеллектуального моделирования производственных параметров.

### Заключение

Хотя большинство компаний предлагают использовать цифровые двойники как часть своей стратегии по развитию Интернета вещей, понятие цифровых двойников существовало до IoT под другими именами и определениями. В результате появились разные интерпретации цифровых двойников, обусловленные вариантами использования, в которых цифровые двойники играют определённую роль. Несмотря на то что набор решений, с которыми сталкиваются архитекторы при проектировании различных цифровых двойников, пересекается, такое различное понимание цифровых двойников является препятствием введению общих абстрактных архитектур для цифровых двойников и их положению в промышленных системах.

В этой статье был сделан шаг к тому, чтобы дать конкретное определение цифрового двойника с точки зрения промышленного интернет-консорциума (IIС), и рассмотрены сценарии, в которых цифровой двойник играет важную роль в повышении эффективности текущих вариантов использования и обеспечении возможности появления новых. Перечисленные технические аспекты и решения по проектированию цифровых двойников закладывают основу для дальнейшей работы по включению цифровых двойников в Эталонную архитектуру промышленного Интернета (IIRA). Поскольку безопасность и функциональная совместимость являются двумя важными качественными характеристиками цифровых двойников, будет проведена дальнейшая работа по предложению средств для реализации этих характеристик.



# Барометр-гигрометр-термометр с батарейным питанием на базе MEMS-датчика BME280, микроконтроллера EFM8SB10F8 и ЖКИ-модуля H1313.

## Часть 2

Алексей Кузьминов (г. Москва)

Это вторая часть статьи о барометре-гигрометре-термометре на базе MEMS-датчика BME280 (компании Bosch Sensortec), нового микропотребляющего 51-совместимого микроконтроллера (МК) EFM8SB10F8 (Silicon Laboratories) и ЖКИ-модуля H1313 на базе контроллера HT1616 (Holtek). В этой части рассмотрены программирование и конструктивные особенности прибора.

1-я часть статьи закончилась на рассмотрении проблемы с потерей содержимого регистра с адресом 0xF7. Решение проблемы можно осуществить двумя способами. Первый способ – после выполнения подпрограммы записи адреса 0xF7 сразу же прочитать содержимое SPI0DAT (это и будет содержимое адреса 0xF7), а затем уже осуществить чтение подпрограммой чтения, в результате чего получим содержимое адреса 0xF8, и далее прочитать остальные байты стандартным образом.

Второй способ состоит в том, что вначале следует записать (подпрограммой записи) не адрес 0xF7, а адрес на единицу меньше, т.е. адрес 0xF6, а затем уже прочитать все 9 байт. Оба способа, как выяснилось, работают, однако второй, по мнению автора, более предпочтителен, поскольку он позволяет воспользоваться стандартными подпрограммами чтения и записи по SPI. Ниже приведён фрагмент основной программы, где показано, как это сделать.

Во-первых, вначале следует установить совмещение (объединение) 4-байтного числа (uint32\_t dw) с массивом из 4 однобайтных чисел (uint8\_t b[3]) с 4 элементами: b[0], b[1], b[2] и b[3]. Это совмещение требуется,

чтобы, с одной стороны, иметь возможность работы с 4-байтным числом (например, ADC\_P) для расчётов давления по формулам, приведённым в справочном листке (с учётом калибровочных коэффициентов), с другой – производить однобайтное чтение по интерфейсу SPI (он, как известно, однобайтный). Такое совмещение приводит к тому, что массив из 4 однобайтных чисел b[3] и одно 4-байтное число dw перераспределяют одно и то же место в памяти. Другими словами, массив b[3] строго определяет число dw, и наоборот, dw строго определяет массив b[3]. Это совмещение приведено ниже.

```
union {
    uint8_t  b[3];
    uint32_t dw;
}ret;
```

Ниже приведён фрагмент основной программы, в котором осуществляется чтение начиная с адреса 0xF6 (BME280\_REG\_PRESS\_MSB – 1), т.е. на единицу меньше адреса старшего байта давления (в начале программы установлена директива #define BME280\_REG\_PRESS\_MSB 0xF7). Самый старший

элемент массива (ret.b[3]) не используется, поэтому он должен быть обнулён.

```
ret.b[3] = 0x00;
outspi(BME280_REG_PRESS_MSB - 1);
//адрес 0xF6
ret.b[2] = inspi(); //содержимое 0xF7.
ret.b[1] = inspi(); //содержимое 0xF8.
ret.b[0] = inspi(); //содержимое 0xF9.
adc_P = (ret.dw >> 4) & 0xFFFFF;
.
.
.
```

Таким образом, прочитав все три байта, можно получить правильные показания АЦП (ADC\_P) из числа ret.dw. Остальные 6 байт для температуры и влажности читаются аналогично.

Кстати, в справочном листке BME280 в качестве примера приведена последовательность (по времени) многократного чтения по SPI (SPI multiple byte read), как раз начиная с регистра с адресом 0xF6 (figure 13 из datasheet). С учётом вышесказанного на рис. 1 приведён этот рисунок со скорректированными адресами.

Теперь по поводу вывода информации на ЖКИ. Подобный ЖКИ ранее применялся в стационарных телефонных (и кассовых) аппаратах, приставках для АОН и других устройствах. Выпускался он в огромных количествах. Названий у этого ЖКИ также очень много: КО-4В, КО-4В2, HT1611, HT1613, HT1616 и др. О его программировании подробно написано в справочном листке на контроллер, например, HT1616C (Timer with Dialer Interface, компании Holtek). Хотя выпуск этого ЖКИ давно прекращён, его легко купить (например, на Авито и др. подобных ему сайтах). Кроме того, можно также легко купить б/у приставку для АОН (не дороже 100–300 руб.) и изъять из неё этот ЖКИ. В ЖКИ встроены часы,

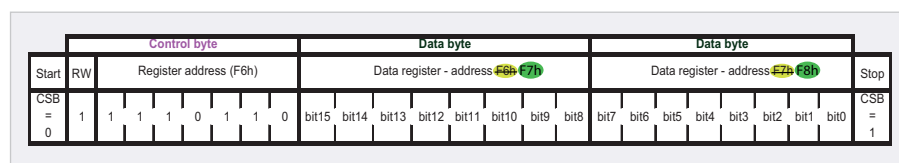


Рис. 1. Последовательность многократного чтения по SPI (адреса скорректированы)

которые могут показывать время (часы, минуты и секунды) при определённом состоянии управляющего сигнала НК (см. рис. 1 первой части статьи), однако этот режим в приборе не используется (но такая возможность сохранена). Программируется этот ЖКИ достаточно просто, однако, на взгляд автора, имеются две проблемы, вызывающие некоторые затруднения в программировании на C51 вывода информации на этот дисплей. Первая проблема: как программно вывести байт через какой-либо порт МК, вторая – каким образом получить десятичные цифры для вывода на ЖКИ, например, 16-разрядного числа.

Вначале о 1-й проблеме. Она может быть решена двумя способами. Первый способ – использовать аппаратный SPI и подпрограмму вывода по SPI для BME280, рассмотренную ранее. Но в этом случае в связи с разными скоростями обмена для BME280 (5 Мбод) и ЖКИ (максимум 0,5 Мбод, т.е. на порядок меньше), а также разными настройками (в частности, полярности и фазы), придётся каждый раз при выводе информации на ЖКИ и BME280 изменять эти настройки, что очень неудобно.

Второй способ – вывести байт в ЖКИ «вручную», т.е. программным способом. Каким образом это можно сделать достаточно просто? Как ни странно, но на ассемблере такой вывод не вызывает затруднений. Если имеется байт, и его требуется вывести последовательно через какой-либо порт, например P0.1, то такая процедура хорошо известна: байт сдвигается влево через бит переноса C, в котором появляется старший бит байта, т.е. 7-й бит. Далее порту P0.1 присваивается значение бита переноса C, и для записи в периферийное устройство (ЖКИ) он строится импульсом CLK через какой-либо второй порт, например, P0.2. Для передачи следующего бита байт сдвигается влево ещё раз, в C попадает уже 6-й бит, и эта процедура повторяется 7 раз, пока не выведется весь байт. Но в C51 нет такого понятия, как бит переноса C. Как здесь быть? К счастью, в C51 имеется «лазейка», которая позволяет вывести байт подобным образом. Здесь необходимо напомнить, что в области памяти МК EFM8SB10 есть 16 байт с побитовой адресацией (нам хватит и одного). Эта область памяти именуется как bdata. Адресация каждого бита байта из области bdata про-

исходит точно так же, как это принято для портов МК. Например, для бит DI и CLK, выводимых с портов P0.1 и P0.2 соответственно, эта адресация приведена ниже.

```
sbit DI = P0^1;
sbit CLK = P0^2;
```

Если назначить какой-либо байт, например, BYTEIO из области bdata, и конкретный бит BITIO, как, например, 7-й бит BYTEIO, то такое назначение на C51 будет выглядеть так:

```
bdata uint8_t BYTEIO;
sbit BITIO=BYTEIO^7;
```

Если теперь присвоить выводимому через порт P0.1 биту DI значение BITIO, протестировать каждый выводимый бит сигналом CLK (изменяя его значение с лог.0 на лог.1 и обратно с задержкой 10 мкс) и сдвигать байт BYTEIO циклически влево на 1 бит командой `_crol_(BYTEIO,1)`, то для вывода всего байта получим следующую достаточно простую процедуру (т.е. подпрограмму «ручного» вывода байта):

```
void OUTBLCD(uint8_t OUTB){//
Вывод байта в ЖКИ
uint8_t j;
BYTEIO=OUTB;
for (j=0;j<8;j++){
DI=BITIO;
CLK=1;
DEL10US();
CLK=0;
DEL10US();
BYTEIO=_crol_(BYTEIO,1);
}
}
```

Теперь о том, как получить десятичные цифры для вывода 16-разрядного числа.

Пусть имеется 16-разрядное число, например, давление P, которое в результате расчётов по формулам для BME280 равно 751 мм рт. ст. В МК это число представлено в двоичном виде, что в 16-ричном виде соответствует числу 0x02ef. Как получить цифры «7», «5» и «1» из этого числа и как их вывести на ЖКИ? Эта задача решается также достаточно просто.

Для этого в области памяти программы (code) необходимо завести массив M[12], состоящий из 12 элементов, коды которых соответствуют кодам

выводимых цифр (эти коды приведены в справочном листке (datasheet) на контроллер):

```
code uint8_t M[12]=
{/"0" "1" "2" "3" "4" "5"
"6" "7" "8" "9" blank "-"}
0x0a,0x01,0x02,0x03,0x04,0x05,0x0
6,0x07,0x08,0x09,0x00,0x0f};
```

Если внимательно приглядеться к этому массиву, то можно обнаружить, что код того или иного элемента массива соответствует его номеру в массиве, или, другими словами, его индексу (например, *i*, в массиве M[i]). Например, код цифры «0» (0x0a) содержится в 0-м элементе массива, код числа «5» (0x05) – в 5-м элементе и т.п. Таким образом, если требуется вывести, например, цифру «5», то, задав индекс *i* = 5, получим M[5], что соответствует выводимой «пятёрке».

Для того чтобы из выводимого числа получить цифры для вывода на ЖКИ, можно воспользоваться оператором `sprintf [параметры]`, используемым для «печати» информации. Этот оператор работает так же, как и оператор `printf [параметры]`, используемый для распечатки данных на мониторе компьютера, выводимых через интерфейс RS-232 (COM-порт). В отличие от оператора `printf`, который посылает данные на COM-порт компьютера, оператор `sprintf` помещает эти данные в специальный буфер (массив) в памяти МК. Этот буфер указывается в параметрах `sprintf`.

В качестве примера рассмотрим вывод на ЖКИ идентификационного номера (ID) BME280, который равен 60h (58h в BMP280). Пусть считанный из BME280 идентификационный номер расположен в однобайтовой переменной CHID. Заведём два массива: 1-й (buf[5]) – для вывода пяти байт в ЖКИ (что соответствует выводу всех десяти знамен, каждое из которых состоит из полубайта или тетрады), 2-й (bufTP[7]) – для получения чисел для давления (3 цифры), влажности (2 цифры) и температуры (2 цифры), т.е. всего 7 цифр. Для ID требуется только 2 цифры, так что можно воспользоваться этим же массивом (bufTP[7]).

Вначале обнуляем массив buf. Затем «печатаем» CHID-оператором `sprintf` в формате двух 16-ричных цифр в bufTP. После этого необходимо избавиться от «тройки» в старшем полубай-

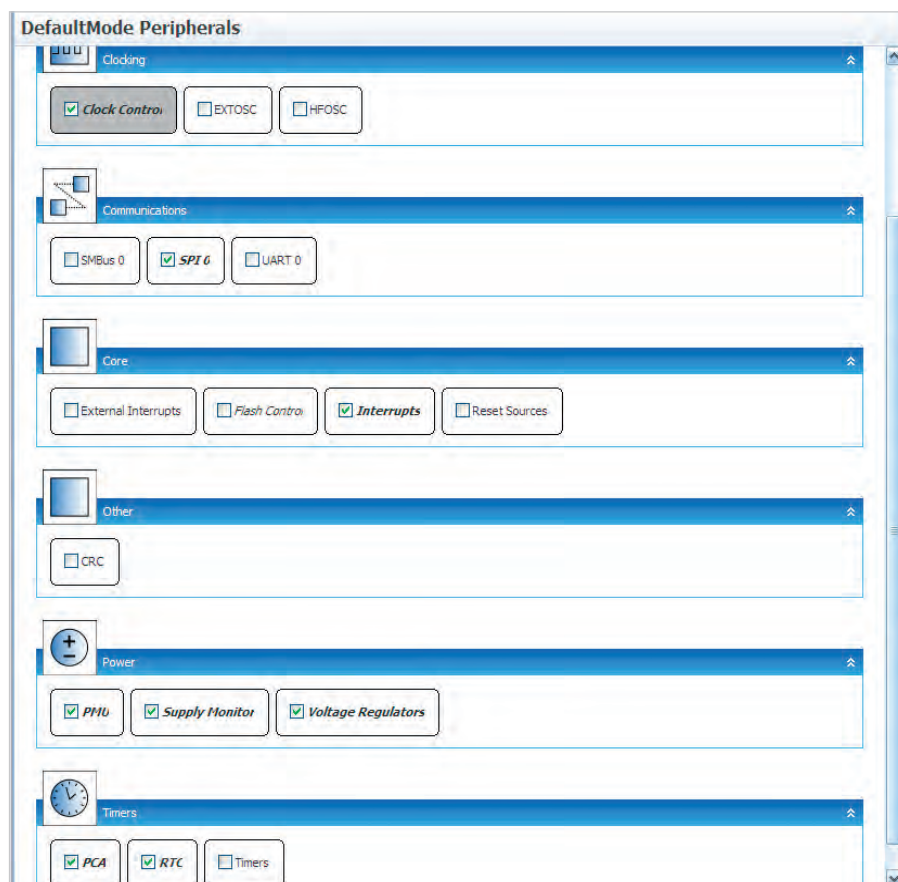


Рис. 2. Общее меню конфигурирования

те каждой цифры, так как оператор `printf` выводит цифры в коде ASCII, в котором каждая цифра состоит из двух полубайт: в старшем полубайте выводится «3», а в младшем – сама цифра. Например, цифра «5» кодируется как 0x35, «0» – как 0x30 и т.п. Для этого все элементы массива `bufTP` логически умножаем на 0x0f, т.е. обнуляем старший полубайт. Далее с помощью оператора циклического сдвига влево (`_crol_`) на 4 двоичных разряда формируем два полубайта последнего (5-го) байта массива `buf` (`buf[4]`), в которых и содержится идентификационный номер. И наконец, выводим все 5 байт в ЖКИ вышеприведённой подпрограммой `OUTBLCD()`. Код на C51 представлен ниже.

```
//-----
uint8_t CHID,i,buf[5],bufTP[7];
//-----
for (i=0;i<5;i++){//Обнуляем buf
buf[i]= 0x00;
}
printf (bufTP,"%-2x",CHID);//
Печатаем ID
for (i=0;i<2;i++){
bufTP[i] &= 0x0f; //Убираем "3"
```

```
}
buf[4]= _crol_
(M[bufTP[0]],4)+M[bufTP[1]];//
Формируем 5-й байт
for (i=0;i<5;i++){
OUTBLCD(buf[i]); //Выводим 5
байт в ЖКИ
}
```

В результате в правой части ЖКИ появится идентификационный номер BME280 «60» (или «58» для BMP280).

Для того чтобы «напечатать» 3 цифры давления (`press`), 2 цифры влажности (`hum`) и 2 цифры температуры (`temp`), необходимо использовать оператор `printf` следующего формата:

```
printf (bufTP,"%3u%2u%2u",press,
hum,temp);
```

Кроме того, если температура отрицательная, то перед числом температуры необходимо поставить знак минус (код 0x0f) – это последний (12-й) элемент массива `M[12]`, если положительная, то пробел (код 0x00) – предпоследний (11-й) элемент массива `M[12]`.

Как видно из вышеизложенного, вывод информации в ЖКИ доста-

точно прост, в связи с чем занимает небольшую память программ (`code`) и оперативную память данных (`data`) – см. далее.

Перейдём теперь к процедуре инициализации всех устройств МК. Эта процедура намного проще написания программы на C51, однако именно она определяет полное функционирование всего МК. Инициализация осуществляется в среде `Simplicity Studio v.4` в специальном режиме конфигурации.

В общем меню конфигурирования (рис. 2) в настройке нуждаются только те устройства, которые отмечены «галочками» (остальные устройства по умолчанию отключены).

При нажатии соответствующей кнопки в меню справа будет отражаться окно, в котором нужно выбрать те или иные параметры. При нажатии кнопки `Clock Control` необходимо выбрать `Low Power Oscillator` и установить делитель для системной тактовой частоты в единицу `SYSCLK/1`. При этом значение частоты для `SYSCLK` установится на 20 МГц (или 20 000 000 Гц, рис. 3а). В настройках для `SPI` (рис. 3б) необходимо разрешить работу `SPI` (`Enabled`), установить 3-проводный режим `Master` (`Master 3-wire mode`), установить фазу (`Clock Phase`) и полярность (`Clock Polarity`), а также выбрать скорость работы, т.е. в данном случае выбрать коэффициент деления `SYSCLK` (`SPI0CKR`) равным единице. В этом случае частота импульсов `SCK` установится равной 5 МГц, т.е. в 2 раза меньше максимальной частоты импульсов `SCK` для BME280 и МК EFM8SB10 (10 МГц), т.е. с 2-кратным запасом. В опциях `Interrupts`, `Supply Monitor` и `Voltage Regulators` необходимо установить запрет (`disable`), а в опции `PCA` – запрет работы `Watchdog Timer'y` (в связи с простотой подробности не показаны). Нажав кнопку `PMU`, необходимо выбрать разрешение выхода из `sleep`-режима по тревожному сигналу от таймера `RTC` (`Enable RTC alarm Wake-up Source`), отмеченное синим цветом на рис. 3в. Это очень важный момент. Если этого не сделать, то после входа в `sleep`-режим программа «зависнет». И последнее, что необходимо сделать, – это настроить параметры работы `RTC` в соответствии с рис. 3г. Здесь надо добавить, что при работе счётчика `RTC` от внутреннего микроп-

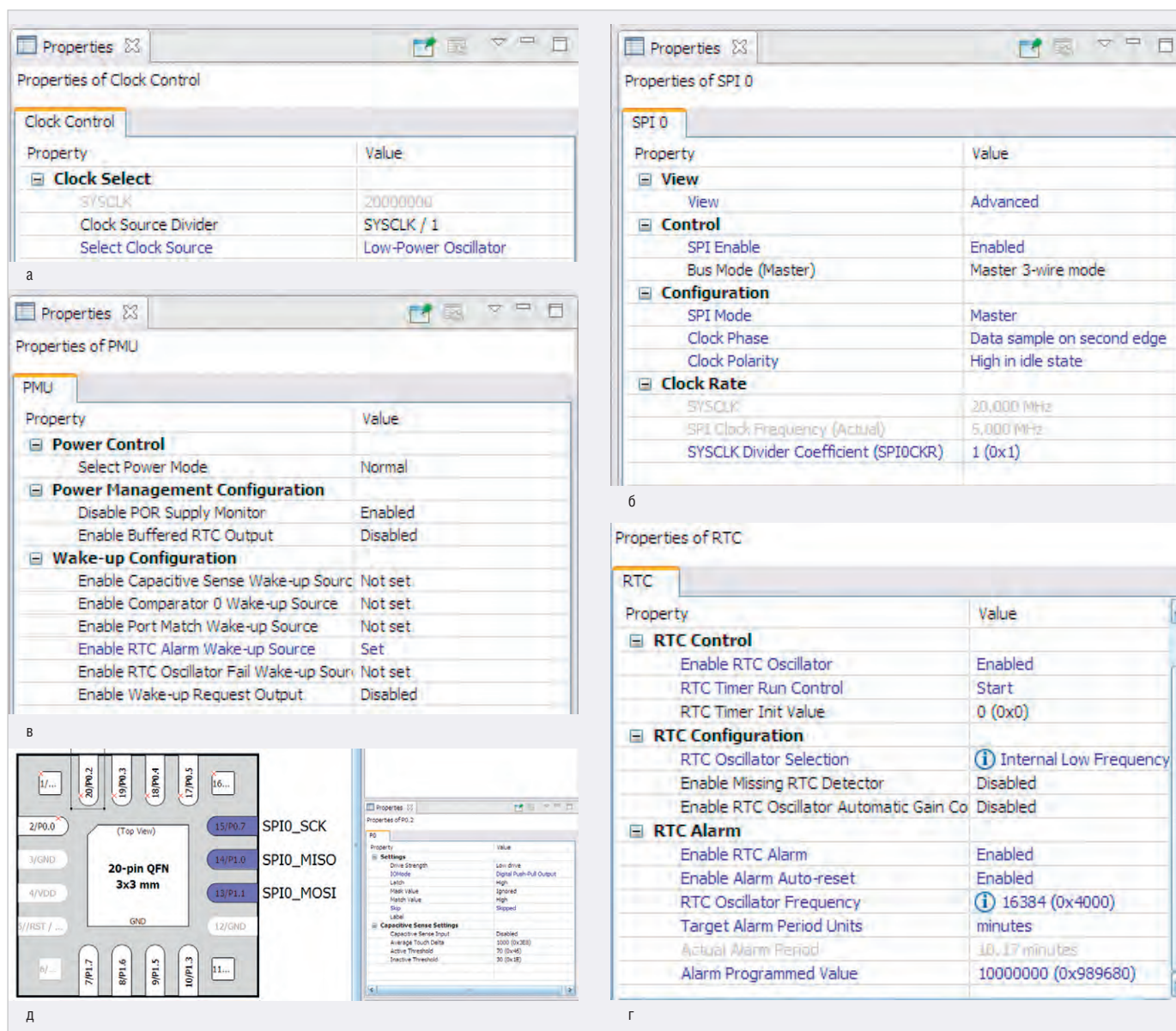


Рис. 3. Конфигурирование устройств МК

а – выбор системной тактовой частоты (SYSCLK), б – выбор режима работы SPI, в – настройка PMU, г – настройка RTC, д – настройка портов МК (DefaultMode PortI/O)

ного НЧ-генератора LFOSC0 частотой около 16 кГц этот счётчик будет считать каждый поступивший импульс не нулевым, а 1-м битом, или, другими словами, содержимое RTC будет увеличиваться на единицу так, как будто к RTC подключён кварцевый резонатор частотой 32 кГц. То есть RTC будет считать в 2 раза быстрее. Поэтому, выбрав запрограммированное значение тревожного сигнала для RTC (Alarm Programmed Value), равное 10 000 000, которое соответствует периоду в 10 минут (Actual Alarm Period – предпоследняя строчка в окне рис. 3г), получим, что этот период на самом деле будет равен 5 минутам. Также необходимо разрешить сам тревожный сигнал от RTC (Enable RTC Alarm) и авто-ресет RTC по Alarm'у (Enable Alarm Auto-reset). Опция авто-ресет

автоматически сбрасывает (обнуляет) содержимое таймера RTC по достижению максимального значения (5 минут), т.е. RTC после обнуления не останавливается, а продолжает работу сначала. Кроме того, необходимо разрешить работу RTC (Enable RTC oscillator) и запустить его (RTC Timer Run Control – Start).

Далее необходимо перейти в режим настройки портов (Default Mode PortI/O). На экран выведется корпус МК с портами (рис. 3д). Опции skip (пропуск) необходимо «передвинуть» порты интерфейса SPI (SPI0\_SCK, SPI0\_MISO и SPI0\_MOSI) в правую часть корпуса, чтобы их легче было соединить с BME280 – так, как это показано на принципиальной схеме устройства из 1-й части статьи (и на разводке – см. далее рис. 4а). «Пропущенные»

порты отмечены красными крестиками. Порты P0.1, P0.2 и P0.3, подключаемые к ЖКИ, настроить как цифровые выходы (Digital Push-Pull Output) со слабым токовым выходом (Low drive). При этой опции потребление тока портом существенно снижено. Для наглядности в правой части рис. 3д показана конфигурация порта P0.2, отмеченного на корпусе (слева сверху) чёрным прямоугольником. Порты SPI P0.7 (SPI0\_SCK), P1.1 (SPI0\_MOSI) и порт P1.2 (11-й вывод, CSB) также настроить как Digital Push-Pull Output, а порт P1.0 (SPI0\_MISO) – как цифровой вход (Digital OpenDrain I/O), т.е. выход с открытым стоком (и со слаботочковой подтяжкой – Pull-ups Enabled).

После того как произведена настройка (конфигурация) всех устройств МК, необходимо нажать кнопку с двойной

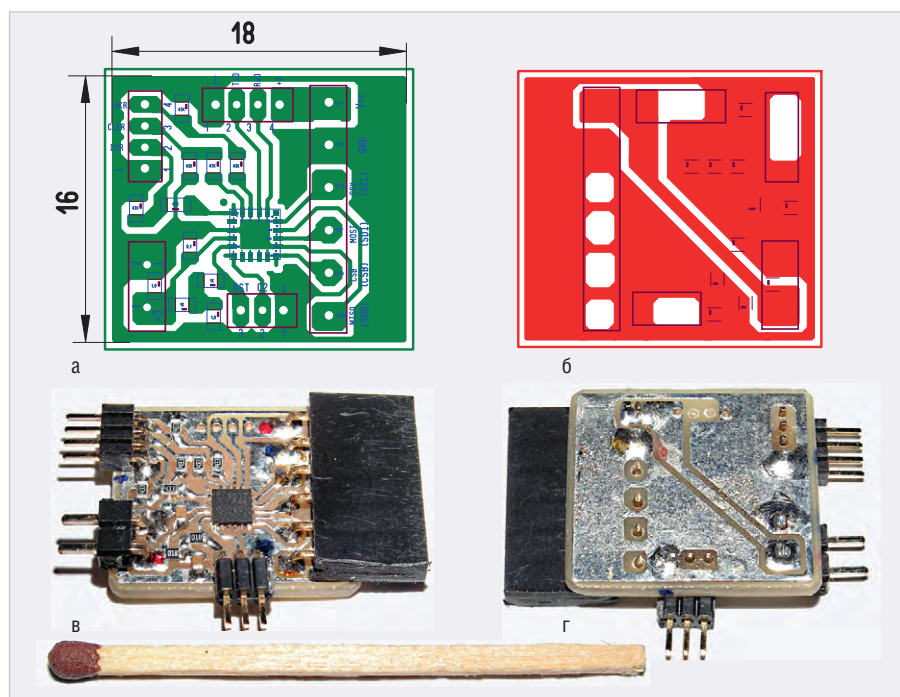


Рис. 4. Разводка и общий вид платы устройства

а, в – вид со стороны расположения компонентов, б, г – вид с обратной стороны

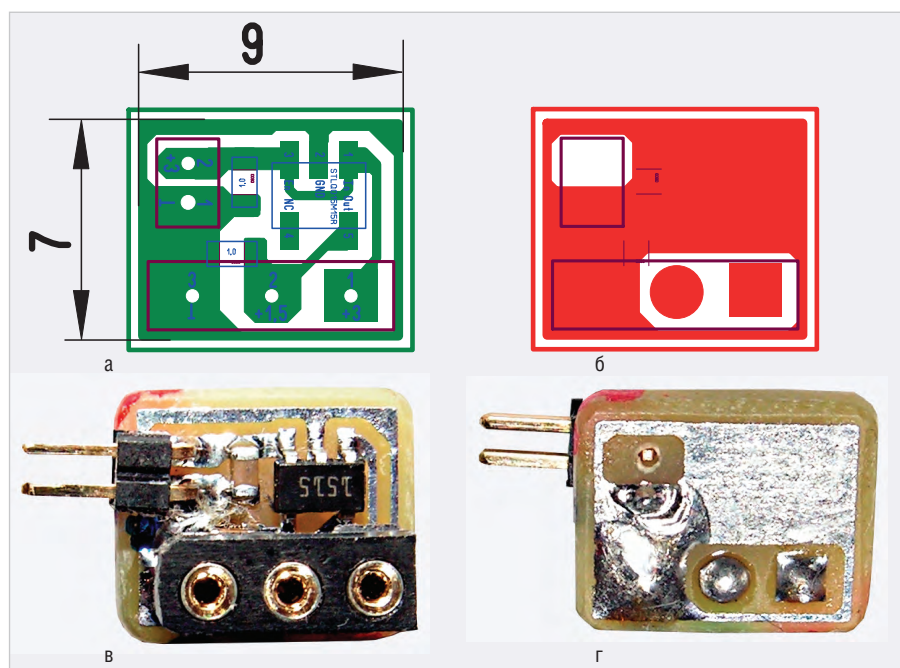


Рис. 5. Разводка и общий вид платы стабилизатора 1,5 В

а, в – вид со стороны расположения компонентов, б, г – вид с обратной стороны

дискетой в левой верхней строке меню всего экрана, чтобы записать эту конфигурацию на диск.

При этом на C51 генерируется текст программы инициализации устройств InitDevice.c (чтобы написать её вручную, да ещё без ошибок, а это несколько страниц текста на C51, уйдёт не один день), к которой будет обращение из основной программы в самом начале её работы. После этого основную программу необходимо оттранслировать, выбрав в меню экрана опцию Project и

в открывшемся окне – подопцию Build Project. После трансляции создастся файл EFM8SB10F8G-A-QFN24.hex, о котором уже упоминалось в начале этого раздела статьи, а в нижней части экрана в специальном окне, отражающем результат трансляции, будет следующее сообщение:

```
Program Size: data=116.1 xdata=0
const=0 code=5066
LX51 RUN COMPLETE. 0 WARNING(S),
0 ERROR(S)
```

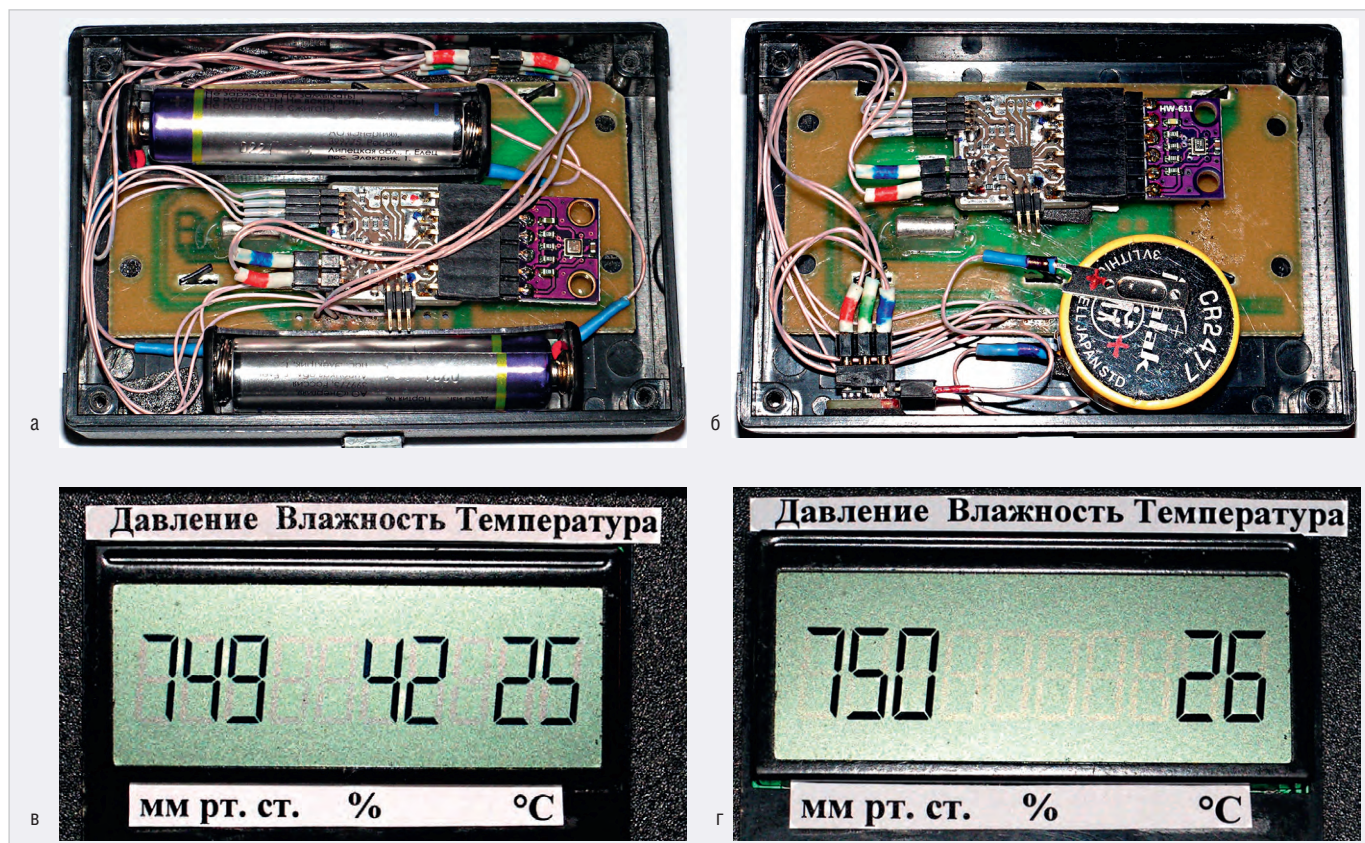
Finished building target:  
EFM8SB10F8G-A-QFN24.omf

Из этого сообщения следует, что программа использует практически всю внутреннюю оперативную память (data = 116,1 байт), размер которой 128 байт, внешняя дополнительная оперативная память с непрямой адресацией размером 512 байт не используется (xdata = 0), а размер кодовой части программы составляет около 5 кБ (code = 5066), т.е. укладывается в максимальный размер программной памяти для этого МК, равный 8 кБ.

И последнее, что следует добавить по поводу программных средств. В Интернете можно найти массу приборов с датчиками ВМЕ280 и ВМР280, которые показывают давление Р, влажность Н и температуру Т с точностью до десятых и даже до сотых долей соответствующих физических величин, т.е. до 0,01 мм рт. ст., 0,01% и 0,01°C соответственно. Такую точность измерения действительно обеспечивает 20-разрядный АЦП, встроенный в ВМЕ280. Однако погрешность измерения самих датчиков Р, Н и Т (встроенных в ВМЕ280) составляет до 2 (а то и более) целых единиц соответствующих физических величин ( $\pm 2$  мм рт. ст.,  $\pm 2-3\%$  и  $\pm 2^\circ\text{C}$ ), не говоря уже о десятых и тем более сотых долях. Это автор обнаружил, наблюдая за показаниями двух идентичных приборов, стоящих рядом. В связи с этим на экран ЖКИ программой выводятся именно целые числа, показывающие давление, влажность и температуру. Такое положение вещей позволяет отказаться от использования библиотеки с плавающей запятой, «отъедающей» более 3 кБ памяти МК, для расчётов Р, Н и Т с точностью до 0,01 единиц соответствующей физической величины, поскольку такая точность является бессмысленной.

### Разводка плат устройства и их внешний вид

Разводка основной платы устройства сделана автором с помощью программы SprintLayout v.6, файл разводки в формате \*.lay6 приведён в дополнительных материалах к статье на сайте журнала. Из рисунков разведённой платы и её внешнего вида (рис. 4) можно заключить, что её разводка очень проста, а сама плата миниатюрна (размер всего 16×18 мм). Здесь следует добавить, что при программировании МК с помощью USB DEBUG адаптера по интерфей-



**Рис. 6. Конструкция прибора**

а – с модулем BME280 и двумя батарейками AAA FR03, б – с модулем BMP280, батарейкой CR2477 и стабилизатором 1,5 В, в – общий вид прибора с BME280 в сборе, г – показание прибора с BMP280

су С2 припаивать разъём для его программирования с помощью COM-порта компьютера (X2, см. схему подключения батарейки CR2477 из 1-й части статьи) необязательно. Как можно заметить из рис. 4в, на плате этого разъёма нет, хотя отверстия для его установки просверлены. Для оценки масштаба (размера) платы рядом с ней положена обычная спичка (рис. 4г).

Плата стабилизатора 1,5 В (рис. 5) – сверхминиатюрна (7×9 мм). Её файл разводки также приведён в дополнительных материалах к статье на сайте журнала.

### Конструкция прибора

Прибор расположен в корпусе размером 84×58×24 мм (ЧАББ), состоящим из двух половин (рис. 6). В одной из них, более глубокой, установлены все компоненты прибора. В этой половине корпуса прорезано окно для ЖКИ. Плата ЖКИ приклеена к внутренней поверхности этой половины корпуса пористой лентой с двусторонним липким слоем. В первом варианте (рис. 6а) основная плата со вставленным модулем BME280 приклеена к пластмассовой пластине пористой лентой с двусторонним липким слоем, а пластина,

в свою очередь, приклеена к плате ЖКИ такой же лентой. Две мизинчиковые литиевые батарейки FR03 установлены в батарейных отсеках, один из которых приклеен к плате ЖКИ, а второй – к внутренней части этой половины корпуса такой же лентой. Во втором варианте (рис. 6б) основная плата со вставленным модулем BMP280 аналогично приклеена к плате ЖКИ. К этой же плате приклеена литиевая батарейка CR2477 с приваренными контактами. Плата стабилизатора 1,5 В приклеена к боковой поверхности корпуса (рис. 6б, слева снизу). На лицевой поверхности прибора (рис. 6в) сверху приклеена полоска бумаги с напечатанными словами: «Давление Влажность Температура», а снизу – полоска с символами «мм рт. ст. % °C», расположенными приблизительно под числами, показывающими давление, влажность и температуру соответственно. Если в приборе используется модуль BMP280, то влажность, естественно, не показывается (рис. 6г).

Задняя половина корпуса (крышка) прикручивается к передней 4 саморезами. Для доступа воздуха к внутренней части прибора в крышке сверху и снизу просверлено по 3 отверстия (по

горизонтали) диаметром 4 мм и расстоянием между ними 3 мм. Отверстия расположены в правой части крышки на уровне расположения модулей с BME280 или BMP280 (если смотреть на рис. 6а и рис. 6б) таким образом, чтобы эти модули обдувались конвективным потоком воздуха наиболее эффективно.

Наибольший ток потребляет ЖКИ – 3 мкА. МК и BME280 в режиме сна потребляют 0,5 мкА и 0,1 мкА соответственно. Стабилизатор STLQ015M15R (DA1, см. схему подключения батарейки CR2477 из 1-й части статьи) потребляет ток не более 1 мкА (при максимальном выходном токе 150 мА). Если не учитывать потребление тока МК и BME280 в активном режиме, который длится не более 1 мс, что по сравнению с 5 минутами составляет около 0,00033%, и принять, что максимальное потребление тока прибора составляет 5 мкА в час, то за 10 лет это составит около 440 мА (0,44 А). Ёмкость батареек FR03 и CR2477 составляет 1 А·ч, т.е. в 2 раза больше. Однако срок службы батареек не превышает 10 лет (например, на батарейке FR03 написано, что срок её службы – до 2032 г.). Срок службы батарейки CR2477 также не превышает 10 лет. Отсюда следует,



Рис. 7. Сравнение показаний устройства с показаниями прибора БМ 2

что прибор может непрерывно работать до 10 (а то и более) лет.

### Результаты работы прибора

Для проверки правильности показаний устройства автор использовал достаточно «древний» прибор БМ 2, которому уже более 40 лет и который работает до сих пор (рис. 7). Правда, около 10 лет назад этот БМ 2 был откалиброван с помощью прецизионного anerоида и прецизионного гигрометра. Как следует из сравнения показаний двух приборов, они показывают приблизительно одинаковое давление (746 мм рт. ст.) и обведённое синим кружком место расположения стрелки, показывающей давление БМ 2 (правее риски 745). Показания же влажности несколько различаются: стрелка, показывающая влажность у БМ 2 (жёлтый кружок), расположена правее риски в 50%, а настоящий прибор показывает влажность 48%. Что касается температуры, то оба прибора показывают близкие значения (23°C у настоящего прибора) и конец красной полоски подкрашенного спирта у градусника БМ 2 (зелёный кружок — около риски 24°C).

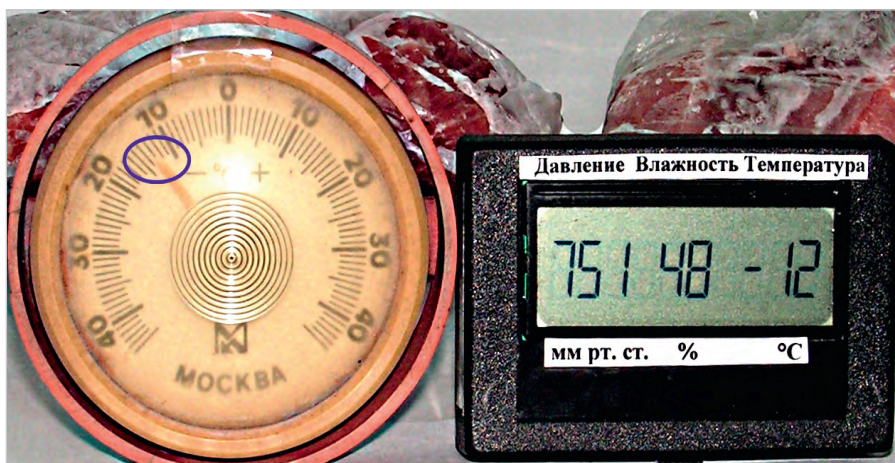


Рис. 8. Показания прибора при отрицательных температурах

Для проверки показания прибора при отрицательных температурах он был помещён в морозилку холодильника примерно на час. Туда же был помещён уличный термометр (прибор БМ 2 для этого непригоден, так как показывает только положительную температуру). Как следует из сравнения показаний двух приборов (рис. 8), уличный термометр показал температуру около  $-13^{\circ}\text{C}$  (конец стрелки, обведённый синим овалом, расположен около риски  $-13^{\circ}\text{C}$ ), а настоящий прибор  $-12^{\circ}\text{C}$ . Другими словами, оба прибора показали близкие значения температуры. Какой прибор показывает точнее, неясно, так как насколько показания уличного термометра такого типа соответствуют действительности (его погрешность), неизвестно.

### Заключение

Применение МК EFM8SB10 и сопряжённого с ним по интерфейсу SPI MEMS-датчика BME280, потребляющих доли мкА в состоянии сна (sleep-режим), совместно с 10-разрядным 7-сегментным ЖКИ H1313 позволили

сконструировать простой и недорогой прибор, измеряющий атмосферное давление, влажность и температуру с обновлением информации раз в 5 минут. Сверхнизкое энергопотребление дало возможность непрерывной работы прибора в течение как минимум 10 лет при питании от двух мизинчиковых литиевых батареек FR03 или небольшой литиевой батарейки CR2477 таблеточного типа. Использование sleep-режима в микропотребляющем МК EFM8SB10 может найти применение и в других приложениях (автономных приборах), где требуется либо измерять какие-либо физические параметры в достаточно медленно протекающих процессах, либо вообще длительное время производить какие-либо действия через достаточно большие и строго фиксированные промежутки времени. При этом для питания подобных устройств вполне возможно использование компактных батареек небольшой ёмкости, способных обеспечить непрерывную работу таких устройств в течение нескольких лет.



## НОВОСТИ МИРА

### Рынкам гаджетов и носимой электроники предвещают до 2 лет рецессии

Аналитики CCS Insight прогнозируют снижение на мировом рынке носимой электроники в 2022 и 2023 годах. А рынку смартфонов пророчат спад в течение шести кварталов подряд.

По мнению специалистов, проблемы в экономике, которые сопровождаются ростом цен на продукты питания и энергоносители, заставят людей сократить расходы на товары не первой необходимости. В ре-

зультате это замедлит как первичные покупки смарт-часов и фитнес-трекеров, так и повторное приобретение этих устройств на замену уже имеющимся.

В CCS Insight полагают, что в этом году мировые продажи носимых на запястье гаджетов не превысят 215 млн штук, тогда как в 2021-м на глобальный рынок поступило порядка 232 млн умных часов и фитнес-браслетов.

«Инфляция и ограниченные бюджеты сказались на рынке носимой электроники в этом году. С учётом того, что трудно-

сти в экономике, по всей видимости, сохранятся и в заключительном квартале, на который обычно приходится пик продаж носимых устройств, спрос останется слабым даже в период предпраздничных распродаж в конце года» — комментирует исследование старший аналитик CCS Insight Джеймс Мэннинг Смит (James Manning Smith).

Эксперты с пессимизмом оценивают перспективы рассматриваемого рынка и в 2023 году, также ссылаясь на неблагоприятную экономическую конъюнктуру. Ожида-

## НОВОСТИ МИРА

ется, что поставки смарт-часов уменьшатся еще на 1%, фитнес-трекеров – на 2%, а суммарные отгрузки устройств опустятся до 212 млн штук.

Восстановление прогнозируется не ранее 2024 года, когда дела в экономике начнут улучшаться. В CCS Insight полагают, что сегмент смарт-часов с этого времени вернется на восходящую траекторию, и в 2026-м их продажи поднимутся до 224 млн единиц. Специалисты отмечают, что развитые страны продолжают лидировать по внедрению смарт-часов, но на развивающихся рынках популярность устройств тоже будет расти за счёт недорогих моделей и ожидаемых новинок на платформе Wear OS от Google.

Что касается фитнес-браслетов, то в отношении этой категории настроения аналитиков менее радужные.

«Мы ожидаем, что многие потребители в развитых странах постепенно перейдут на смарт-часы. Это приведет к сокращению продаж фитнес-трекеров в Северной Америке, Западной Европе и на развитых рынках Азиатско-Тихоокеанского региона», – заявил Мэннинг Смит. Впрочем, сохраняющийся спрос на фитнес-браслеты со стороны пользователей в развивающихся регионах поможет поддержать поставки. Это позволит сегменту вернуться к росту в 2024 году, а в 2026 году отгрузки устройств должны достигнуть 112 млн штук.

Несмотря на то что нынешний и следующий год будут непростыми для рынка носимой электроники, аналитики верят, что в целом распространение технологии не остановится. По оценкам CCS Insight, к 2026 году общее число владельцев носимой электроники удвоится по сравнению с 2021-м и приблизится к 1,2 миллиарда пользователей.

Объём мирового рынка смартфонов во второй половине 2022 года сократится более чем на 10% относительно аналогичного периода 2021-го, ожидают в исследовательской компании DigiTimes Research. Как отмечают эксперты, если прогноз сбывается, то это значит, что продажи будут падать шесть кварталов подряд.

Ранее аналитики IDC ухудшили прогноз по глобальным поставкам смартфонов. Если раньше они ожидали по итогам 2022 года рост рынка на 1,6%, то теперь предсказывается спад на 3,5%, до 1,31 млрд выпущенных устройств. Вместе с тем исследователи считают, что продажи смартфонов в ближайшие годы будут расти на 1,9% ежегодно.

«Рынок смартфонов столкнулся с проблемами на всех фронтах, включая осла-

бление спроса, инфляцию, продолжающуюся геополитическую напряжённость, а также сохраняющиеся ограничения в цепочках поставок. Однако влияние локдаунов в Китае намного более существенно», – пояснила аналитик IDC Набила Попаль (Nabila Popal).

Прогноз по рынку смартфонов ухудшили и аналитики TrendForce. Согласно их ожиданиям, в 2022 году по всему миру будет выпущено около 1,33 млрд устройств, тогда как прежде аналитики предсказывали объёмы производства устройств в 1,38 и 1,36 млрд штук. Оценка снижена в связи со слабыми показателями в январе-марте 2022 года и дальнейшим поквартальным снижением, которое ожидается в апреле-июне.

Также в TrendForce учли негативное влияние конфликта на Украине, на фоне которого усилилась проблема глобальной инфляции. Из-за роста цен у потребителей остаётся меньше свободных средств на покупки товаров не первой необходимости, а значит, они будут реже обновлять свои смартфоны, поясняется в исследовании.

По прогнозам аналитиков Cowen, в 2022 году на глобальный рынок поступит 1,36 млрд смартфонов, что на 6% меньше, чем годом ранее. В 2023-м поставки этой техники также сократятся – на 2%, до 1,33 млрд единиц.

Рынок смартфонов просядет в основном из-за слабого спроса на дорогие аппараты, считают исследователи. По их словам, у производственных планов китайских вендоров и Samsung «по-прежнему происходят негативные изменения» – компании вынуждены выпускать меньше трубок, чем ожидалось изначально.

Эксперты Strategy Analytics ожидают, что, начиная с 2022 года и далее, смартфоны премиум-класса с оптовой ценой от 300 долларов США и выше оттеснят аппараты среднего уровня (100–190 долларов) и станут крупнейшей категорией на мировом рынке смартфонов по объёму продаж в деньгах.

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

## ГК ICL построит крупнейший в России радиоэлектронный завод

Группа компаний ICL приступает к основной фазе строительства одного из крупнейших в России заводов по производству радиоэлектронной продукции, сообщили представители ICL.

Предприятие сможет выпускать до 1 млн единиц техники в год, включая материнские платы, которые будут доступны и другим отечественным производителям. Проект на-

целен на создание в стране производственных возможностей нового класса.

Торжественная церемония запуска прошла 4 октября 2022 г. на X юбилейной партнёрской конференции компании ICL Partner Connect в Москве. В ней приняли участие такие гости, как Василий Шпак, заместитель министра промышленности и торговли России; Андрей Заренин, заместитель министра цифрового развития связи и массовых коммуникаций России; Роман Шайхутдинов, заместитель премьер-министра Республики Татарстан; Айрат Хайруллин, министр цифрового развития государственного управления, информационных технологий Республики Татарстан.

Завод ICL будет располагаться на территории особой экономической зоны (ОЭЗ) «Иннополис» в Казани. Общая площадь объекта составит около 8 тыс. кв. м, он будет включать цеха по поверхностному монтажу печатных плат и 7 автоматизированных конвейерных линий сборки и тестирования готовой продукции.

«Новое предприятие даст старт реализации новых, амбициозных проектов цифровой трансформации страны на российских продуктах», – отметил председатель совета директоров ICL Виктор Дьячков. – Завод будет производить отечественные персональные устройства, ноутбуки, которые будут соответствовать самым высоким российским и международным стандартам».

Технологические мощности завода позволят обеспечить серийное производство полного цикла как текущего, так и перспективного продуктового портфеля группы компаний ICL: моноблоки, тонкие клиенты, интерактивные панели, серверы, системы хранения данных.

ICL Техно (ООО «Айсизл техно») – российский производитель вычислительной техники, входящий в группу компаний ICL. Расположен в особой экономической зоне «Иннополис» в Лаишевском муниципальном районе Республики Татарстан по выпуску инновационной продукции. ICL Техно – это завод, чьи производственные мощности рассчитаны на 300 тыс. изделий в год. Под брендом ICL завод выпускает настольные и мобильные системы, серверы, системы хранения данных, интерактивные панели, инфоматы, а также отраслевые решения для сферы образования, здравоохранения и ритейл, в соответствии с российским стандартом качества ГОСТ РВ и международным стандартом ISO 9001:2015.

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

# Термометрия элеватора по системе «Power over Ethernet»

Андрей Шабронов (г. Новосибирск)

Кабель UTP с 4 парами проводов, длиной более 250 метров, проложили между диспетчерским компьютером элеватора и удалённым корпусом силоса элеватора. Это позволило решить сразу две задачи: обеспечить сбор данных системы термометрии и одновременно её электропитание. Схема питания использует шину USB и имеет защиту по предельному току потребления, что обеспечивает работу системы при аварийных коротких замыканиях линии или датчиков.

## Введение

Кабель UTP с 4 парами проводов используется для организации локальной сети между компьютерами. Такой незащищённый кабель был проложен между диспетчерским компьютером элеватора и удалённым корпусом силоса элеватора с длиной более

250 метров. В результате получилась система PoE — «Power over Ethernet» для термометрии.

Это позволило решить сразу две задачи: обеспечить сбор данных системы термометрии и, одновременно, её электропитание. Такое решение позволило снизить затраты на допол-

нительные элементы энергопитания, а также обеспечить требуемую защиту по уровню напряжения для опасных помещений. Схема питания, используемая в технологии PoE, использует шину USB и имеет защиту по предельному току потребления, что обеспечивает работу системы при аварийных коротких замыканиях линии или датчиков.

Таким образом, интерфейс USB полностью обеспечивает сбор данных термометрии и при этом защищён от возможных электрических повреждений.

## 1. Структурная схема системы PoE термометрии силосов элеватора

Действующий элеватор состоит из трёх корпусов по 60 силосов в каждом. Линия проведена от места установки диспетчерского компьютера до третьего дальнего корпуса, и суммарная длина составляет не менее 250 метров, как показано на рис. 1. Два других корпуса работают и используют аналоговые типы датчиков. В ходе работ были выполнены условия плановой последовательной модернизации термометрии без остановки работы.

Кабель содержит четыре витые пары, которые подключены по схеме, приведённой на рис. 2.

Таким образом, витая пара используется как один провод и получается кабель из четырёх проводов. Выбор цвета пары для назначенной линии случайный.

Линия длинная, и использовать передачу импульсов скорости интерфейса 1wire нельзя, так как импульсы ослабнут и затухнут. Чтобы передать сигналы по длинной линии, был изменён тип интерфейса на RS-485 и увеличены длительности информационных импульсов, а в точке приёма информационный поток переводится в скорость и тип интерфейса 1wire, показано на рис. 3.

Следует обратить внимание, что длинный участок подвержен помехам и искажениям сигналов, но он работает на меньшей скорости и в другом варианте интерфейса. Получаем, что влияние помех при таком варианте передачи данных очень низкое и не искажает

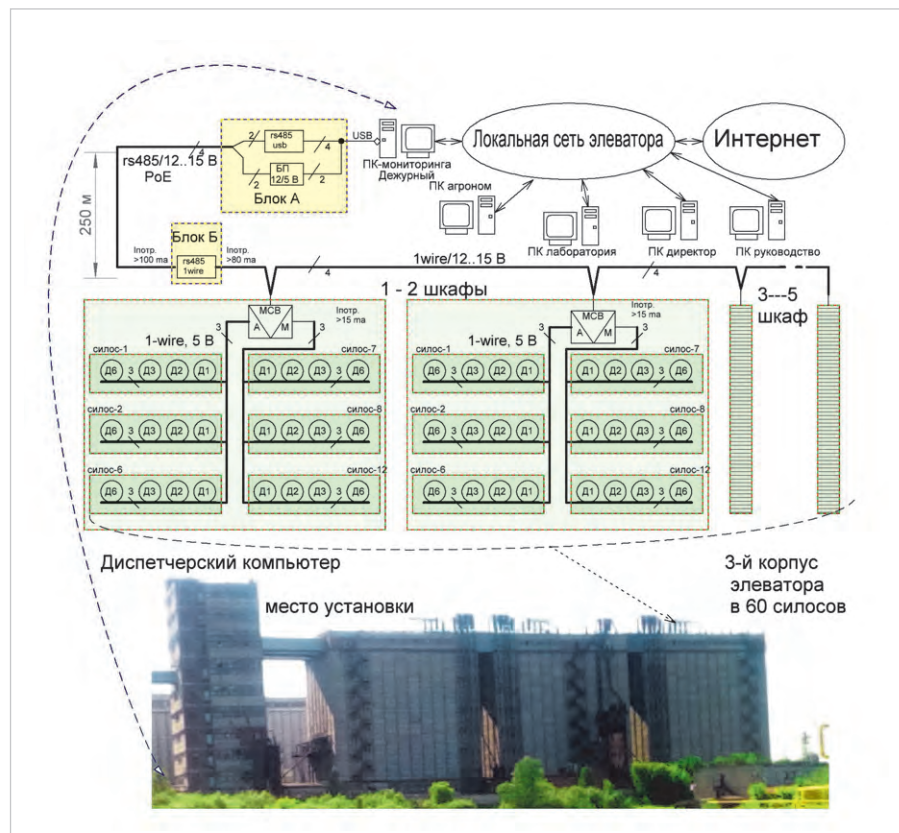


Рис. 1. Структурная схема PoE термометрии на 60 силосов

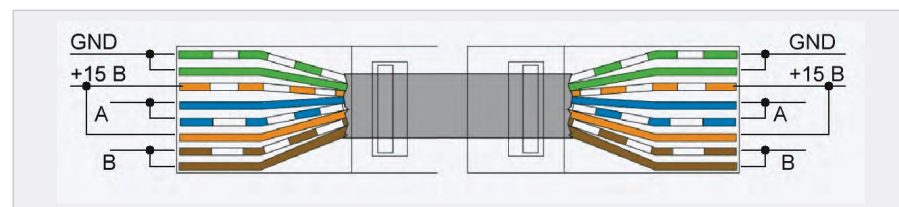


Рис. 2. Схема подключения проводов кабеля «витая пара»

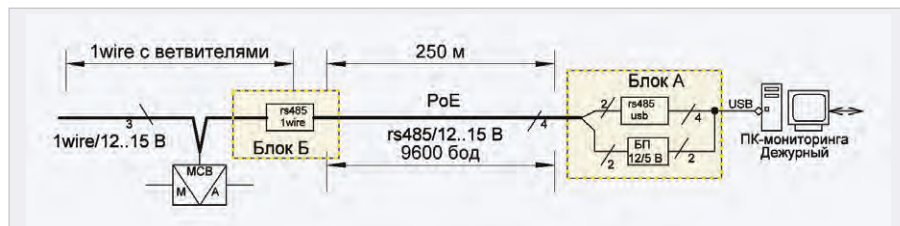


Рис. 3. Распределение скорости информации

информацию. Далее опрос датчиков температур выполняет модернизированная схема ветвителя (MCB), которая подробно представлена в [2].

Имеется два узла преобразования типа интерфейса. Первое преобразование usb-rs485 находится у компьютера перед кабелем с витой парой – это блок А на схеме, рис. 4. Второе преобразование rs485-1wire происходит после линии – блок Б.

В блоке А передачу-приём usb-rs485 выполняет распространённый, надёжный и дешёвый преобразователь [1], что показано на рис. 4.

Для формирования возможности использования «Power over Ethernet», т.е. питания всех MCB и датчиков в блоке А, из напряжения 5 В интерфейса USB преобразователем MT3608 [4] формируется напряжение в 15 В, которое может быть подрегулировано установочным резистором Rуст.

Стабилизатор напряжения 78L12 и резистор R1 создают схему стабилизатора тока для выходного напряжения +12 В. Поскольку выходной ток не может превышать заданного значения даже при коротком замыкании (КЗ) линии, получается, что это защита от короткого замыкания. Программа расчёта резистора R1 для тока КЗ приведена в документе [3]. В случае КЗ вся мощность рассеивается на R1, и для этого он должен быть достаточно мощным.

Для расчёта R1 вначале суммируем токи всех потребителей и таким образом получаем рабочий ток схемы. Этот ток умножаем на два и получаем расчётный теоретический ток КЗ, поскольку рабочий ток не может при всех условиях работы увеличиться в два раза. Далее по программе [3] получаем значение сопротивления R1 и его требуемой рассеиваемой мощности с двойным запасом на рассеивание.

## 2. Преобразование RS-485 – 1wire

Схема блока Б для преобразования сигналов интерфейса RS-485 в сигналы интерфейса 1wire представлена на рис. 5.

На разъём J1 подключена линия с двумя проводами питания и двумя проводами интерфейса RS-485. Микросхема U2 (RS-485) преобразует парные противофазные входные сигналы в уровни логических сигналов =0= и =1=, которые поступают на вывод 4 (GP3) микроконтроллера (МК) U3 (PIC12F629) [5].

Резисторы R4, R5, R7 согласовывают линию передачи.

По программе МК выполняется преобразование сигналов с низкой скоростью в сигналы интерфейса 1wire, которые выдаются через вывод 7 (GP0) МК U3 на схему компаратора с открытым коллекторным выходом U1 (LM393). Компаратор настроен на среднюю точку от напряжения питания резисторами R2, R6, и, таким образом, входные логические уровни всегда повторяются на выходе. Важным преимуществом работы компаратора является фиксация уровня сигналов интерфейса 1wire по среднему уровню напряжения питания, что позволяет значительно увеличить длину линии до датчиков.

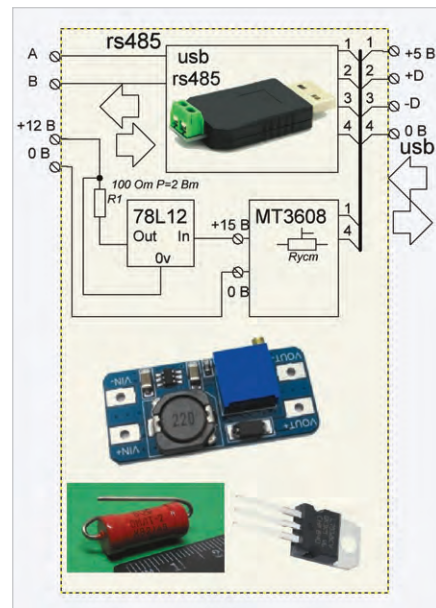


Рис. 4. Схема блока А

Приём и передача информации индицируется на контрольном светодиоде D1. Питание +5 В из поступающих 15...12 В формирует стабилизатор Q1 (78L05).

МК U3 работает на частоте 20 МГц, которую задаёт кварцевый резонатор Y1. Это позволяет задавать выходные параметры сигнала 1wire с точностью до одной микросекунды и принимать сигналы с большими искажениями, анализируя их длительности с необходимой точностью.

Обратная передача выполняется в режиме сокращённых кодов, поскольку

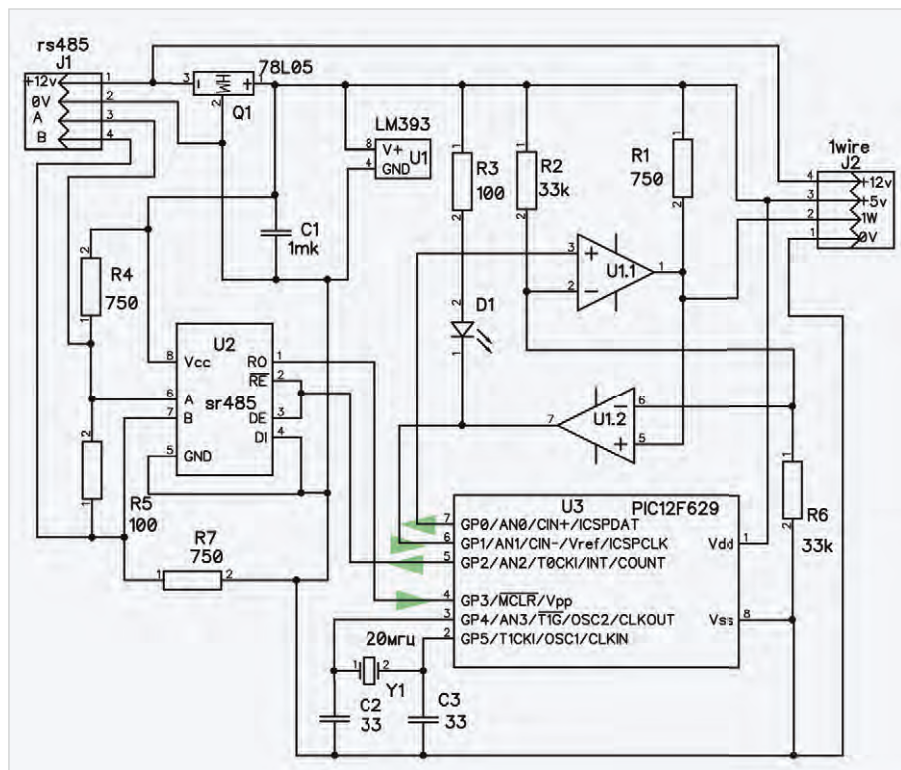


Рис. 5. Схема преобразования сигналов интерфейса RS485 в сигналы интерфейса 1wire

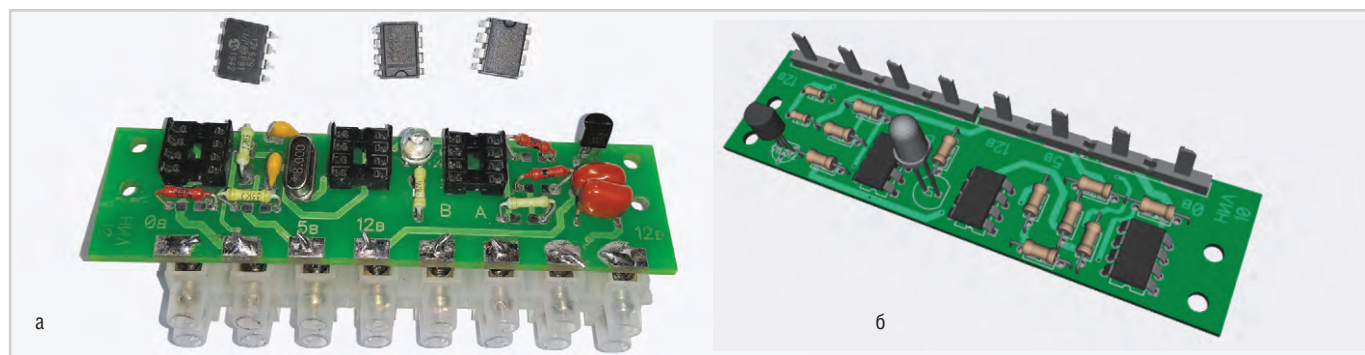


Рис. 6. Фото собранной платы преобразователя rs485-1wire (6a) и её 3D-модель в DipTrace (6б)

сигнал DI микросхемы U2 подключён на общий провод. Так как при переходе в режим передачи передаётся только уровень 0, то, следовательно, можно передавать только 9 стартовых кодов, а именно: 0xFF, 0xFE, 0xFC, 0xF8, 0xF0, 0xE0, 0xC0, 0x80, 0x00.

Все компоненты схемы собраны на печатной плате и предназначены для монтажа под «винт». На рис. 5 представлены: слева – фото собранной печатной платы, справа – 3D-модель той же платы. Печатная плата разработана в среде проектирования DipTrace, проект доступен в каталоге программ [6] и находится в файле **shema\_rs485\_1wire\_v1.zip**.

На печатной плате предусмотрена установка компонентов под два размера: DIP и SOIC. Все микросхемы устанавливаются через переходную колодку DIN-8, что позволяет ремонтировать блок, модифицировать и изменять программное обеспечение и возможные функции использования. Печатная плата вытянута в длину для установки на дин-рейку аналогично конструкции MCB [2].

### 3. Программное обеспечение

Для работы используется программное обеспечение, совместимое с интерфейсом 1wire, которое представлено в [6]. Программа термометрии **silos\_v3\_bagan.exe** подготовлена на языке программирования FORTH [7]. Программа содержит все компоненты для программирования и модификации преобразования 12F629, а также печатные платы и схемы. Программный код для МК формируется в режиме «восстановление всех файлов – компиляция нового кода», как указано в описании [8].

Для тестовых проверок в МК схемы преобразования интерфейса RS-485-1wire предусмотрена возможность получения данных с использованием AT-команд через программу «Гипертерминал» или ей подобные. Устанавливаются скорость и формат передачи

Таблица 1. Порядок кодировки исходного байта на три передаваемых байта

| 2 | 000  | 001  | 010  | 011  | 100  | 101  | 110  | 111  |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 3 | 0x00 | 0x80 | 0xC0 | 0xE0 | 0xF0 | 0xF8 | 0xFC | 0xFE |

9600n1 и передаются блоком запросные байты команд. Ответный блок байтов содержит информацию согласно передаваемому запросу.

Перечислим основные команды запросов.

- **AT+R** – передача сброса на шину 1wire. Ответ 1 байт: 0xFF – нет ответа, 0xF0 – есть ответ RST по шине 1wire.
- **AT+1** – передача сигнала «единица» на шину 1wire. Ответ 1 байт: 0xFF – принята «единица», 0xF0 – принят «ноль», т.е. можно уже дешифровать данные от датчика.
- **AT+0** – передача сигнала «нуля» на шину 1wire. Ответ 1 байт: FF – принята ошибка, F0 – принят «ноль».
- **AT+KN** – передача байта, где N=0...FF в формате 1wire. Ответ в три байта, в которые закодирован ответный байт шины 1wire, поскольку количество байт на передачу ограничено схемным решением установки постоянного нуля.
- **AT+GKLNNNN..N** – передача блока NNN...N байт количеством K. Ответ L 3 байт. Следует учитывать, что надо другой программой последовательно по три байта данных перекодировать в один байт и получить L байт. Таким образом передаётся пакет на запрос индивидуальных датчиков и получаются данные, например, о температуре. В тексте программы это выполняет форт-слово **DE\_KOD\_1WIRE**.
- **AT+Y** – запрос о содержании ППЗУ 12F629. Ответ – вся память МК в HEX формате 0x80×3 байт.
- **AT+U** – запрос на поиск всех доступных адресов для микросхем интерфейса шины 1wire. Ответом выдаются найденные адреса устройств в блоке формата 8×3 байт. Признак окончания по-

иска – повторение блока первого найденного адреса.

Порядок кодирования и декодирования 1 байта в 3 определённых доступным количеством кодов на передачу. Передаваемый байт в 8 бит разбивается на 3+3+2 бита (B1+B2+B3). Имеем всего 8 вариантов, которые и передаем байтом, как показано в табл. 1.

Для B3 имеем два бита и передаём с третьим битом нуля, но при декодировании этот бит не учитываем.

Например, исходный байт 0xC1 = 110-000-01 передаём как 0xFC, 0x00, 0x80. На приёме три байта в обратном порядке «складываются» в один байт. Проверка всей информации на достоверность выполняется по алгоритму стандарта 1wire.

Подробное описание других тестовых команд приведено в тексте программы **asm\_shema\_rs485\_read\_v1.f** на языке Форт [7]. Текст форт-ассемблера находится в программе **assmb\_pik12f\_v1.f** и компилируется при формировании кода исполнения для МК. Все тексты программ имеют подробные комментарии и доступны для модификации и изменений.

Режим AT-команд позволяет использовать любые другие программы для получения данных через преобразование интерфейса RS-485-1wire.

### Выводы

Предложенная схема ретрансляции интерфейса RS-485 в 1wire позволяет использовать стандартные преобразователи, что увеличивает надёжность при эксплуатации системы термометрии. Переход на старт-стопный интерфейс с низкой скоростью позволяет значительно увеличить длину линии и использовать распространённые кабе-

ли для сетевого подключения компьютеров.

Использование питания устройств термометрии по линии связи увеличивает надёжность и ремонтпригодность системы измерений. Есть один питающий узел – это сам компьютер. Наличие АТ-команд позволяет использовать любые другие языки программирования для получения данных с интерфейса 1wire.

## Литература

1. Модули usb-rs485 // URL: <https://>

[www.chipdip.ru/catalog/popular/usb-rs485](http://www.chipdip.ru/catalog/popular/usb-rs485).

2. *Шабронов А.А.* Опыт использования сигнализации и диагностики термометрии силосов элеватора по шинной топологии подключения цифровых датчиков // Современная электроника. 2021. № 5. С. 32–34.
3. Программа расчёта стабилизатора // URL: <http://electro-shema.ru/chertezhi/stabilizator-toka-dlya-svetodiodov.html>.
4. Модуль MT3608 // URL: <https://www.chipdip.ru/product/>

[mt3608-dc-dc-module](http://mt3608-dc-dc-module).

5. Описание 12F629 // URL: [http://www.microchip.ru/files/d-sheets-rus/PIC12F629\\_675.pdf](http://www.microchip.ru/files/d-sheets-rus/PIC12F629_675.pdf).
6. Каталог программы, платы // URL: [http://90.189.213.191:4422/doc\\_sh/bagan\\_2022/test/](http://90.189.213.191:4422/doc_sh/bagan_2022/test/); URL: [https://disk.yandex.ru/d/aKao\\_DVD1LzrUQ](https://disk.yandex.ru/d/aKao_DVD1LzrUQ).
7. *Черезов А.* Описание языка Форт spf4.exe // URL: <http://www.forth.org.ru/>.
8. *Шабронов А.А.* Замена DS2409 на 12F629 // Современная электроника. 2021. № 8. С. 22–36. 

## НОВОСТИ МИРА

### «Росэлектроника» и ФРП запустили в Красноярске производство станций тропосферной связи

Холдинг «Росэлектроника» Госкорпорации Ростех при поддержке Фонда развития промышленности (ФРП) запустил производство станций тропосферной связи «Гроза» с высокоскоростным цифровым модемом на основе нейронных сетей. Оборудование позволяет обеспечить связь на расстоянии до 210 км в горных, труднодоступных и малонаселённых районах, вдоль автомобильных трасс и железных дорог, а также на отдалённых промышленных объектах.

Производство развернуто на красноярском НПП «Радиосвязь» (входит в «Росэлектронику») с привлечением льготного займа на 335 млн рублей от Фонда развития промышленности.

Главным преимуществом новой аппаратуры является дальность связи и скорость информационного потока. Оборудование способно передавать данные со скоростью до 25 Мбит/с в режиме тропосферной связи и до 155 Мбит/с в режиме радиорелейной связи.

«Станция тропосферной связи может использоваться для подключения любых объектов и позволяет передавать информацию на высоких скоростях независимо от рельефа местности. Кроме того, тропосферная связь экономически более выгодна по сравнению со спутниковой из-за отсутствия расходов на абонентскую плату за аренду спутникового ресурса. Несмотря на более высокую стоимость самого оборудования, за 1–2 года эксплуатации станции тропосферной связи инвестиции в приобретение аппаратуры окупятся, поскольку пользователь не платит за аренду спутникового канала и не несёт никаких других дополнительных расходов», – отметил генеральный директор НПП «Радиосвязь» Ринат Галеев.

В аппаратуре используется технология

передачи данных, основанная на отражении сигнала от тропосферы – нижнего слоя атмосферы. Для организации тропосферной линии связи требуется минимум две приёмо-передающие станции. Антенна диаметром 150 см может размещаться на крыше здания, мобильной мачте или треноге. В состав изделия также входит высокоскоростной цифровой модем тропосферной связи на основе нейронных сетей. За счёт встроенных алгоритмов обработки информации аппаратура способна «обучаться» в процессе работы и выделять полезный сигнал из фоновых шумов.

В рамках пилотных испытаний станции «Гроза» специалисты НПП «Радиосвязь» успешно провели тестовое подключение нескольких социальных и инфраструктурных объектов на территории Красноярского края, в том числе фельдшерско-акушерского пункта и 50-километрового участка трассы между населёнными пунктами.

*rlocman.ru*

### ЗАМЕНИТЕЛЬ ГРАФЕНА? УЧЁНЫЕ МИФИ ПРЕДСКАЗАЛИ СВОЙСТВА БОРНИТРАНОВ, ИЗ КОТОРЫХ МОЖНО БУДЕТ ДЕЛАТЬ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ СПИНОВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ, ЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И ЭЛЕМЕНТЫ ПАМЯТИ

Учёные из Национального исследовательского ядерного университета МИФИ предсказали свойства новых 2D-материалов – борнитранов, наноплёнок на основе нитрида бора. Эти материалы могут стать незаменимыми в оптоэлектронике и космической электронике, рассказали в МИФИ.

2D-нитрид бора – один из самых известных двумерных материалов после графена. Он является структурным аналогом графена, но состоит не из углерода, а из его ближайших соседей по таблице Менделеева – бора и азота. Российские учё-

ные высказали предположение, что под давлением из 2D-нитрида бора можно получить ковалентно связанные наноплёнки. Они назвали эти материалы борнитранами по аналогии с алмазами – алмазными плёнками нанометровой толщины, предсказанными российским учёным Леонидом Чернозатонским в 2009 году и синтезированными в 2019 году.

Особенно интересны «муаровые» борнитраны, в которых слои повернуты друг относительно друга на угол, близкий к 30 градусам. В таком материале энергии электронов концентрируются вблизи нескольких значений, что увеличивает вероятность их резонансного возбуждения светом. Это делает материал полезным для оптоэлектронных устройств, основанных на нелинейных резонансных эффектах, – рассказал соавтор работы, профессор кафедры физики конденсированных сред Института нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике Константин Катин.

Ещё одна важная особенность борнитранов, предсказывают учёные, состоит в том, что свет подходящей поляризации может возбуждать в этих материалах только те электроны, спин которых направлен определённым образом. На основе этого эффекта в будущем можно создать быстродействующие спиновые транзисторы, логические схемы и элементы памяти. В отличие от обычных электронных устройств, спинтронные устройства не так чувствительны к дефектам в материале, благодаря чему они устойчивы к радиации и поэтому могут применяться в космосе.

Сегодня мы ищем экспериментаторов, готовых синтезировать и исследовать борнитраны. Интересно, что гексагональный 2D-нитрид бора впервые был получен на большой площади с участием российских учёных, учеников Леонида Чернозатонского, добавил Константин Катин.

*ixbt.com*

# О применении для нормировки классифицированной выборки наблюдений при распознавании объектов по межчастотному корреляционному признаку

Владимир Бартнев (bartvg@rambler.ru)

В статье приведены результаты сравнительного анализа двух способов формирования межчастотного корреляционного признака, используя как оценку максимального правдоподобия модуля межчастотного коэффициента корреляции, так и оценку межчастотного коэффициента корреляции с нормировкой по классифицированной выборке наблюдений. Анализ выполнен с использованием аналитического подхода, который верифицирован моделированием в MATLAB. Сделан вывод о том, что применение предложенного способа нормирования заметно повышает эффективность правильной классификации протяжённого объекта и требует меньшей выборки наблюдений.

Задача распознавания коррелированных сигналов по дискретным выборкам конечного объёма возникает во многих технических приложениях. Весьма актуальна, например, задача распознавания типов целей [1] или защита РЛС от дискретных коррелированных мешающих отражений [2]. В работе [2] показано, что для классификации отражённых сигналов обнаруженных объектов по их продольному размеру можно использовать характер флуктуаций отражённых сигналов на разных несущих частотах, оценивая межчастотный коэффициент

корреляции (1), где  $\hat{R}_1$  – оценка модуля межчастотного коэффициента корреляции,  $N$  – число накоплений по независимым выборкам (обзорам РЛС).  $Z1_j = x1_j + iy1_j$ ,  $Z2_j = x2_j + iy2_j$  – комплексные выборки классифицируемых эхо-сигналов обнаруженного объекта на входе, принятых в двух частотных каналах на разных несущих частотах. В частности, в основе этого сигнального признака классификации лежит взаимосвязь значения межчастотного коэффициента корреляции с линейными размерами объекта. Чем больше размер объекта,

тем меньше межчастотный коэффициент корреляции. Однако способ по формуле (1) обладает недостатком, который проявляется в том, что формируемый межчастотный корреляционный признак чувствителен к мощности принимаемых сигналов. Этому недостатку лишён другой способ классификации обнаруженных объектов по их продольному размеру [2], который рассматривается, как способ-прототип, и в котором две выборки наблюдений, принятые на двух разнесённых несущих частотах перемножаются, и их произведение накапливается от обзора к обзору для каждого элемента дальности с обнаруженным объектом, и теперь уже нормированный модуль накопленного произведения  $\hat{R}_2$  сравнивается с порогом (2).

Полученная таким образом оценка модуля межчастотного коэффициента корреляции сравнивается с порогом, на основании чего принимается решение о наличии обнаруженного объекта с большим продольным размером (порог не превышен) или малого продольного размера (порог превышен). Хотя данный способ позволяет осуществлять классификацию объектов по межчастотному корреляционному признаку, однако использование одних и тех же выборок наблюдения как для формирования накопленного произведения, т.е. числитель (2), так и для нормировки к мощности принимаемых сигналов – знаменатель (2), снижает его эффективность. Если же для нормировки оценки модуля межчастотного коэффициента корреляции использовать независимые выборки наблюдений, например, из соседнего элемента дальности, то, как будет показано ниже, это приводит к существенному повышению вероятности правильной классификации объектов.

Таким образом, с целью повышения эффективности распознавания обнаруженных объектов по их продольному размеру предлагается способ классификации, который включает в себя формирование оценки модуля межча-

$$\hat{R}_1 = |(\sum_{j=1}^N Z1_j * Z2_j^*)| = \sqrt{(\sum_{j=1}^N x1_j * x2_j + y1_j * y2_j)^2 + (\sum_{j=1}^N x2_j * y1_j - x1_j * y2_j)^2} \quad (1)$$

$$\hat{R}_2 = |(\sum_{j=1}^N Z1_j * Z2_j^*)| / |(\sum_{j=1}^N Z1_j * Z1_j^*) * (\sum_{j=1}^N Z2_j * Z2_j^*)| = \sqrt{(\sum_{j=1}^N x1_j * x2_j + y1_j * y2_j)^2 + (\sum_{j=1}^N x2_j * y1_j - x1_j * y2_j)^2} / \sqrt{(\sum_{j=1}^N x1_j * x1_j + y1_j * y1_j) * (\sum_{j=1}^N x2_j * x2_j + y2_j * y2_j)} \quad (2)$$

$$\hat{R}_2 < R_{пор} \quad (3)$$

$$W(\hat{R}) = 2(N-1)(1-\hat{R}^2)^{N-2} \hat{R}^2 (1-\hat{R}^2)^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} \frac{(\hat{R}^2)^{2k} \Gamma(N+k)}{(1-\hat{R}^2)^{N+k} \Gamma(N-k) \Gamma^2(k+1)} \quad (4)$$

$$W(\hat{R}) = 2(\hat{R})(1-\hat{R}^2)^{N-2}(N-1) \quad (5)$$

$$P(R_{пор}) = 1 - (1 - R_{пор}^2)^{N-1} \quad (6)$$

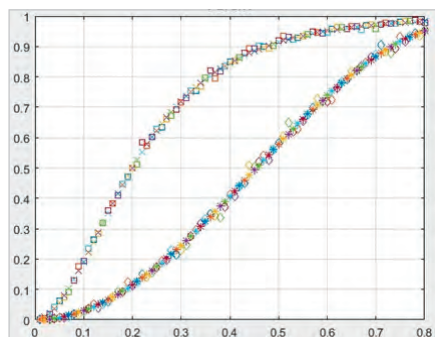


Рис. 1. Зависимость вероятности правильной классификации протяжённых объектов от порога для  $N = 4$  в классификаторе с нормировкой независимыми выборками наблюдений (крестики – аналитика, квадраты – моделирование) и с нормировкой зависимыми выборками наблюдений (звёздочки – аналитика, ромбики – моделирование)

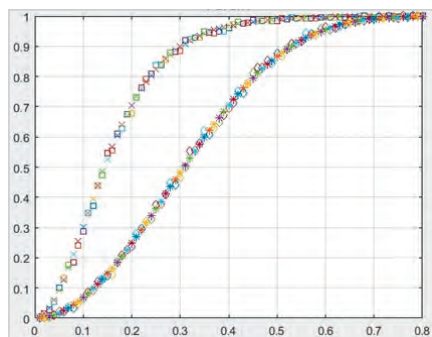


Рис. 2. Зависимость вероятности правильной классификации протяжённых объектов от порога для  $N = 8$  в классификаторе с нормировкой независимыми выборками наблюдений (крестики – аналитика, квадраты – моделирование) и с нормировкой зависимыми выборками наблюдений (звёздочки – аналитика, ромбики – моделирование)

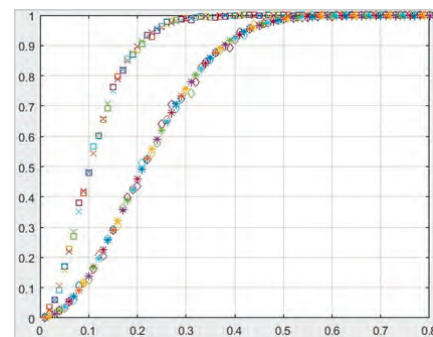


Рис. 3. Зависимость вероятности правильной классификации протяжённых объектов от порога для  $N = 16$  в классификаторе с нормировкой независимыми выборками наблюдений (крестики – аналитика, квадраты – моделирование) и с нормировкой зависимыми выборками наблюдений (звёздочки – аналитика, ромбики – моделирование)

стотного коэффициента корреляции с нормировкой на основе двух выборок наблюдений, принятых за несколько обзоров на двух несущих частотах РЛС, и сравнение этой оценки с порогом в элементе дальности с обнаруженным объектом и присвоением при неперевышении этого порога в анализируемом элементе дальности признака объекта с большим продольным размером [3].

При этом выборки наблюдений из вспомогательного элемента дальности, принятые за несколько обзоров на двух несущих частотах РЛС, соответствуют предшествующему соседнему элементу дальности по отношению к анализируемому и сохраняются на время, равное длительности элемента дальности.

Таким образом, предлагаемый способ классифицированной нормировки раскрывает новые функциональные возможности распознавания по межчастотному корреляционному признаку. Это позволяет сделать вывод о соответствии заявляемого способа критерию «существенные отличия».

Для того чтобы сформировать межчастотный коэффициент корреляции, в известном способе-прототипе используют операции в соответствии с формулой (2). Важно подчеркнуть, что нормировка производится на основе той же выборки наблюдений, которая используется для расчёта числителя. Решение о том, что объект протяжённый, принимается, если:

$$\hat{R}_2 < R_{\text{пор}}. \quad (3)$$

Проиллюстрируем работу предлагаемого способа прототипа на конкретном примере, прибегнув как к аналитическому расчёту, так и к моделированию с помощью системы MATLAB [5].

Осуществим классификацию протяжённого объекта, используя две выборки наблюдений с межчастотным коэффициентом корреляции  $R = 0$ . Корреляционный порог  $R_{\text{пор}}$  в расчётах будем менять от 0,1 до 0,9. Число независимых накоплений (обзоров) возьмём  $N = 4, 8$  и 16.

Для нахождения вероятности правильной классификации протяжённого объекта по неперевышению оценкой порога  $R_{\text{пор}}$  можно воспользоваться распределением Уишарта. В работе [4] получено распределение оценки модуля межчастотного коэффициента корреляции из распределения Уишарта (4), где  $\Gamma(\dots)$  – гамма-функция.

Для протяжённых объектов  $R = 0$ , и распределение (3) можно представить в более простом виде (5).

Используя (5), можно получить формулу для вероятности правильной классификации протяжённых объектов, как вероятность неперевышения порога (6).

Для верификации данной формулы было проведено моделирование с помощью системы MATLAB [6] классификатора прототипа с расчётом для разных значений порога  $R_{\text{пор}}$  и числа обзоров  $N = 4, 8$  и 16 (см. рис. 1, 2 и 3, соответственно, где приведена зависимость вероятности правильной классификации протяжённых объектов от порога для оценки модуля межчастотного коэффициента корреляции с нормировкой, как это делается в прототипе, звёздочки – аналитика, ромбики – моделирование (крестики – аналитика, квадраты – моделирование)). Результаты моделирования хорошо совпадают с аналитическими расчётами, что позволяет сделать вывод о достоверности применяемых формул при анализе эффективности способа, используемого в прототипе.

Перейдём к анализу эффективности предложенного способа распознавания. Принципиальное отличие предложенного способа от известного состоит в том, что в формуле (2) для того, чтобы алгоритм был нечувствителен к изменению мощности принимаемых сигналов, нормировку, т.е. деление на знаменатель – оценку мощности сигналов, принятых в двух частотных каналах, производят на основе другой выборки наблюдений, а не той, которая используется для расчёта выражения в числителе (2). Именно поэтому в этом случае нормировка производится независимой выборкой наблюдений. Для этого предлагается производить дополнительные оценки мощности принимаемых сигналов в соседнем элементе дальности на двух несущих частотах:

$$z1 = \sum_{i=1}^N \text{Re}(Z_{1i}) \text{Re}(Z_{1i}) + \text{Im}(Z_{1i}) \text{Im}(Z_{1i})$$

$$z2 = \sum_{i=1}^N \text{Re}(Z_{2i}) \text{Re}(Z_{2i}) + \text{Im}(Z_{2i}) \text{Im}(Z_{2i})$$

Суммирование оценок мощности  $Z = (z1 + z2)$  и умножение на  $R_{\text{пор}}$  даёт величину адаптивного порога, неперевышение которого и есть вероятность правильной классификации протяжённого объекта:

$$\hat{R}_1 < R_{\text{пор}} Z_s.$$

Считая независимыми оценки модуля межчастотного коэффициента корреляции, т.е. числителя в (2), и оценки мощности принимаемых сигналов в соседнем элементе дальности, можно получить выражение для вероятности правильной классификации предложенного способа (7).

Считая, что оценка мощности принимаемых сигналов  $Z_s$  имеет распределение  $\chi^2$ , а выражение в числителе (2) имеет распределение [5]:

$$P(R_{\text{пор}}) = 1 - \int_0^{\infty} P(Z_s) dZ_s \int_{R_{\text{пор}} Z_s}^{\infty} P(R) dR \quad (7)$$

$$P(R_{\text{ПОР}}) = 1 - \int_0^{\infty} \frac{Z_s^{N-1} e^{-Z_s/2\sigma^2}}{\Gamma(N)(2\sigma^2)^N} \frac{(R_{\text{ПОР}} Z_s / \sigma^2)^N K_N(R_{\text{ПОР}} Z_s / \sigma^2)}{\Gamma(N)(2\sigma^2)^{N-1}} dZ_s \quad (8)$$

$$P(R_{\text{ПОР}}) = 1 - \sqrt{\pi} R_{\text{ПОР}}^{2N} \Gamma(3N/2) \Gamma(4N-1) \Gamma(2N+1/2) \Gamma(N) {}_2F_1\left(\frac{3N+1}{2}, \frac{3N}{2}; 2N+1/2; 1-4R_{\text{ПОР}}^2\right) \quad (9)$$

$$P(R) = \frac{(R/\sigma^2)^N K_{N-1}(R/\sigma^2)}{\Gamma(N)(2\sigma^2)^{N-1}},$$

где  $\Gamma(\cdot)$  – гамма-функция,  $K_{N-1}(\cdot)$  – модифицированная функция Бесселя порядка  $N-1$  и  $\sigma^2$  – суммарная мощность принимаемых сигналов, в результате искомая вероятность правильной классификации  $P(R_{\text{пор}})$  примет вид (8).

После взятия интеграла получаем (9), где  ${}_2F_1(\cdot)$  – гипергеометрическая функция. Дальнейший анализ производился не только аналитическим расчётом по полученной формуле (8), но и, для верификации, моделированием предложенного способа в МАТЛАБ.

Результаты аналитических расчётов и моделирования показали их хорошее

совпадение для  $N=4, 8$  и  $16$  (см. рис. 1, 2 и 3, соответственно, где приведена зависимость вероятности правильной классификации протяжённых объектов от порога для оценки модуля межчастотного коэффициента корреляции с нормировкой, как это делается в предложенном способе, крестики – аналитика, квадраты – моделирование).

Результаты исследования полностью подтверждают, что применение независимых выборок наблюдения для нормировки оценки модуля межчастотного коэффициента корреляции заметно повышает эффективность классификации. Так, уже за 4 обзора при формировании модуля межчастотного коэффициента корреляции с нормировкой независимыми выборками уда-

ётся получить вероятность правильной классификации протяжённого объекта практически такую же, как при использовании нормировки зависимыми выборками наблюдений за 16 обзоров.

## Литература

1. Bartenev V. Radar objects classification using inter frequency correlation coefficient. Report on the International conference RADAR 2016. China, Oct. 2016.
2. Бартенеv В.Г. Патент «Способ классификации и бланкирования дискретных помех» № 2710894. Опубликовано: 14.01.2020. Бюл. № 2.
3. Бартенеv В.Г. Патент «Способ классификации объектов по межчастотному корреляционному признаку» № 2776989. Опубликовано: 29.07.2022. Бюл. № 22.
4. Бартенеv В.Г. О распределении оценки модуля коэффициента корреляции // Современная электроника. 2020. № 8.
5. Бартенеv В.Г., Бартенеv М.В. Способ нахождения вероятностных характеристик на выходе нелинейных систем // Цифровая обработка сигналов. 2014. № 4.
6. Потёмкин В.Г. Справочник по MATLAB. Анализ и обработка данных // URL: <http://matlab.exponenta.ru/ml/book2/chapter8/>. ©



ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫЕ МЫШИ

МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЛАЗЕРНЫЕ ТРЕКБОЛЫ

ЗАЩИЩЕННЫЕ КЛАВИАТУРЫ






KEY TECHNOLOGY (CHINA) LIMITED

深圳市键特电子有限公司



## УСТРОЙСТВА ВВОДА ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ

Множество вариантов исполнения и установки  
Различные варианты интерфейсов  
Степень защиты до IP68  
Устройства, соответствующие IEC 60945  
Оptionальная регулируемая подсветка  
Возможность кастомизации



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636  
INFO@PROSOFT.RU

WWW.PROSOFT.RU



Реклама

## Подписка только для юридических\* лиц

\*Выход каждого нового номера будет сопровождаться полным комплектом закрывающих бухгалтерских документов.

## Журнал «СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

| Издание                    | Назначение платежа   | Периодичность выхода | Подписная цена, руб. |
|----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| СОВРЕМЕННАЯ<br>ЭЛЕКТРОНИКА | Подписка на 2023 год | 9 номеров в год      | 9,000.00             |

ООО «СТА-ПРЕСС»  
ИНН: 7726208996, КПП: 772801001,  
ОГРН 1037739253100,  
ПАО АКБ «АВАНГАРД», БИК 044525201,  
к/сч 30101810000000000201,  
р/сч 40702810100070000708.

### Счет на оплату № ПЮ01-2022 от 10 октября 2022 г.

Поставщик: ООО «СТА-ПРЕСС», ИНН: 7726208996, КПП: 772801001  
(Исполнитель): РФ, 117437, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 108, пом I ком 67, тел. + 7 (495) 234-06-35

Основание: Счет № ПЮ01-2022 от 10 октября 2022 г.

| № | Товары (работы, услуги)                                  | Кол-во | Ед. | Цена    | Сумма    |
|---|----------------------------------------------------------|--------|-----|---------|----------|
| 1 | Подписка на журнал «СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА» на 2023 год | 9      | шт  | 1000.00 | 9,000.00 |

Итого: 9,000.00  
В том числе НДС: 818.19  
Всего к оплате: 9,000.00

Всего наименований 1, на сумму 9000,00 руб.  
Девять тысяч рублей 00 копеек

### Внимание!

При оплате счёта укажите в платёжном поручении в графе «Назначение платежа» полный адрес доставки (с почтовым индексом), телефон для связи (с кодом города), контактное лицо, e-mail.

Оплата данного счета означает согласие с условиями поставки товара.

Руководитель

Седов К. В.

# Дискретный синтез цифрового гауссова фильтра

Владимир Бугров (bug@rf.unn.ru)

Рассматриваются вопросы цифровой фильтрации измерительного видеосигнала с применением селективных БИХ-фильтров с гауссовой амплитудно-частотной характеристикой. Приводится постановка задачи синтеза гауссова фильтра методами нелинейного математического программирования в дискретном пространстве квантованных коэффициентов. Рассмотрен пример решения задачи дискретного синтеза гауссова БИХ-фильтра нижних частот, отвечающего требованиям высокоточной фильтрации измерительного видеосигнала. Приведён анализ его характеристик в частотной и временной области, а также представлены данные экспериментальных измерений.

## Введение

Цифровые фильтры, амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) которых описывается гауссовой функцией, широко используются в современной радиоэлектронной и измерительной технике [1–4]. Кроме хороших избирательных свойств такие фильтры обеспечивают минимальное время обработки и практически линейную фазочастотную характеристику (ФЧХ), что необходимо для минимизации дисперсионных искажений при высокоточной обработке измерительных как видео-, так и радиосигналов. Фильтр с характеристикой, близкой к гауссовой, является идеальным фильтром защиты от наложения спектров с минимальной базой и обеспечивает максимальное качество фильтрации сигнала перед его семплированием и последующей цифровой обработкой [5].

Построение гауссова селективного фильтра возможно на основе как цифровых фильтров с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтров), так и на основе фильтров с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтров) в стандартных топологиях их построения (прямой, каскадной, волновой, структуре частотной выборки и др.). Однако рекурсивные цифровые фильтры, являясь дискретными линейными системами с обратной связью, обладают значительно большими селективными возможностями по сравнению с нерекурсивными, поэтому они позволяют реализовать требуемую форму гауссовой АЧХ значительно меньшим порядком фильтра.

Как известно, возможность проектирования гауссовых БИХ-фильтров

аналитическими подходами весьма ограничена. В настоящее время для их синтеза используются методы аппроксимации гауссовой АЧХ тем или иным аппроксимирующим полиномом достаточно высокого порядка для получения аналогового фильтра-прототипа с последующим билинейным его преобразованием в цифровой эквивалент. Обзор различных видов аппроксимаций гауссовой функции, используемых для проектирования гауссовых фильтров аналитическими методами, рассмотрен в [2, 6]. Для синтеза БИХ-фильтров малой сложности с характеристиками, близкими к гауссовой функции, в [3] применена аппроксимация Бесселя, однако указано, что рассмотренный подход никак не гарантирует нахождение оптимального решения, к тому же ошибка реализации гауссовой АЧХ фильтра весьма значительна. Таким образом, аналитическое проектирование гауссовых БИХ-фильтров реального времени на этапе синтеза технического решения характеризуется систематической ошибкой аналитического представления гауссовой характеристики фильтра тем или иным аппроксимирующим полиномом приемлемого порядка. Часто эта ошибка аппроксимации не позволяет реализовать высокочастотную АЧХ гауссова фильтра с необходимой точностью, особенно при реализации выборки с запасом по частоте [4, 7].

На стадии практической реализации аналитического решения необходима, как известно, процедура квантования коэффициентов фильтра. При этом систематическая ошибка квантования может существенно превосходить ошибку аппроксимации (особенно при

синтезе малоразрядных гауссовых фильтров), что не позволит практически реализовать гауссов закон изменения АЧХ с высокой точностью. Характерно, что в большинстве публикаций по аналитическому расчёту цифровых гауссовых фильтров вопросы практической реализации полученных решений не рассматриваются.

Однако ошибки аппроксимации и квантования могут быть устранены при проектировании цифрового БИХ-фильтра современными численными методами дискретного нелинейного программирования, позволяющими работать не с аналитическим, а с дискретным представлением как характеристик фильтра, так и параметрического пространства его коэффициентов.

В настоящей статье рассматривается возможность проектирования низкочастотного цифрового БИХ-фильтра с гауссовой АЧХ, отвечающего требованиям высокоточной фильтрации радиоизмерительных видеосигналов на фоне внешних помех. При этом нормированная резонансная характеристика для гауссовой низкочастотной функции (рис. 1) определяется следующим образом:

$$y(f) = e^{-\frac{f^2}{\alpha}}, \quad (1)$$

где  $f$  – расстройка от нулевой частоты, а параметр  $\alpha$  определяет нормированную полосу пропускания гауссовой кривой:

$$\alpha = \frac{\Delta f^2}{\ln \sqrt{2}},$$

здесь  $\Delta f$  – абсолютная полоса пропускания по уровню 0,7.

## Метод синтеза и постановка проектной задачи

Эффективный синтез цифровых гауссовых БИХ-фильтров, отвечающих совокупности требований, в настоящее время возможен только численными методами нелинейного математического программирования с заданной системой прямых и функциональных ограничений [8–10]. При этом прежде всего необходимо учитывать арифметику цифровых вычислений и приемлемую длину слова коэффициентов гауссова ФНЧ для их реализации заданным числом двоичных разрядов с использованием цифровых вычислений в фор-

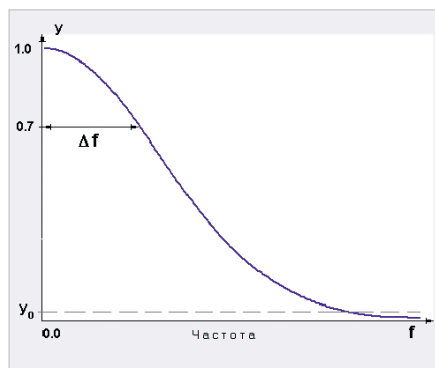


Рис. 1. Нормированная характеристика гауссова фильтра нижних частот

мате с фиксированной точкой (ФТ), когда все переменные алгоритма гауссовой фильтрации являются дробными вещественными числами, принадлежащими диапазону от  $-1$  до  $1 \dots 2^{-(R-1)}$ , где  $R$  – число битов, используемых для двоичного представления числа. Таким образом, заданным числом двоичных разрядов можно реализовать только дискретный ряд определённых (квантованных) значений коэффициентов гауссова фильтра на заданном интервале их изменения. Для требуемой разрядности представления  $R$  целочисленный код (квант) вещественного неквантованного коэффициента  $c_i$  в варианте округления до ближайшего целого (round) равен целой части выражения в скобках:

$$c_i^{\text{int}} = \text{int}(c_i \cdot 2^{R-1} + 0,5), \quad (2)$$

тогда вещественный код данного коэффициента определяется:

$$c_i^{\text{float}} = c_i^{\text{int}} / 2^{R-1}, \quad (3)$$

а ошибка квантования коэффициента составляет

$$\varepsilon_i = c_i - c_i^{\text{float}}. \quad (4)$$

Для аналитических подходов ошибки квантования считаются неустраняемыми и приводят к искажению частотных характеристик гауссова фильтра, появлению динамических шумов квантования, а также к возможности появления малых предельных циклов в БИХ-структурах. Однако, как уже сказано выше, ошибку квантования коэффициентов можно устранить полностью, осуществив дискретизацию параметрического пространства коэффициентов гауссова БИХ-фильтра перед его синтезом только теми значениями, при которых ошиб-

ка квантования (4) равна нулю. При этом математическое задание квантованного параметрического пространства возможно как вещественным (3), так и целочисленным кодом (2), что позволяет проектировать гауссовы ФНЧ, использующие как вещественную, так и целочисленную арифметику вычислений и дискретизацию коэффициентов. Вариант целочисленного представления является более универсальным и практически значимым, так как целочисленные гауссовы фильтры имеют минимальную вычислительную сложность. Разрядность такого представления определяется интервалом изменения целочисленных коэффициентов фильтра, что практически удобно при реализации алгоритма динамического квантования коэффициентов [8]. При необходимости целочисленное решение легко преобразовать в вещественное квантованное решение формата ФТ, используя для этого их однозначную связь через соотношение (3). Формирование целочисленного кода часто называют нормализацией коэффициентов гауссова фильтра, когда в дискретном  $n$ -мерном пространстве формируется вектор целочисленных коэффициентов  $IX$  ( $ix_1, ix_2, \dots, ix_n$ ), квантованных с заданной разрядностью их представления.

Точное представление требуемой гауссовой характеристики на стадии синтеза технического решения может обеспечить её дискретное табулированное представление [9], что даёт возможность, с одной стороны, заменить процедуру аналитической аппроксимации простой оцифровкой требуемой характеристики фильтра, причём ошибка оцифровки характеристики может быть минимизирована соответствующим выбором шага частотной дискретизации. С другой стороны, каждая характеристика фильтра, определяемая совокупностью (вектором) скалярных частотных выборок, позволяет применять для синтеза гауссова БИХ-фильтра эффективные поисковые методы многокритериальной оптимизации на дискретном множестве квантованных параметров.

В общем виде задачу целочисленного нелинейного программирования (ЦНП) при машинном синтезе каскадного БИХ-фильтра нижних частот можно записать так:

$$F^0(I^0) = \min F(IX) \quad IX \in I^{5m} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} -2^{R-1} < a_{di} < 2^{R-1} & \quad d=1,2 \quad i=\overline{1,m}, \\ -2^{R-1} < b_{di} < 2^{R-1} & \quad d=0,2 \quad i=\overline{1,m}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$a_{0i} \in \{2^q\}, \quad q=0, R-1 \quad i=\overline{1,m}, \quad (7)$$

$$|Zp_i| < r_{\text{pole}}^{\text{max}} < 1 \quad i=\overline{1,m}, \quad (8)$$

$$K_i^{\min} \leq |K_i(e^{j\omega T})| \leq K_i^{\max} \quad i=\overline{1,m}, \quad (9)$$

где  $m$  – число звеньев (каскадов) второго порядка,  $d$  – индекс коэффициента передаточной функции звена,  $IX$  – вектор многомерного пространства целочисленных коэффициентов,  $F(IX)$  – целевая функция,  $K_i^{\min}, K_i^{\max}$  – допустимые границы изменения коэффициента усиления  $i$ -го звена фильтра.

Как видно, экстремальная задача (5) записана относительно целочисленного пространства  $I^{5m}$  параметров (квантованных коэффициентов гауссова фильтра) размерностью  $5m$ . Прямые ограничения (6) задают границы их изменения, а соотношение (7) определяет power-of-two значение нормирующих коэффициентов звеньев фильтра. Функциональные ограничения (8) контролируют в процессе синтеза условие устойчивости рекурсивного гауссова ФНЧ по всем полюсам коэффициента передачи с радиусами, не превышающими  $r_{\text{pole}}^{\text{max}}$ , а ограничения (9) масштабируют коэффициенты передачи звеньев в заданный интервал для обеспечения широкого динамического диапазона каскадного гауссова фильтра при обработке видеосигналов различного уровня. В алгоритме минимизации реализация функциональных ограничений осуществляется применением штрафных функций [10, 11].

Численное решение экстремальной задачи (5) в квантованном пространстве коэффициентов формата ФТ возможно только применением сеточных алгоритмов поисковой минимизации, когда дискретность сетки поиска задаётся числом двоичных разрядов  $R$ , которыми в кодовом пространстве отображается каждая  $i$ -я переменная. Этим требованиям вполне отвечает поисковый алгоритм глобальной минимизации полимодальных целевых функций на детерминированной сетке [11]. Построение минимизирующей последовательности на дискретной сетке формата ФТ в данном алгоритме осуществляется при помощи так называемых сфер поиска с изменяющимися радиусами. Таким образом, при последовательном автоматическом расшире-

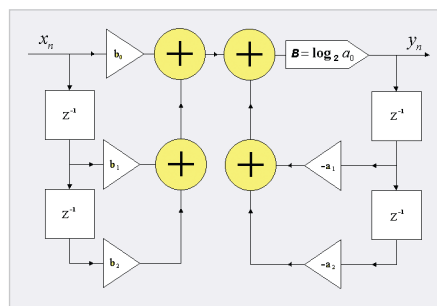


Рис. 2. Структура целочисленного БИХ-звена 2-го порядка

нии и сужении сфер поиска происходит направленное сканирование всей дискретной области поиска без полного её перебора. Характерными особенностями данного поискового алгоритма является высокая надёжность отделения глобального экстремума, малые потери на поиск, эффективная работа в дискретном пространстве высокой размерности, а также отсутствие априори настраиваемых параметров.

Многофункциональное задание целевой функции в проектных задачах обычно формируется в виде взвешенной суммы частных целевых функций  $f_i(\mathbf{IX})$ , которые определяют выполнение функциональных требований по той или иной частотной характеристике гауссова фильтра либо её фрагменту:

$$F(\mathbf{IX}) = \sum_i \beta_i \cdot f_i(\mathbf{IX}),$$

где коэффициенты  $\beta_i$  задают значимость (вес) характеристик.

Вектор  $\mathbf{IX}^0$ , минимизирующий полимодальную целевую функцию  $F(\mathbf{IX})$  на допустимом дискретном множестве (8), является Парето-эффективным решением задачи синтеза целочисленного гауссова БИХ-фильтра по совокупности противоречивых характеристик.

Таким образом, при проектировании гауссова БИХ-фильтра нижних частот численными методами дискретного программирования осуществляется дискретизация как характеристик, так и коэффициентов фильтра, что позволяет устранить как ошибки аналитической аппроксимации, так и ошибки квантования параметров при практической его реализации.

## Дискретное моделирование гауссова БИХ-фильтра

Построение гауссова БИХ-фильтра в форме каскадного соединения звеньев

второго порядка следует признать наиболее целесообразным, как это следует из сравнения каскадных, параллельных, прямых и волновых структур. Для рекурсивного целочисленного фильтра, состоящего из каскадного соединения  $m$ -звеньев второго порядка ( $m = N/2$ , где  $N$  – общий порядок фильтра), передаточная функция имеет следующий вид:

$$H(z) = \prod_{i=1}^m \frac{b_{0i} + b_{1i}z^{-1} + b_{2i}z^{-2}}{a_{0i} + a_{1i}z^{-1} + a_{2i}z^{-2}}, \quad (10)$$

где комплексная переменная  $z$  при переходе к описанию частотной характеристики  $K(e^{j\omega T}) = |K(e^{j\omega T})| \cdot e^{j\varphi(\omega T)}$  принимает значение  $z = e^{j\omega T}$ , где  $T$  – период дискретизации.

Все коэффициенты передаточной функции квантованы целочисленным кодом (4), а их интервал изменения определяется заданной длиной битового слова (разрядностью) коэффициентов фильтра. Из соотношения (10) легко получается разностное уравнение для одного звена целочисленного фильтра:

$$y_n = (b_0x_n + b_1x_{n-1} + b_2x_{n-2} - a_1y_{n-1} - a_2y_{n-2})/a_0, \quad (11)$$

где  $x_n, y_n$  – целочисленные входная и выходная временные последовательности,  $a_0$  – нормирующий коэффициент power-of-two:

$$a_{0i} \in \{2^q\}, \quad q = \overline{0, R-1} \quad i = \overline{1, m}. \quad (12)$$

На рис. 2 приведена структура звеньев рекурсивного целочисленного гауссова фильтра, соответствующая разностному уравнению (11). Как видно, при вычислении отклика фильтра, кроме традиционных операций сложения, умножения и задержки на такт, присутствует операция сдвига на  $B = \log_2 a_0$  бит, с помощью которой реализуется целочисленное деление на нормирующий коэффициент power-of-two.

Для каскадного рекурсивного фильтра с вещественной арифметикой цифровых вычислений передаточная функция выглядит так:

$$H(z) = \prod_{i=1}^m \frac{b_{0i} + b_{1i}z^{-1} + b_{2i}z^{-2}}{1 + a_{1i}z^{-1} + a_{2i}z^{-2}},$$

а разностное уравнение звена имеет следующий вид:

$$y_n = b_0x_n + b_1x_{n-1} + b_2x_{n-2} - a_1y_{n-1} - a_2y_{n-2}.$$

Здесь все дискретные значения коэффициентов задаются на интервале их изменения вещественным квантованным значением (3).

Устойчивость проектируемого рекурсивного гауссова фильтра определяются условием (8), при этом синтез методами дискретного нелинейного программирования позволяет реализовать любые значения максимальных радиусов как полюсов, так и нулей коэффициента передачи гауссова БИХ-фильтра. Как показала практика, при синтезе с меньшим значением максимального радиуса полюсов практически всегда удаётся получить проектное решение без предельных циклов того или иного рода, хотя селективная способность гауссова фильтра при этом, естественно, снижается.

## Дискретный синтез гауссова БИХ-фильтра нижних частот

Пример синтеза рекурсивного гауссова ФНЧ десятого порядка в целочисленном пространстве квантованных параметров осуществлялся согласно следующим спецификационным требованиям.

1. Полоса пропускания:  $150 \pm 2$  Гц.
2. Коэффициент передачи:  $1 \pm 0,1$ .
3. Фазовая нелинейность в полосе:  $2^\circ$ .
4. Порядок рекурсивного фильтра: 8.
5. Максимальный радиус полюсов: 0,97.
6. Частота дискретизации: 2 кГц.
7. Масштабирование коэффициентов передачи звеньев в интервал:  $\{0,8-1,5\}$ .

В ходе синтеза необходимо было найти решение с минимальной разрядностью представления коэффициентов фильтра, для чего применялась техника динамического квантования его коэффициентов [8].

Дискретный синтез гауссова ФНЧ осуществлялся с учётом как селективных, так и фазовых требований, когда общая целевая функция формировалась в виде взвешенной суммы частных целевых функций  $f_{\text{АЧХ}}(X)$  и  $f_{\text{ФЧХ}}(X)$ , обеспечивающих выполнение требований как амплитудной селекции фильтра (3), так и линейности его ФЧХ:

$$F(\mathbf{IX}) = \beta_1 f_{\text{АЧХ}}(\mathbf{IX}) + \beta_2 f_{\text{ФЧХ}}(\mathbf{IX}). \quad (13)$$

При этом частная целевая функция  $f_{\text{АЧХ}}(X)$  формировалась по критерию минимума среднеквадратичного отклонения:

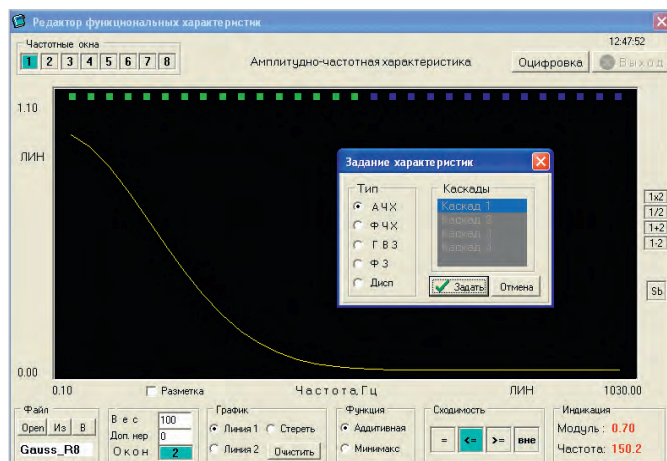


Рис. 3. Ввод требуемой АЧХ гауссова фильтра

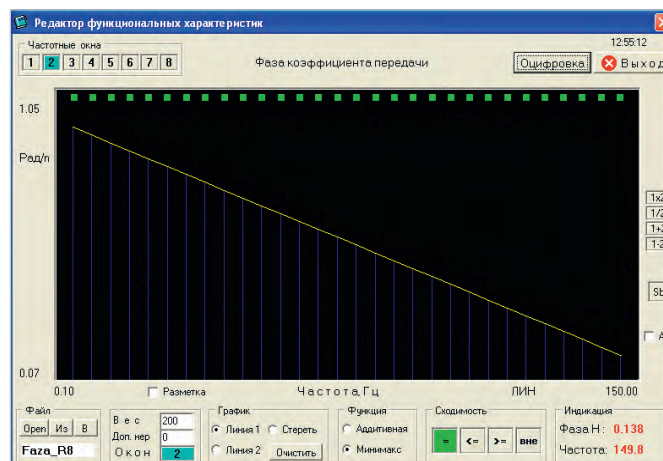


Рис. 4. Ввод требуемой ФЧХ в полосе пропускания ФНЧ

$$f_{AЧХ}(IX) = \frac{1}{p} \sum_{n=1}^p \left[ H_n(X) - H_n^T \right]^2, \quad (14)$$

где  $H_n(X)$  – текущее значение АЧХ гауссова фильтра на  $n$ -й дискретной частоте диапазона определения, а  $H_n^T$  – требуемое значение гауссовой характеристики (3).

А целевая функция  $f_{ФЧХ}(IX)$  определялась максимальным отклонением текущей фазы от линейной в полосе пропускания фильтра:

$$\Delta\varphi(\omega) = \max_i \left| \varphi_i(X) - \varphi_i^L \right|, \quad (15)$$

где  $\varphi_i^L$  – требуемая линейная ФЧХ гауссова фильтра.

Примеры ввода и оцифровки требуемых характеристик фильтра в модуле функционального редактора пакета дискретного синтеза представлены на рис. 3 и рис. 4.

Весовые коэффициенты частных целевых функций (13) определялись практически в ходе решения следующей экстремальной задачи ЦНП для синтеза гауссова БИХ-фильтра в форме каскадного соединения 4 звеньев прямой формы второго порядка:

$$F^0(X^0) = \min F(X) \quad X \in I^{20} \quad (16)$$

$$-128 < a_i, b_i < 128 \quad i = \overline{1,4}, \quad (17)$$

$$a_{0i} = 128 \quad i = \overline{1,4}, \quad |z_{pi}| < 0,97, \quad (18)$$

$$0,8 \leq \left| K_i(e^{j\omega T}) \right| \leq 4,0 \quad i = \overline{1,4} \quad (19)$$

Таким образом, минимизация целевого функционала осуществлялась на 25-мерном целочисленном пространстве 8-битовых по динамическому

### Оптимальные коэффициенты 8-битового гауссова фильтра

| Звено фильтра $m$ | Коэффициенты передаточной функции фильтра |       |       |       |       | Усиление звена $K_{max}$ |
|-------------------|-------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|
|                   | $a_1$                                     | $a_2$ | $b_0$ | $b_1$ | $b_2$ |                          |
| 1                 | -18                                       | 1     | 115   | 52    | -20   | 1,3                      |
| 2                 | 3                                         | -21   | 40    | 18    | 62    | 1,1                      |
| 3                 | 17                                        | -47   | -30   | -34   | -18   | 0,8                      |
| 4                 | -104                                      | 39    | -12   | 20    | 44    | 0,9                      |

квантованию параметров в допустимой области (17) при выполнении функциональных ограничений устойчивости фильтра (18) по всем полюсам передаточной функции с радиусами, не превышающими 0,97 в  $z$ -плоскости. Двусторонние ограничения (19) определяли масштабирование коэффициентов усиления звеньев гауссова фильтра в заданный интервал.

Для ввода структуры проектируемого гауссова фильтра используем встроенный топологический редактор пакета синтеза [9], позволяющий сформировать файл исходных данных к решению конкретной задачи с указанием порядка фильтра, числа варьируемых коэффициентов, их начальных значений и границ изменения, а также возможно дублирование коэффициентов в случае необходимости.

В ходе синтеза технического решения алгоритмический комплекс пакета реализует прямой поиск глобального минимума многомерной функции цели (13) из заданной начальной точки, осуществляя последовательные итеративные шаги к точке глобального минимума  $F^0(X^0)$ , обеспечивающей совпадение текущих характеристик гауссова БИХ-фильтра с требуемыми его характеристиками. Графики характеристик на каждом итеративном шаге синтеза отображаются на экране. Время синтеза на стандартном персональ-

ном компьютере при этом не превышало 5 мин.

В табл. 1 приведены оптимальные значения целочисленных 8-битовых коэффициентов звеньев передаточной функции гауссова БИХ-фильтра нижних частот восьмого порядка, а графики его частотных характеристик представлены на рис. 5.

Как видно, среднеквадратичная ошибка реализации гауссовой формы АЧХ фильтра была минимальной и не превышала 0,0001, а нелинейность ФЧХ в полосе пропускания 8-битового гауссова фильтра составляла  $1,2^\circ$ , что полностью соответствует требованиям высокоточной гауссовой фильтрации.

Исследуем профиль целевого функционала в точке целочисленного оптимума путём построения его координатных разрезов. График разреза по коэффициенту  $a_2$  первого каскада (рис. 6) подтверждает, что целевые функции в задачах дискретного синтеза гауссовых БИХ-фильтров имеют сложный, полимодальный характер.

Для контрольного анализа синтезированного гауссова ФНЧ квантованные 8-битовые вещественные коэффициенты формата 8.7, полученные из целочисленных по соотношению (5), с помощью  $m$ -файла загружались в пакет MATLAB для расчёта характеристик фильтра во временной и частотной области (рис. 7). Как вид-

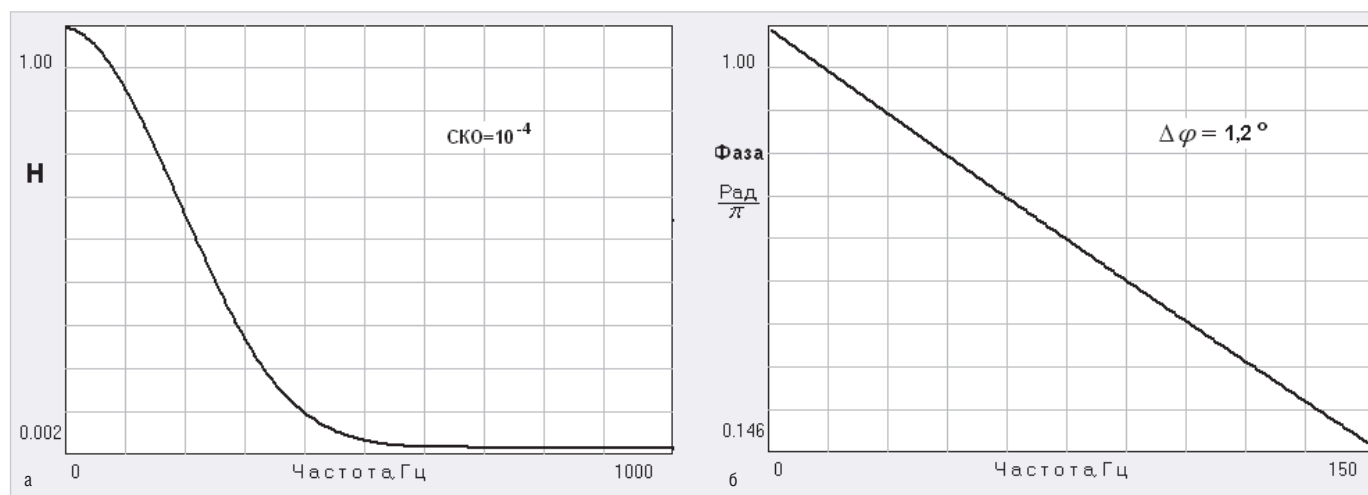


Рис. 5. Частотные характеристики гауссова ФНЧ: а) АЧХ на интервале Найквиста, б) ФЧХ в полосе пропускания

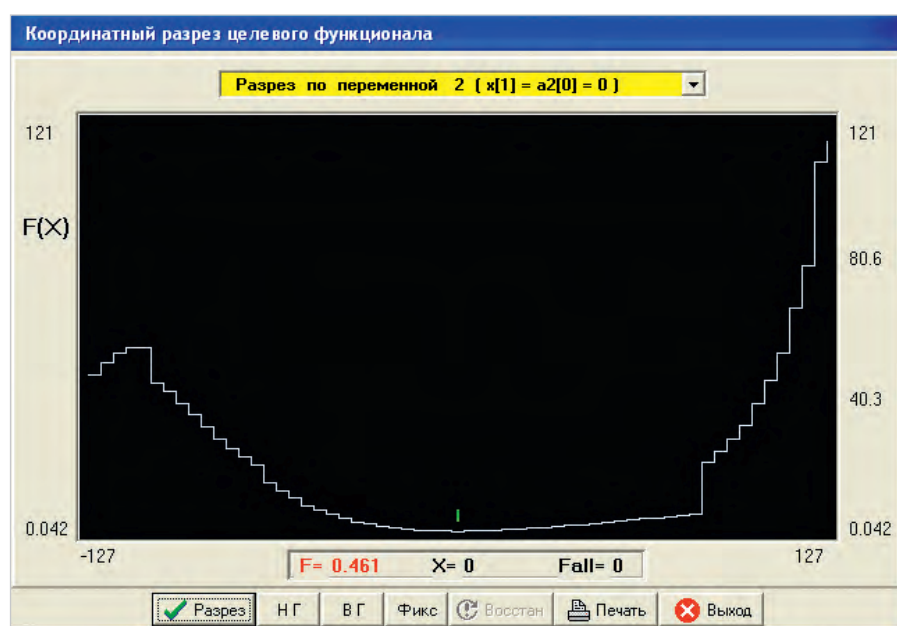


Рис. 6. Разрез целевой функции по коэффициенту  $a_2$  первого каскада

но из приведённых графиков, АЧХ фильтра с высокой степенью точности соответствовало гауссову закону (3), при этом в полосе пропускания фильтра фазовая нелинейность не превышала  $1,5^\circ$ . Инерционность фильтра по задержке его импульсного отклика минимальна и составляет всего 5 семплов (рис. 7г) при длительности самого импульсного отклика 15 семплов. Полюса передаточной функции в  $z$ -плоскости (рис. 7в) не выходят за границы допустимого по синтезу максимального радиуса, однако синтезированный фильтр не является минимально-фазовой цифровой системой, так как некоторые нули передаточной функции лежат вне единичной окружности.

Таким образом, анализ в пакете MATLAB полностью подтверждает синтезированные характеристики 8-бито-

вого гауссова БИХ-фильтра нижних частот.

Проведём модельное тестирование работоспособности фильтра в пакете MATLAB. Для этого на временном интервале 2 с конструируем ЛЧМ-сигнал и пропускаем его через квантованный фильтр при частоте семплирования  $f_s = 2$  кГц. Результаты модельной фильтрации ЛЧМ-сигнала (рис. 8) подтверждают полную работоспособность синтезированного гауссова фильтра.

Практическая реализация квантованного гауссова фильтра осуществлялась на многофункциональном микроконтроллере MSP430 фирмы Texas Instruments с целочисленным RISC-ядром. Измерение частотных характеристик фильтра на реальном сигнале осуществлялось с помощью автоматизированной панорамной измерительной системы, разработанной в среде

виртуальных приборов LabVIEW. Экспериментальные графики частотных характеристик фильтра для частоты дискретизации  $f_s = 2$  кГц приведены на рис. 9.

Как видно, экспериментальные характеристики 8-разрядного гауссова ФНЧ вполне соответствуют данным моделирования и синтеза, а фазовая нелинейность в полосе до 150 Гц не превышает двух градусов. Анализ выходного сигнала при нулевом входе показал, что предельные циклы того или иного рода при максимальном радиусе полюсов 0,68 в синтезированном фильтре отсутствуют. Таким образом, все спецификационные требования по функциональным показателям узкополосного гауссова БИХ-фильтра цифрового измерительного тракта были полностью выполнены.

## Заключение

Из приведённого в статье материала следует, что наилучшим образом требования высокоточной цифровой фильтрации измерительных видеосигналов могут быть выполнены БИХ-фильтрами с амплитудно-частотной характеристикой, описываемой гауссовой функцией. При проектировании таких селективных систем требуется максимально адекватное представление совокупности требуемых характеристик как на стадии синтеза технического решения, так и на стадии его практической реализации на конкретной цифровой платформе. В настоящее время эффективный синтез гауссовых фильтров, отвечающих таким требованиям, возможен только численными методами нелинейного математического программирования с заданной системой прямых и функциональных ограни-

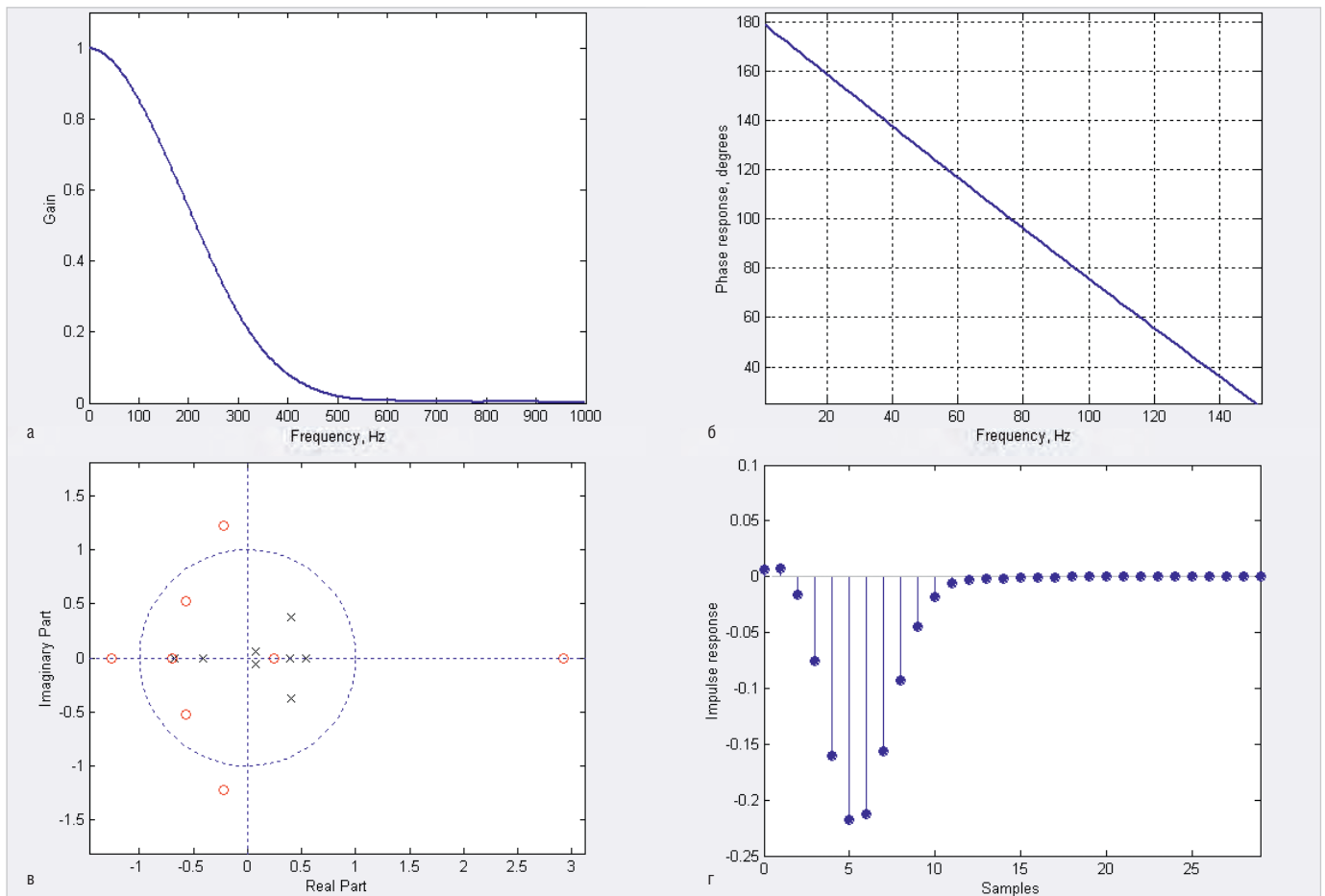


Рис. 7. Характеристики фильтра: а) АЧХ; б) ФЧХ в полосе пропускания; в) диаграмма нулей и полюсов в z-плоскости; г) импульсная характеристика

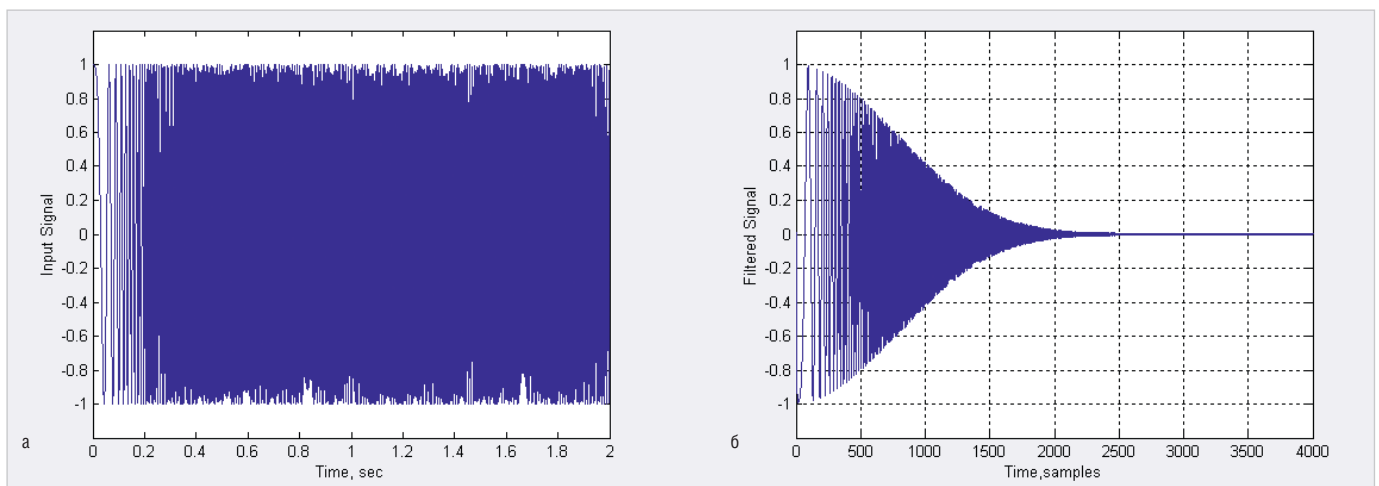


Рис. 8. Входной ЛЧМ-сигнал (а) и его фильтрация гауссовым ФНЧ (б)

чений. Применение алгоритма поиска на дискретной сетке квантованных параметров позволяет получать технические решения с нулевой ошибкой практической реализации. Современные алгоритмические комплексы дискретной минимизации позволяют решать такие проектные задачи надёжно и эффективно при выполнении всех внешних требований и ограничений к работе гауссова фильтра, что даёт возможность существенно повысить качество таких селективных фильтров.

### Литература

1. Vilet L.J. van, Young I.T., Verbeek P.W. Recursive Gaussian Derivative Filters. Proc. of the 14th International Conf on Pattern Recognition, ICPR'98, Brisbane, Australia, 16–20 Aug. 1998, IE.
2. Klapper J., Harris C.M. On the Response and Approximation of Gaussian Filter // IRE Transactions on Audio, 1959, 3. Pp. 80–87.
3. Мингазин А.Т. Синтез БИХ-фильтров малой сложности с характеристиками, близкими к гауссовой функции //

Компоненты и технологии. 2013. № 11. С. 58–62.

4. Сатаев В.В., Аникин М.А. Сравнительный анализ характеристик цифровых фильтров в задачах приема акустического сигнала // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2022. № 1. С. 46–54.
5. Guo Jian, Zhu Jie. Design of Analog Gaussian Filter Used in Roughness Measuring Instrument // Second International Conference on Information Technology and Computer Science, 2010.

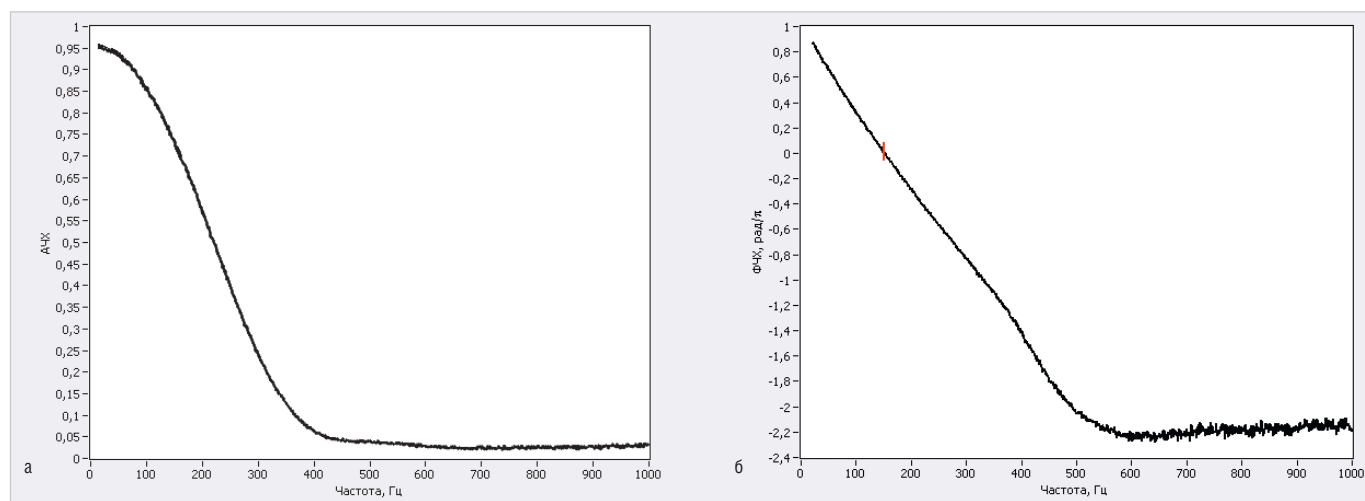


Рис. 9. Экспериментальные измерения АЧХ (а) и ФЧХ (б) фильтра

6. Xu Jingbo. Study on Approximation Theory and Application of Gaussian Filter // Harbin Institute of Technology, 2007. Pp. 24–30.
7. Emmanuel Ifeakor, Barrie Jervis. Digital Signal Processing: A Practical Approach (2nd Edition). Harlow: Pearson Education, 2002.
8. Бугров В.Н. Динамическое квантование

- коэффициентов цифрового фильтра // Труды учебных заведений связи. 2021. Т. 7. № 2. С. 8–17.
9. Бугров В.Н. Дискретный синтез минимально-фазовых и линейно-фазовых цифровых БИХ-фильтров // Компоненты и технологии. 2019. № 10. С. 92–103.

10. Zangwill, Willard I. Non-linear programming via penalty functions. Management Science. Jan 1967. Vol. 13. Issue 5.
11. Воинов Б.С., Бугров В.Н., Воинов Б.Б. Информационные технологии и системы: поиск оптимальных, оригинальных и рациональных решений. М.: Наука, 2007. 730 с.



## НОВОСТИ МИРА

### Россия вбухает миллиарды в серийный выпуск компьютеров, смартфонов и планшетов

Правительство прорабатывает новый механизм поддержки российской электроники. Так, власти хотят субсидировать серийное производство российских ноутбуков, смартфонов и компьютеров. В 2023 г. на поддержку отрасли Минпромторг планирует выделить 210 млрд руб.

Правительство планирует предоставить российским производителям электроники субсидию для серийного выпуска ноутбуков, смартфонов, компьютеров и планшетов. Об этом пишет «Коммерсант» со ссылкой на два источника, присутствовавших на встрече с замглавой Минпромторга Василием Шпаком. Встреча проходила в рамках пленарной сессии форума «Микроэлектроника 2022» 3 октября 2022 г.

По словам источника, субсидии смогут получить компании, ориентированные на потребительский сегмент рынка. При этом министерство планирует увеличить объём бюджетных средств, которые будут направлены на поддержку отрасли в 2023 г., с 144 млрд руб. до 210 млрд руб.

Мера сейчас прорабатывается и будет запущена после согласования со всеми заинтересованными ведомствами и Правительством, рассказали изданию в Минпромторге.

Сейчас Правительство предоставляет субсидии производителям электрони-

ки на разработку компонентов или запуск производства. При этом серийный выпуск коммерческих партий электронной продукции – это капиталоемкий процесс, который необходимо сопровождать субсидиями, рассказали «Коммерсанту» в одном из крупных производителей электроники. По его словам, параметры субсидии пока не определены.

Об этом же говорит и директор компании «Промобит» Максим Копосов: субсидии предоставляются на выпуск опытной, а не коммерческой серии электроники. Эксперт отмечает, что сейчас даже не льготный кредит на выпуск коммерческих партий электроники получить невозможно. По его словам, банки не готовы выдавать кредиты на такие проекты, в первую очередь потому, что спрос на продукцию не гарантирован.

Собеседник издания, близкий к Минпромторгу, поясняет, что министерство рассчитывает новым механизмом субсидий на серийное производство помочь российским производителям электроники попасть в магазины и составить конкуренцию иностранной технике. Новая субсидия Минпромторга также поможет снизить себестоимость продукции и занять те ниши на рынке, которые опустели из-за ухода иностранных вендоров. По его словам, одним из главных условий получения такой субсидий может стать локализация производства продукции в России.

Консорциум «Вычислительная техника»

(входят Yadro, «Аквариус», «Депо компьютерс» и пр.) заявил о живом интересе отрасли к новой инициативе Минпромторга. «Уверена, что благодаря организованному через отраслевые консорциумы взаимодействию регулятора с отраслью будет выработан своевременный и эффективный механизм поддержки», – отметила Светлана Легостаева, генеральный директор консорциума.

По её мнению, российским производителям электроники необходимо выходить на объёмы, которые бы обеспечили наличие их устройств в магазинах.

Правительство пытается спасти российскую электронику параллельно с усиливающимся давлением Запада и США на отрасль. Помимо того, что многие иностранные производители покинули российский рынок, а вендоры перестали сотрудничать с отечественными компаниями, США пытается душить одну из важнейших отраслей страны санкциями.

Так, в сентябре 2022 г. США ввели санкции против всей российской электроники. В «чёрном списке» оказались «Аквариус», «Ядро фаб Дубна», «Байкал электроникс», МЦСТ и НПЦ «Элвис».

Из-за санкций компании теперь не смогут получить доступ не только к американским процессорным архитектурам, но и к зарубежным заводам. Попадание в список также чревато сложностями с компонентами и оборудованием.

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

# SPANPIXEL

Широкоформатные дисплеи

15"~49"



**SPANPIXEL™** — новаторские, сверхширокие, с высокой яркостью, нестандартные ЖК-дисплеи со светодиодной подсветкой

- ✓ Поддержка ландшафтного и портретного режимов
- ✓ Наилучший выбор для специфических промышленных применений
- ✓ Наиболее привлекательный для глаз ЖК-дисплей

## Основные свойства

- Сверхширокий экран
- Безвентиляторная конструкция
- Светодиодная подсветка обеспечивает считывание изображения при солнечной засветке
- Яркость 1000 кд/м<sup>2</sup>
- Устойчивость к воздействию ударов и вибрации
- Высокая контрастность
- Широкий угол обзора
- Длительный срок службы, низкая потребляемая мощность

## Применения



**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ LITEMAX ELECTRONICS**



## КОМПЛЕКСНЫЕ ПОСТАВКИ

# ЭКБ

АО «ТЕСТПРИБОР» производит поставки электронной компонентной базы отечественного и импортного **производства классов Industrial, Military, Space.**

Вся продукция ЭКБ проходят контрольные **испытания по стандарту MIL-STD-883**, которые соответствуют общим техническим условиям **MIL-PRF-38535 уровня «Класс В» и «Класс S».**

## ВИДЫ ПРОДУКЦИИ

- Микросхемы
- Резисторы, конденсаторы, фильтры, предохранители, индуктивность
- Разъемы
- Модульные компоненты питания
- Полупроводниковые приборы (диоды, транзисторы)
- Генераторы, циркуляторы, изоляторы
- СВЧ (переключатели, усилители, аттенюаторы, волноводы)

